



e-ISSN: 2149-3367

e-ISSN: 2149-3367

CİLT / VOLUME: XXI

SAYI / NUMBER: 4

AĞUSTOS / AUGUST 2021

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
AFYONKARAHİSAR  
Tel: 444 03 03 / 1460-1470  
Belgegeçer: 0 272 218 14 62  
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 21  
Sayı / Number 4

e – ISSN: 2149-3367

AĞUSTOS 2021

AUGUST 2021



## **Derginin Amacı ve İÇeriği**

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

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

Ocak 2015 itibaren dergimiz; yayımlanma süreci ile yazarlara ve gerekse yapılan çalışmalara pratik ulaşma imkânları 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 çevrimiçi 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> Türkiye Florası için Yeni bir <i>Persicaria</i> L. Taksonu ve İstanbul'un Polygonaceae Taksonlarının Taksonomik Durumu A New <i>Persicaria</i> L. Taxon for Flora of Turkey and Istanbul's Taxonomic Status of Polygonaceae Taxa Mustafa KESKİN, Zeki SEVEROĞLU	<b>041001 (764-775)</b>
---	-------------------------

#### FİZİK / PHYSICS (11)

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Güneş Benzeri Titreşim Yapan Evrimleşmiş Yıldızlar için $\Delta v$ - $\rho$ İlişkisi $\Delta v$ - $\rho$ Relations for Solar-like Oscillation Evolved Stars Zeynep ÇELİK ORHAN	<b>041101 (776-782)</b>
--	-------------------------

#### KİMYA / CHEMISTRY (12)

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Ex-situ PTH/PEDOT Kompozitlerinin Termoelektrik Özellikleri Thermoelectric Properties of ex-situ PTH/PEDOT Composites Keziban HÜNER	<b>041201 (783-791)</b>
<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Antibakteriyel Özelliğe Sahip Aminogliksimlerin Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi Synthesis of Aminogliximes with Antibacterial Properties and Investigation of Properties Önder ALICI, Şule KÖKTEN, İbrahim KARATAŞ, Erdoğan GÜNEŞ	<b>041202 (792-799)</b>

#### MATEMATİK & İSTATİSTİK / MATHEMATICS & STATISTICS (13)

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Güçlü s- $\eta$ -Konveks Fonksiyonlar için Bazı Hermite-Hadamard Tipi Eşitsizlikler Some Hermite-Hadamard Type Inequalities for Strongly s- $\eta$ -Convex Functions Hasan ÖĞÜNMEZ, Nurila TOIGOMBAEVA	<b>041301 (800-804)</b>
--	-------------------------

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Özdeş Bileşenlerden Oluşan Genelleştirilmiş n-den k-Çıkışlı F Sistemlerin Güvenilirliği Üzerine Bir Yaklaşım An Approach to the Reliability of Generalized k-out-of-n F System with Identical Components Fatih Mehmet CANPOLAT, Fahrettin ÖZBEY	<b>041302 (805-811)</b>
---	-------------------------

## MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ / ENGINEERING

### *BİLGİSAYAR & BİLİŞİM / COMPUTER & INFORMATICS (51)*

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Yığılmış Topluluk Derin Sinir Ağı Aracılığıyla Erken Evrede Diyabet Olasılık Tahmini Possibility Prediction Of Diabetes Mellitus At Early Stage Via Stacked Ensemble Deep Neural Network Ahmet Haşim YURTTAKAL, Hatice BAŞ	<b>045101 (812-819)</b>
--	-------------------------

### *ELEKTRİK & ELEKTRONİK / ELECTRICAL & ELECTRONICS(52)*

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> DsPic33fj32mc204 Mikroişlemci Tabanlı Hall Sensörlü Fırçasız Doğru Akım Motor Sürücüsü Tasarımı ve Proteus Simülasyon Uygulaması DsPic33fj32mc204 Microprocessor Based Hall Sensor Brushless Direct Current Motor Driver Design and Proteus Simulation Application Tolga ÖZER, Sinan KIVRAK, Yüksel OĞUZ, Muhammed Mustafa KELEK, Abdussamet KARACA	<b>045201 (820-828)</b>
---	-------------------------

### *GIDA, ÇEVRE & ORMAN / FOOD, ENVIRONMENTAL & FOREST (54)*

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Küçük Aile İşletmelerinde Üretilen Diyarbakır Örgü Peynirinin Bileşim ve Bazı Biyokimyasal Özellikleri The Compositional and Some Biochemical Characteristics of Diyarbakır Örgü Cheese Produced in Small Family Plants Abdulkerim HATİPOĞLU, Şerafettin ÇELİK	<b>045401 (829-836)</b>
--	-------------------------

<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Hidrografik Çalışmalardaki Kinematik Çözüm Performansının Araştırılması</p> <p>A Research on Kinematic Processing Performance of Precise Point Positioning Method in Hydrographic Surveys</p> <p>Nedim Onur AYKUT, Burak AKPINAR</p>	<p><b>045501 (837-845)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Nominal Değerleme Yöntemi ile CBS Destekli Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması: Avanos/Nevşehir Örneği</p> <p>Producing GIS-based Land Value Maps by Using Nominal Valuation Method: Case Study in Avanos/Nevşehir</p> <p>Müberra DOLDUR, Reha Metin ALKAN</p>	<p><b>045502 (846-863)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Metro İstasyonları ve Metro Hatları Çevrelerinin Konut Alt Piyasasına Etkisi: İstanbul Kadıköy-Tavşantepe Metro Hattı</p> <p>The Impact of Subway Stations and Subway Lines Environment on the Housing Sub-Market: İstanbul Kadıköy-Tavşantepe Metro Line</p> <p>Birol ALAS</p>	<p><b>045503 (864-874)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Uygulama İmar Planlarında Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Kullanımı</p> <p>Using Mobile Augmented Reality Application in Implementary Development Plan</p> <p>Ömer Gökberk NARİN</p>	<p><b>045504 (875-880)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Çoklu Zamanlı Sentinel-2 Görüntülerinden Tarımsal Ürün Tespiti: Mardin – Kızıltepe Örneği</p> <p>Agricultural Crop Detection from Multi-Temporal Sentinel 2 Images: A Case Study of Mardin – Kızıltepe</p> <p>Müslüm ALTUN, Mustafa TÜRKER</p>	<p><b>045505 (881-899)</b></p>

<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Polipropilen Elyaf ile Güçlendirilmiş Kumun Kayma Mukavemeti Parametreleri</p> <p>Shear Strength Parameters of Sand Reinforced with Polypropylene Fiber</p> <p>Hüseyin Suha AKSOY, Omer Muhammad EDAN, Nichirvan Ramadhan TAHER</p>	<p><b>045601 (900-907)</b></p>
--	--------------------------------

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Bir Boyutlu Analiz Yöntemiyle Sahaya Özel Sıvılaştırma Risk Haritalarının Oluşturulması: Afyonkarahisar Örneği Generating Site-Specific Liquefaction Risk Maps with One Dimensional Analysis Method: A Case Study In Afyonkarahisar Süleyman GÜCEK, İsmail ZORLUER	<b>045602 (908-921)</b>
--	-------------------------

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

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Elastin Çözeltilerinin Viskoelastik Karakterizasyonları Viscoelastic Characterizations of Elastin Solutions Guler Bengusu TEZEL	<b>045701 (922-926)</b>
---	-------------------------

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

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Falcon Konsantratör ile Ermenek Linyitinden Kül ve Kükürdün Uzaklaştırılması Removal of Ash and Sulfur from Ermenek Lignite with the Falcon Concentrator Aydan AKSOĞAN KORKMAZ	<b>045801 (927-933)</b>
<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Zayıf Kaya Kütlelerinde Açılan Modifiye At Nalı Kesitli Tünellerdeki Deformasyon Dağılımının Sayısal Modelleme ile Belirlenmesi Determination of Deformation Distribution around Modified Horseshoe Cross-sectional Tunnels in Weak Rock Mass Alaattin SAKCALI	<b>045802 (934-944)</b>

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

<b>Araştırma Makalesi / Research Article</b> Güneş Enerjili Yeni Tip Bir Kurutucuda Granny Smith Elmanın Kuruma Davranışının İncelenmesi Investigation of Drying Behavior of Granny Smith Apple in a Novel Solar Drier Doğan Burak SAYDAM, Kamil Neyfel ÇERÇİ, Ertaç HÜRDOĞAN	<b>045901 (945-957)</b>
--	-------------------------

*DİSİPLİNLER ARASI / INTER DISCIPLINARY (71)*

<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Havzaların Benzerliklerini Tanımlamada Alternatif Bir Yaklaşım: Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi Uygulaması</p> <p>An Alternative Approach in Defining the Similarity of Catchments: Application of Hierarchical Clustering Method</p> <p>Ersin AYTAÇ</p>	<p><b>047101 (958-970)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Seydiler Bölgesi (Afyonkarahisar) Diyatomitinin Bitkisel Yağların Ağartılmasında Kullanım Olanaklarının Araştırılması</p> <p>Investigation of Usage Opportunities in the Seydiler Region (Afyonkarahisar) Diatomite for the Bleaching of Vegetable Oils</p> <p>Erman DUMAN, Ahmet YILDIZ, Alper DÜLGER, Sabire DUMAN</p>	<p><b>047102 (971-977)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Güney Shetland Adalarından Livingston Adası, Güney Körfezindeki Antarktik Yüzey Sularının Özellikleri</p> <p>Characteristics of Antarctic Surface Waters in the South Bay, on Livingston Island, South Shetland Islands</p> <p>Mehmet BODUR, Mustafa KOÇAK</p>	<p><b>047103 (978-984)</b></p>

*MÜHENDİSLİK DİĞER / OTHER ENGINEERING (72)*

<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Gerçek Zamanlı DC Motor Konum-Hız ve Konum-Hız-Tork Kaskad PID Denetleyici Performanslarının Karşılaştırılması</p> <p>Comparison of Real Time DC Motor Position-Speed and Position-Speed-Torque Cascade PID Controller Performances</p> <p>Hüseyin KOÇ, Burak Safa BERZENER, Tuğçe YAREN, Selçuk KİZİR</p>	<p><b>047201 (985-995)</b></p>
<p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Pedikül Vidaları İçin PLA Malzeme Kullanımının Mukavemet Açısından Değerlendirilmesi</p> <p>Evaluation of the Use of PLA Material for Pedicle Screws in Terms of Strength</p> <p>Talip ÇELİK, Çağatay TAŞDEMİRCİ, İbrahim MUTLU, Arif ÖZKAN</p>	<p><b>047202 (996-1004)</b></p>

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 041001 (764-775)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 041001 (764-775)

DOI: 10.35414/akufemubid.869563

Araştırma Makalesi / Research Article

# Türkiye Florası için Yeni bir *Persicaria* L. Taksonu ve İstanbul'un Polygonaceae Taksonlarının Taksonomik Durumu

Mustafa KESKİN<sup>1</sup>, Zeki SEVEROĞLU<sup>2</sup><sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kadıköy, İstanbul, Turkey.<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kadıköy, İstanbul, Turkey.\*Sorumlu yazar e-posta: trifolium@hotmail.com  
e-posta: zseveroglu@marmara.edu.trORCHID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2454-1891>ORCHID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3420-3557>

Geliş Tarihi: 27.01.2021

Kabul Tarihi: 08.08.2021

## Öz

**Anahtar kelimeler**  
Polygonaceae; Yeni kayıt; İstanbul; Teşhis anahtarları; Dağılım haritaları.

Bu makalede İstanbul'daki Polygonaceae familyasına ait türler taksonomik yönden incelenmektedir. Türkiye'de 14 cinse ait hibritler dahil olarak 94 tür ve 9 türaltı takson bulunmaktadır. İstanbul florasında ise Polygonaceae familyasına ait *Fallopia* 2 tür, *Persicaria* 5 tür 3 alttür, *Polygonum* 9 tür ve *Rumex* 9 tür olmak üzere cinslerine ait toplam 26 tür ve 3 alttür rapor edilmektedir. Bunlardan *Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa* taksonu Türkiye Florası için yeni kayıt olarak tespit edilmiştir. Bu taksona ait detaylı fotoğraf ve betimlemesi verilmiştir. İstanbul'da yaşadığı saptanan her cins için orijinal teşhis anahtarı ve dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca güncel bilgiler ışığında Türkiye'deki Polygonaceae familyası için cins teşhis anahtarı önerilmektedir.

## A New *Persicaria* L. Taxon for Flora of Turkey and Istanbul's Taxonomic Status of Polygonaceae Taxa

### Abstract

**Keywords**  
Polygonaceae; New records; İstanbul; Identification keys; Distribution maps.

In this article, the species belonging to the Polygonaceae family in Istanbul are examined taxonomically. There are 94 species and 9 subspecies taxa belonging to 14 genera in Turkey. In the flora of Istanbul, a total of 26 species and 3 subspecies of the genus are reported, including *Fallopia* 2 species, *Persicaria* 5 species, 3 subspecies, *Polygonum* 9 species and *Rumex* 9 species belonging to the Polygonaceae family. Of these, *Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa* taxon was reported as a new record for the Flora of Turkey. Detailed photographs and descriptions of this taxon are given. Original identification keys and distribution maps were created for each genus found to live in Istanbul. In addition, in the light of current information, a genus identification key is recommended for the Polygonaceae family in Turkey.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Türkçe adıyla Madımakgiller ya da Karabuğdaygiller olarak bilinen Polygonaceae, 1789 yılında, Antoine Laurent de Jussieu tarafından "Genera plantarum: secundum ordines naturales disposita, juxta methodum in Horto regio parisiensi exaratum" adlı eserinde tanıtmıştır (Jussieu 1789).

Türkiye'de yetişen Polygonaceae familyası hakkında ilk derli toplu bilgiler Boissier tarafından Flora Orientalis eserinde verilmiştir (Boissier 1846). Daha sonra Flora of Turkey and The East Aegean Islands vol.2'de Cullen, *Polygonum* cinsi hariç tüm cinsleri ve Coode

ile birlikte de *Polygonum* cinsi hakkında daha net dağılım ve taksonomik bilgiler verilmiştir (Coode and Cullen 1967). Kendileri bu familyayı sekiz cins (*Atraphaxis* L., *Pteropyrum* Jaub. & Spach, *Calligonum* L., *Rheum* L., *Oxyria* Hill, *Polygonum* L., *Rumex* L., *Emex* Neck) olarak incelemişlerdir.

Leblebici (1990), Türkiye *Polygonum* cinsini Flora yazımından sonra ilk defa detaylı olarak incelemiştir. Tan and Baytop (1995), *Polygonum nepalense* türünün varlığını rapor etmişlerdir.

Keskin (2012), Türkiye Bitkileri Listesi kitabında bu familyanın kitabın yayın tarihine dek Türkiye'de



kaydedilmiş olan tüm cins ve türlerinin detaylı bir sistematik listesini vermiştir.

Karaer vd. (2020) tarafından *Reynoutria* cinsini Türkiye Florasına ilave etmişlerdir. Kendileri de bir cins teşhis anahtarı hazırlamışlardır. Cins isimleri, Türkiye Bitkileri Kitabından (Keskin 2012) alınmıştır.

Sahip olduğu farklı morfolojik karakterler sebebiyle değişik sistematik anlayışlar gelişmiş ve bu da familyadaki cins sayısında farklılıklar meydana gelmiştir. Bazen bu cins ayrımı bile ayrı makalelere konu olmuştur (Marek 1958; Webb and Chater 1963; Graham and Wood 1965; Ronse De Craene and Akeroyd 1998).

Keskin ve Severoğlu (2020), ilk defa Türkiye'de yayılış gösteren *Polygonum* cinsini geniş anlamda incelemeyi bırakarak modern görüşler doğrultusunda makalelerinde *Persicaria* cinsini ayrı olarak ele alarak incelemiş ve Türkiye'deki türler için yeni bir anahtar vermişlerdir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma materyalini oluşturan örnekler çeşitli herbaryumlarda (E, EGE, ISTE, ISTF, ISTO, MUFE, ANK, GAZI, HUB, NGBB, KNYA, HARRAN, VANF) incelenen örnekler ile ilk yazarın doktora tezinin arazi gezileri sırasında toplanan numunelerine dayanmaktadır.

Haritaları oluşturma aşamasında sadece bu çalışmalar sırasında derlenen bilgiler ile ilk yazarın çeşitli yıllarda yapmış olduğu arazi gezileri sırasında toplamış olduğu örneklere ait veriler kullanılmıştır.

## 3. Bulgular

### 3.1. *Polygonaceae* Juss., Gen. Pl. 82 (1789), nom. cons./korunmuş ad

**Gövde:** Genel olarak tek ya da çok yıllık otlar ya da odunsu çalılardır (Türkiye dışında yaşayan bazı cinsleri ağaç ya da boylu çalılar bazen yüksek boylu sarmaşıklar). **Yaprak:** Hepsi almaşık nadiren karşılıklıdır (Türkiye'de bulunmayan *Pterostegia* cinsi). Yaprak kulakçığı (sitipul) gövdeyi sararak tüp oluşturur bu yapı "okrea" adını alır (Türkiye'de bulunmayan *Erigononeae* alt familyasında okrea bulunmaz). Okrea üst kısmında genellikle parçalı, yaprak sapı genellikle mevcut, aya basit; damarlar özellikle alt yüzde belirgindir. **Çiçekler** iki eşeyli (erselik) bazen

bir ya da iki eşeylidir. Çiçek durumu genellikle çok çiçekli başak görünümlü rasem, çok dallanmış panikül ya da aynı noktadan çıkan çok sayıda çiçek (fasikül) tipte, nadiren tek çiçeklidir. Çiçekler belirgin saplı (pedisel), pedisel bazen brakte içinde kaldığından çoğunlukla görünmez. **Tepal** (sepal petal ayrımı yok): 5-6 (nadiren 4) tane, tabanı az çok bitişik (perigon). **Sitamen:** (2)6-8 (-18), filamentler tabanda genişlemiş ya da ince uzun, tepallerin arasında (almaşık), tepaller kadar ya da tepallerden daha uzundur. Polenler, apertürlü, kolpat ya da kolporat nadiren foraminat veya rugattır. **Ovaryum:** üst durumlu, sitillus belirgin, stigma (başçık) 2-3, 3-karpellidir, **Meyve:** Fındıkçık (aken) 2-3 yüzlü (pirizmatik), genellikle tepal içinde, 1 tohumlu besi dokulu, Kotiledon 2 (Brandbyge 1993).

### 3.2. Türkiye İçin *Polygonaceae* Cins Teşhis Anahtarı

- 1 Odunsu çalılar
  - 2 Yapraklar tabanda böbreksi; sitamen 10-16 adet  
...*Calligonum*
  - 2 Yapraklar tabanda daralıcı, biraz geniş fakat böbreksi değil; sitamen en fazla 8 adet
    - 3 Meyve kanatlı; filamentler tüylü  
...*Pteropyrum*
    - 3 Meyve kanatsız; filamentler tüysüz  
...*Atraphaxis*
- 1 En fazla dip kısmı odunsu olan otsu bitkiler
  - 4 Yaprakların eni boyuna hemen hemen eşit, 20-100 cm boyunda  
...*Rheum*
  - 4 Yapraklar böbreksi değil, yapraklar 20 cm' den ufak, boyu eninden uzun
    - 5 Gövde uzun (1-5 m), sarılıcı, tırmanıcı veya dik, zengin dallanma yapar ve yayvan tipte
      - 6 Sitigma başçık ya da bozuk para şeklinde  
...*Fallopia*
      - 6 Sitigma tüysü, saçaklı şekilde  
...*Reynoutria*
    - 5 Gövde farklı tipte
      - 7 Pedisel bariz eklemli; sitigma tüysü çok parçalı  
...*Rumex*
      - 7 Pedisel eklemsiz ya da yok; sitigma 2-3 parçalı, nadiren tüysü parçalı (*Emex*)

8 Çiçek durumu uzun, bol çiçekli ve zengin panikulat dallanma yapar  
...*Koenigia*

8 Çiçek durumu rasem

9 Yapraklar uzun saplı, aya böbreksi ile kulakçıklı

10 Yapraklar kulakçıklı, dış hatları üçgenimsi

...*Fagopyrum*

10 Yapraklar böbreksi, dış hatları yuvarlak

11 Meyve dikensiz ...*Oxyria*

11 Meyve geri dönük dikenli

...*Emex*

9 Yapraklar kısaca saplı; aya böbreksi ya da kulakçıklı değil

12 Kalın rizomlu çokyillik; yapraklar en az 10 cm, boyu eninden çok uzun; yaprak sapı kanatlı; sitigma 3; sitamen tepallerden uzun

...*Bistorta*

12 Bir ya da çokyillik; yapraklar 10 cm'den genellikle kısa, sap asla kanatlı değil; sitigma 2 ya da 3; sitamenler en fazla tepal kadar

13 Sitigma 2; filamentler ince uzun; çiçekler genel olarak bıraktesiz

...*Persicaria*

13 Sitigma 3; filamentler kısa, tabanda bariz geniş; çiçekler bırakte ve zarımsı bırakteol tarafından desteklenir

...*Polygonum*

### 3.3. İstanbul'un *Polygonaceae* Türlerinin Dağılımları

Türkiye'de 14 cinse ait hibritler dahil olarak 94 tür ve 9 türaltı takson bulunmaktadır. İstanbul florasında ise *Polygonaceae* familyasına ait *Fallopia* 2 tür, *Persicaria* 5 tür 3 alttür, *Polygonum* 9 tür ve *Rumex* 9 tür olmak üzere cinslerine ait toplam 26 tür ve 3 alttür rapor edilmektedir.

#### 3.3.1. *Fallopia Adanson, Fam. Pl. 2: 277, 557 (1763).*

Sarmaşık şeklinde büyüme gösteren bir ya da çokyillik bitkilerdir. Gövde genellikle tüysüzdür. Yapraklar almaşık ve belirgin saplıdır. Okrea kalıcı ya da düşücü, sert yapılıdır. Yaprak sapı taban kısımda eklemlidir. Yaprak ayası yuvarlakça ya da yumurtamsı, tabanda böbreksidir. Çiçek durumu uç kısımda başağimsi rasem, pedisel eklemli, çiçekler genellikle iki eşeylidir. Tepal 5, beyazımsı ya da yeşilimsi, dıştakiler belirgin sırtlı-kanatlıdır, tepaller meyvede genişlemiştir. Sitamenler 6-8 adet. Sitillus 3, sitigma küremsi, saçaklı veya bozuk para şeklindedir. Akenler 3-köşeli, tüysüzdür.

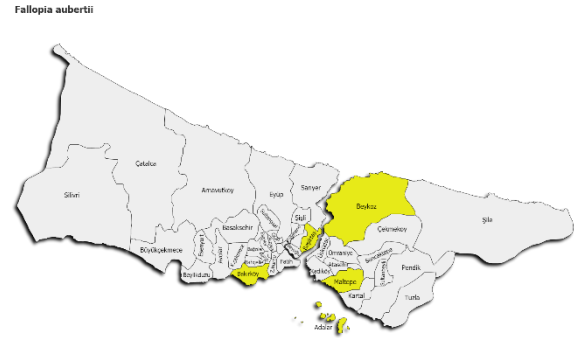
Türkiye'de 3 türü bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi İstanbul ili sınırları içinde yetişmektedir (Şekil 1-2).

*F. aubertii* (L.Henry) Holub türü, genellikle süs bitkisi olarak ekimi yapılmakta olmasına karşın Kınalıada'da tespit edilen popülasyonu kesin olarak yabanileşmiş ve çok geniş bir alanı kaplamaktadır. Yıl boyunca hem çiçekli hem de meyveli olarak bulunabilmektedir.

*F. convolvulus* (L.) Á.Löve tür ise ince yapılı gövdesi ile bariz olup dağılım bakımından az bulunur. Daha çok boş alanlarda ve yol kenarında tesadüf edilmektedir.

Teşhis Anahtarı

- 1 Bir yıllık; pedisel 0,5-2,5 mm, uca yakın eklemli  
**2. convolvulus**  
1 Çok yıllık; pedisel 3-4 mm, tabana yakın eklemli  
**1. aubertii**



Şekil 1. *Fallopia aubertii*

*Fallopia auberti*



Şekil 2. *Fallopia concolvulus*

### 3.3.2. *Persicaria (L.) Miller, Gard. Dict. Abr., ed. 4. vol. 3 (1754).*

Bir ya da çokyillik bitkiler. Gövde genellikle dik olarak büyüme gösterir. Yapraklar dökülücü, almaşık yapıda dizilidir. Yaprak ayası değişken yapıda fakat genellikle mızraksı tipte. Çiçek durumu uçta veya bazen yaprak diplerinden çıkar, başağa benzer rasemler, çiçekler iki eşeylidir. Çiçekler daima sapsızdır. Tepaller 4-5 adet, genellikle beyazımsı, yeşilimsi ya da pembemsidir. Sitamen 5-8 adet, filamentler serbest ya da tabanda az bitişiktir. Sitillus 2(-3), sitigma küremsi. Akenler diskoid, iki yüzlü, bazen 3 yüzlü, tüysüz.

#### Teşhis Anahtarı

- 1 Çiçek durumu gevşek, eksen rahatlıkla görülür, az çiçekli
  - 2 Rizomlu çokyillik; yapraklar 60-120 x 20-30 mm .....**5. decipiens**
  - 2 Bir yıllık; yapraklar 30-100 x 5-15 mm
    - 6. hydropiper**
- 1 Çiçek durumu sıkışık, eksen görülmez, çok çiçekli
  - 3 Su içinde yetişen bitkiler; rizomlu çok yıllık
    - 4. amphibium**
  - 3 Karada yetişen bir yıllık bitkiler
    - 4 Gövde kalın yapılı, tüylü, dik yapılı, 2 m kadar kadar boylu; okrea uçta yeşil yapraksı çıkıntılı .....**9. orientalis**
    - 4 Gövde ince yapılı, tüysüz 1 m civarı boylu; okrea uçta dişli
      - 5 Pedankıl tüysüz; okrea tüp kadar uzunca dişli .....**8. maculosa**
      - 5 Pedankıl salgı tüylü; okrea tüpten kısa dişli ya da dişsiz, düz .....**7. lapathifolia**

Türkiye’de 11 tür 2 alttür ile temsil edilen bu cins, İstanbul’da 6 tür, yeni alttür kaydı ile birlikte 3 alttür ile temsil edilmektedir. (Şekil 4-9).

Bu cinsin dağılım haritaları incelendiğinde ağırlıklı olarak *Pe. lapathifolia* subsp. *lapathifolia* ve *Pe. maculosa* türünün İstanbul’da yaygın olarak yetiştiği görülebilir. Her ikisi türünde daha geniş bir yayılışa sahip olması muhtemeldir.

Burada zikredilen *Pe. lapathifolia* subsp. *nodosa* taksonu Türkiye Florası için yeni kayıttır (Şekil 3). Türün diğer alttürlerden şu özellikleri ile farklılaşmaktadır:

#### *Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa* (Pers.)

Á.Löve, Rit Landbúnaoard. Atvinnud. Háskólans, B 3: 109 (1948).

Eş adlar: *Polygonum nodosum* Pers. Syn. Pl. 1: 440 (1805). *Persicaria nodosa* (Pers.) Opiz, Senzam 72 (1852). *P. glandulosum* Kit., Linnaea 34: 363 (1863). *P. lapathifolium* var. *nodosa* (Pers.) Hook.f., Fl. Brit. Ind. 5: 35 (1886). *P. lapathifolium* var. *nodosum* (Pers.) Beck in Reichenb. Icon. Fl. Germ. 24: 75 (1909). *Pe. lapathifolia* var. *nodosa* (Pers.) Lunell, Amer. Midl. Naturalist 4(7): 303 (1916). *Pe. lapathifolia* var. *nodosa* (Pers.) Gorman, Muhlenbergia 2: 382 (1916). *P. lapathifolium* subsp. *nodosum* Danser, Ned. Kruidk. Arch. 1931: 107 (1932). *Pe. lapathifolia* var. *nodosa* (Pers.) Qaiser, Fl. Pakistan 205: 32 (2001).

Tip lokalite: Tip örnek lokalitesi orjinal makalesinde net olarak belirtilmemiş.

Tek yıllık. **Gövde** 70-150 cm, tabandan itibaren çok dallanmış ve kalın yapılı, 5-9 mm çapındadır; gövde üzeri oyuklu-damarlar bulunur ve koyu yeşil renklidir; gövdenin üst kesimlerinde üzerinde çok belirgin olarak kırmızımsı-mor benekler veya lekeler vardır. **Yaprak**: Okrea geniş ve uzun 15-33 mm, üzeri belirgin damarlı, zarımsı, üst kısmı küt ya da kısaca dişlidir. Nodlar belirgin şişkin, araları 3 cm ve genellikle benek ve lekeler burada da bulunur. Yaprak sapı 8-30 mm, kısa sert tüylüdür. Yapraklar, yan dallarda uzun ve geniş, uzun sapsızdır; biraz eliptik ve geniş yapılıdır. Ana gövde yaprakları 100-150 x 25-40 mm, uç kısımda sivridir. Damar sistemi belirgin, kenarları tüysüz ya da seyrek, kalın tüylüdür. Alt yüzeyde sarımsı guddeli, üstte morumsu lekelidir. **Çiçek durumu**: Pedankıl 2-10 cm, salgı guddeleri bulundurur, uca doğru birkaç kez dallanma yapar uçtaki çiçek durumu yanlardan daha uzun yapıdadır. Bırakte darca uzun yapılı, damarlar belirgin; salgı guddeli ama kenarları tüysüzdür. Çiçek durumu uzun, sıkışık yapılı,

genellikle 20-60 mm boyunda, birkaç kez dallanır; burada yer alan bırıkteler dar ve uzunca tiptedir. **Çiçekler:** Pedisel kısa ve genellikle okreolat yapıların içinde kalır. Çiçekler pembe ya da beyazımsı pembe 1,8-2 mm boyutlarındadır. Meyveli tepal üst üste binmiş halde, 2-2,2 mm, üzeri geniş çapamsı damarlı, seyrek salgı guddelidir. Sitigma 2-adet, çengelvari geriye doğru kıvrılır. Sitamen 5-6 adet. **Akenler** tepaller içinde saklı kalır. 2-2,5 mm, iki yüzlü, diskoid, parlak kahverengi ve pürüzsüzdür.

Özellikle sulak habitatlarda rastlanmaktadır.

*Pe. lapathifolia* için alttür teşhis anahtarı

Gövde üst kesimde kırmızı-morumsu benekli-lekeli  
**subsp. nodosa**

Gövdede benek ya da leke yok

Yaprakların altı beyazımsı yünsü tüylü

**subsp. britingeri**

Yaprakların altı tüysüz ya da çok seyrek tüylü

**subsp. lapathifolia**

Yeni tespit edilen subsp. *nodosa* taksonu özellikle şu karakterleri ile kendini belli etmektedir:

- 1) Özellikle gövdenin üst kesimlerinin kırmızı morumsu beneklere sahip olması
- 2) Koyu pembe çiçekleri
- 3) Uzun boyu ve kaba gövdesi

Alttürler için karşılaştırma tablo, çizelge 1'de verilmiştir. Bu türe ait diğer bir alttür olan *britingeri*, yakın zamanda yayınlanmış (Keskin ve Severoğlu 2020)

olması sebebiyle türe ait alttür sayısı üçe yükselmiştir. Tespit edilen lokaliteleri şunlardır:

**Çekmeköy:** Hüseyinli köyü girişi, 7 m, N 41° 07' 07,5" ve 29° 17, 58,8", 11.vii.2020, M.Keskin 8032!.

**Sarıyer:** Bahçeköy, Belgrad ormanı, Karanlık bendi, su kenarı, 6.ix.2020, M.Keskin 8071!.

**Tuzla:** Akfırat beldesi, Formula 1 alanı karşısı, çayırılık, 7.viii.2019, M.Keskin 7861!.

**Tuzla:** Akfırat beldesi, Formula 1 Yarış alanı karşısı, kurumuş dere yatağı, kumlu toprak, 11.viii.2020, M.Keskin 8062!

**Çizelge 1.** *Persicaria lapathifolia* alttürlerinin bir karşılaştırması

<i>subsp. lapathifolia</i>	<i>subsp. britingeri</i>	<i>subsp. nodosa</i>
Gövde yeşil ya da kırmızımsı, ama asla benekli değil	Gövde yeşil ya da kırmızımsı, ama asla benekli değil	Gövde yeşil fakat özellikle üst kısımlarda kırmızı-morumsu benekli
40-70 x 10-30 mm, mızraksı ila eliptik ya da darca eliptik, yaprakların altı sarı ya da sarımsı kahverengi salgı kafalı.	25-50 x 10-22 mm, genişçe yumurtamsı ila mızraksı, genişliğinden uzun; yapraklar iki renkli, alt yüzde sık yünsü tüylü; üstte ise yeşil	100-150 x 25-40 mm, darca mızraksı, alt yüzeyde sarımsı guddeli.
Tepaller genellikle pembe, 2-3 mm.	Tepaller pembemsi 2-2,5 mm.	Pembe veya beyazımsı pembe 1,8-2 mm.
Akenler 2-2,5 mm, iki yüzlü, diskoid.	Akenler 2 mm, parlak, basık, mercimekvari.	Akenler 2-2,5 mm, iki yüzlü, diskoid.





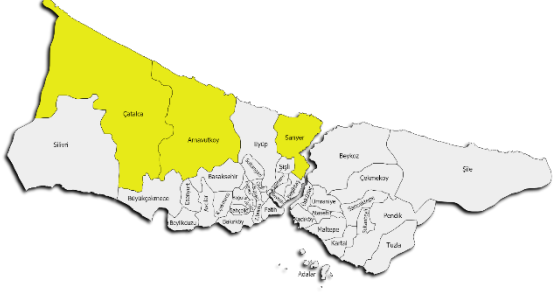
Şekil 3. *Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa*: 1. Genel görünüm 2. Gövdenin üst kısımları 3. Çiçek durumu 4. İki nod arası 5. Tek çiçek durumu 6. Tek yaprak 7. Meyveli çiçek durumu (foto: M.Keskin)

*Persicaria amphibia*



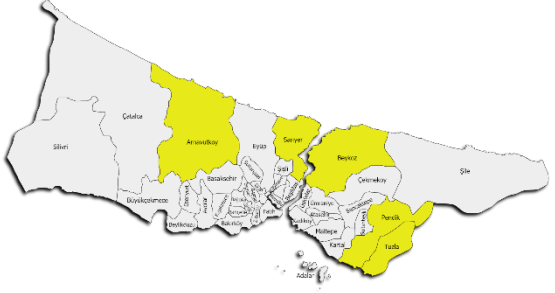
Şekil 4. *Persicaria amphibia*

*Persicaria decipiens*



Şekil 5. *Persicaria decipiens*

*Persicaria hydropiper*



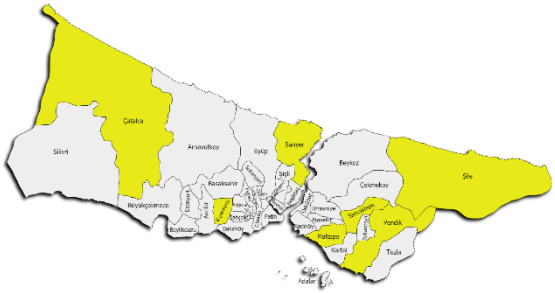
Şekil 6. *Persicaria hydropiper*

*Persicaria lapathifolia* subsp. *britingeri*



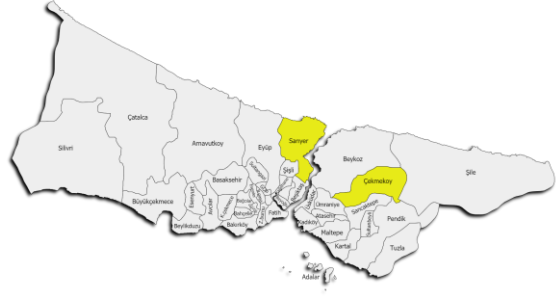
Şekil 7a. *Persicaria lapathifolia* subsp. *britingeri*

*Persicaria lapathifolia* subsp. *lapathifolia*



Şekil 7b. *Persicaria lapathifolia* subsp. *lapathifolia*

*Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa*



Şekil 7c. *Persicaria lapathifolia* subsp. *nodosa*

*Persicaria maculosa*



Şekil 8. *Persicaria maculosa*

*Persicaria orientalis*



Şekil 9. *Persicaria orientalis*

### 3.3.3. *Polygonum* L., Sp. Pl. 1: 359 (1753), nom. cons./korunmuş ad

Bir ya da çokyillik bitkiler, bazen taban kısmı odunsu çalılar. Yapraklar genellikle sapsız ya da kısaca saplı, taban kısımda eklemli. Okrea tüpsü, damarlar belirgin, uç kısımda genellikle parçalıdır. Çiçek durumu genellikle gövdenin uç kısımlarında rasem ya da başağımsı rasem, yapraklara benzer yaprak diplerinde birkaç birkteol tarafından desteklenir. Pediseller daima mevcut ama bazen çok kısa ve okreoller tarafından sarıldığı için dışarıdan görülmez. Tepal 5 adet, taban kısımda biraz bitişip tüp meydana getirir. Sita-men 5-8 adet, filamentler tabanda serbest ve genişlemiştir. Sitillus 3, sitigma kısa saplı ve küreseldir. Meyveli tepaller genellikle genişlemiştir. Akenler üç köşeli, tüsüz, üzeri pürüzsüz ya da kısaca minik siğilli (çıkıntılı)dır.

### Teşhis Anahtarı

- 1 Kumul bitkisi; çok yıllık; alt okrealar nodlardan uzun ...**16. maritimum**
- 1 Çoğunlukla kara bitkisi; bir ya da çok yıllık; okrealar nodlardan kısa
  - 2 Kumul bitkisi; bir yıllık; akenler tepallerden belirgin uzun ... **17. mesembricum**
  - 2 Kara bitkisi nadiren kumullarda yetişir; akenler tepallerden kısa ya da az uzun ise o zaman bitkiler çok yıllık
    - 3 Taban ve kök kısmı odunsu yarı çalı bitkiler; akenler tepallerden uzun; yaprak yüzeyi minik pürtlüklü .**14. istanbulicum**
    - 3 Bir ya da çok yıllık ama asla odunsu yapıda değil; akenler en fazla tepaller kadar; yaprak yüzeyi pürüzsüz
      - 4 Toprakaltı kısmı rizom taşıyan ya da kaba köklü çok yıllık bitkiler
        - 5 Rizomlu; yapraklar daima kalıcı ...**15. longipes**
        - 5 Kaba köklü; yapraklar meyve zamanı öncesi dökülür ...**13. equisetiforme**
      - 4 İnce köklü bir yıllık bitkiler
        - 6 İnce taneli toprakta ya da kumullarda yetişen bitkiler; çiçek durumu genellikle gövdenin uç kısmında toplanır, sıkışık başaksı görünüşte ...**10. arenarium**
        - 6 Normal toprakta yetişen bitkiler; çiçek durumu asla uçta toplanmaz
          - 7 Bırakte yapraklardan küçük ve şekil bakımından genellikle az da olsa farklılaşmış ... **18. pulchellum**
          - 7 Bırakte ve yapraklar şekil ve büyüklük bakımından benzerdir
            - 8 Tepallerin oluşturduğu tüp kısmı ile serbest kısımlar yaklaşık eş boyda ..**11. arenastrum**
            - 8 Tepallerin oluşturduğu tüp kısmı, serbest kısımlardan çok kısa ...**12. aviculare**

Türkiye'de 28 türü bulunmaktadır. İstanbul'da ise 9 türü tespit edilmiştir (Şekil 10-18).

İstanbul içindeki türlerden *P. istanbulicum* M.Keskin türü lokal endemik bir türdür. Tek bir noktadan ve 300 kadar bireyden oluşan bir popülasyonu bulunmaktadır. Acil koruma önlemi alınmadığı sürece gelecek yıllarda bulunma olasılığı çok zayıftır zira yetiştirme alanı yoğun insan baskısı altındadır.

*P. longipes* türü sadece Flora of Turkey'deki tek bir toplamadan bilinmekteyken bu çalışmada iki ayrı lokaliteden daha toplanmış fakat ilk kayıt yerinin aşırı şehirleşme baskısı altında olması sebebiyle bir daha toplanamamıştır.

Kumul alanlarda *P. mesembricum* ve *P. maritimum* türü sıklıkla görülmektedir.

İstanbul içinde en yaygın olanı *P. aviculare* türü olup hemen her habitat tipinde bulunabilmektedir.

*Polygonum arenarium*



Şekil 10. *Polygonum arenarium*

*Polygonum arenastrum*



Şekil 11. *Polygonum arenastrum*

*Polygonum aviculare*



Şekil 12. *Polygonum aviculare*



*Polygonum equisetiforme*



Şekil 13. *Polygonum equisetiforme*

*Polygonum istanbulicum*



Şekil 14. *Polygonum istanbulicum*

*Polygonum longipes*



Şekil 15. *Polygonum longipes*

*Polygonum maritimum*



Şekil 16. *Polygonum maritimum*

*Polygonum mesembriacum*



Şekil 17. *Polygonum mesembriacum*

*Polygonum pulchellum*



Şekil 18. *Polygonum pulchellum*

### 3.3.4. *Rumex L., Sp. Pl. 1: 333 (1753).*

Bir ya da çokyillik bitkiler. Gövde genellikle tüsüz ve dik yapılıdır. Tabanda çoğunlukla rozet şeklinde dizili yapraklara sahiptir. Yapraklar genellikle uzun ve etli saplı, saplar eklemli değildir. Okrea kısa ya da uzun yapılı, tüp kısmı belirgin damarlı olup meyve olgunlaşma zamanı yok olmaktadır. Çiçekler çoğunlukla iki eşeyli, bazen bir eşeyli, yalancı vertisillatlar şeklinde dizilidir. Pedisel eklemlidir. Çiçekler bir halkada 6-parçalıdır. İçteki parçalar meyve olgunlaşma zamanı genişler ve tipik bir meyve yapısını oluşturur. Sita-menler 6-adet; sitigma 3-adet ve tüsü yapıdadır. Fındıkçık piramitvari olup meyve parçaları tarafından kapatılır.

#### Teşhis Anahtarı

- 1 Kumul bitkisi; meyveli pedisel şişkinleşmiş, çomaksı ...**20. bucephalophorus**
- 1 Kara bitkisi nadiren kumullarda fakat asla şişkin pediselli değil
  - 2 Yapraklar tabanda belirgin kulakçıklı
    - 3 Kök kısmı yumrulu; meyve geniş kanatlı, tüberkül mevcut ...**27. tuberosus**
    - 3 Kökler yumrulu değil; meyve dar, kanatlı değil tüberkül yok ...**19. acetosella**
  - 2 Yapraklar tabanda kulakçıklı değil
    - 4 Meyvede tüberkül bir tane
      - 5 Meyvenin uç kısmı dilsi ileri uzamış; tüberküller tepal parçaları kadar iri; pedisel meyveden biraz uzun ...**26. sanguineus**
      - 5 Meyvenin uç kısmı ileri doğru uzamaz; tüberküller tepallerden küçük; pedisel meyvenin iki katı uzun. ...**24. obtusifolius subsp. subalpinus**
    - 4 Meyvede tüberkül üç tane



- 6 Pedisel meyvede kalınlaşmış, sert, en fazla tepaller kadar ...**25. pulcher**
- 6 Pedisel ince, kalınlaşma yapmaz, genellikle tepaller kadar ya da daha uzun
- 7 Meyvenin uç kısmı dilsilileri ileri uzamış ...**21. conglomeratus**
- 7 Meyvenin uç kısmı ileri doğru uzamaz
- 8 Yaprak sapı derince oyuklu-kannalı; meyve 4-5 mm, dairesel ...**22. crispus**
- 8 Yaprak sapı oyuklu-damarlı değil; meyve 6-8 mm, boyu eninden biraz uzun ...**23. cristatus**

Türkiye’de 37 türü bulunmaktadır. Bunlardan 9 tanesi İstanbul sınırları içinde gözlenmiştir (Şekil 19-27).

Havaların ısınmasıyla birlikte ilk görülen türlerden biri *Rumex* cinsine ait türlerdir. İlk önce beliren yaprakları kısa sürede çiçek durumu taşıyan gövde eşlik eder. Ocak-Şubat ayı itibariyle pek çok yerde yetişmektedir.

Kumullarda yetişen *R. bucephalophorus* en az rastlanan türdür. Bunun yanı sıra *R. obtusifolius* ve *R. tuberosus* türünün de dağılımı oldukça azdır.

Diğer türler yol kenarı, orman altı, humuslu açık alanlarda yaygın durumdadır. Özellikle *R. pulcher* ve *R. conglomeratus* en bol bulunan türlerin başında gelir.

*R. cristatus* türü İstanbul florası olarak tespit edilmiştir. Genel yapısı itibariyle diğer türlerden daha boylu ve kalın gövdelidir. Yeni kayıt olmasına rağmen dağılımı hiçte az değildir.

*Rumex acetocella*



Şekil 19. *Rumex acetocella*

*Rumex bucephalophorus*



Şekil 20. *Rumex bucephalophorus*

*Rumex conglomeratus*



Şekil 21. *Rumex conglomeratus*

*Rumex crispus*



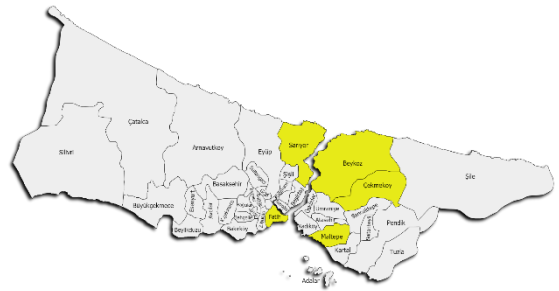
Şekil 22. *Rumex crispus*

*Rumex cristatus*



Şekil 23. *Rumex cristatus*

*Rumex obtusifolius* subsp. *subalpinus*



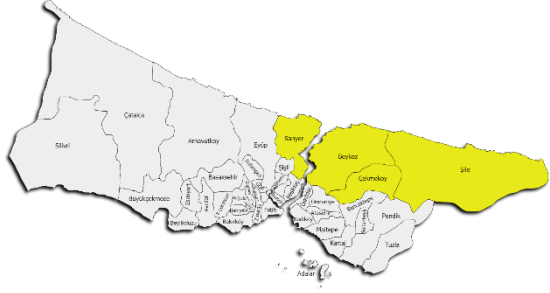
Şekil 24. *Rumex obtusifolius* subsp. *subalpinus*

Rumex pulcher



Şekil 25. *Rumex pulcher*

Rumex sanguineus



Şekil 26. *Rumex sanguineus*

Rumex tuberosus



Şekil 27. *Rumex tuberosus*

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Cullen ve Coode (1967) göre Türkiye'de Polygonaceae ait 8 cins bulunmaktadır. Bu çalışmada mevcut veriler güncellenerek Türkiye'deki cins sayısı 14 olarak güncellenmiş (Çizelge 2) ve bunlara ait teşhis anahtarı yeni bilgiler ışığında yeniden değerlendirilerek hazırlanmıştır.

Yeni eklenen cinsler *Polygonum* cinsinden ayrılan *Bistorta*, *Koenigia* ve *Persicaria* ile *Reynoutria* cinsinden oluşmaktadır.

Bununla birlikte İstanbul'un Polygonaceae 'e ait dört cinsin (*Fallopia*, *Persicaria*, *Polygonum*, *Rumex*) tür tayin anahtarları ile türlerin dağılışları yanında *Persicaria* cinsine ait *P. lapathifolia* subsp. *nodosa* alt türü Türkiye florası için yeni kayıt olarak verilmektedir.

İstanbul'da bulunan cinsler ve bulundukları takson sayıları karşılaştırıldığında *Polygonum* (9 tür) ve *Rumex* (9 tür) cinsleri, İstanbul'da ilk sırada yer alırken karakterlerinin birbirine çok yakınlığı nedeniyle özellikle ikiz (Sibling) tür olma olasılığı her zaman değerlendirilmelidir. Nitekim ilk yazar İstanbul'dan 2009 yılında *Polygonum istanbulicum* türünü bilim dünyasına katarken (Keskin 2009), 2021 yılında İstanbul'dan bilim dünyası için yeni bir *Polygonum* türü daha tespit etmiştir (Keskin 2021 baskıda). Bu çalışmada esnasında ise teşhis edilemeyen diğer türlerden oldukça farklı karakterlere sahip olan başka örneklerde bulunmaktadır. Bunların dışında üç farklı *Polygonum* türünün de İstanbul'da yayılış gösterdiği yetiştigi saptanmıştır (Keskin 2021 baskıda). *P. mesembriicum*, *P. arenarium*, *Rumex cristatus* türleri İstanbul florası için yeni kayıttır.

Çizelge 2. Polygonaceae cinsleri ve İstanbul'daki tür sayıları

Cinsler	Tür Sayıları
1. <i>Atraphaxis</i>	***
2. <i>Bistorta</i>	***
3. <i>Calligonum</i>	***
4. <i>Emex</i>	***
5. <i>Fagopyrum</i>	***
6. <i>Fallopia</i>	2
7. <i>Koenigia</i>	***
8. <i>Oxyria</i>	***
9. <i>Persicaria</i>	6
10. <i>Polygonum</i>	9
11. <i>Pteropyrum</i>	***
12. <i>Reynoutria</i>	***
13. <i>Rheum</i>	***
14. <i>Rumex</i>	9

\*\*\* İstanbul'da mevcut değil.

*Rumex tuberosus* L. polimorfik bir türdür. Türkiye Florasında dört alttürü (subsp. *tuberosus*, subsp. *creticus* (Boiss.)Rech., subsp. *contractus* Rech. subsp. *horizontalis* (Koch)Rech.) bulunmaktadır. Sadece İstanbul içinde tespit edilen türlerde bile Flora of Turkey'deki ayırım anahtarı yeterli gelmemektedir. Gözlemlerimize göre bunların geçerli taksonlar olduğu düşünülmemektedir. Benzer bir görüş Greuter (2021) tarafından da ileri sürülmüştür. Bunlar üzerinde geniş çaplı bir araştırma yapılması yerinde bir davranış olacaktır.

Benzer şekilde *R. tmoles* Boiss türü (endemik) de yine *R. tuberosus* içinde incelenmesi gereken bir tür olarak düşünülmektedir.

İstanbul aşırı kalabalık nüfusu ile çevrenin yapısı çok kırılğan durumda olduğundan başta bitkiler olmak üzere diğer canlıların hayatları tehlike altındadır. Bitkiler hayvanlar kadar hızlı hareket edemedikleri için insan etkisinden en fazla etkilenen canlılardır.

Bu amaçla en acil ve en kısa sürede İstanbul'un bitkilerinin kayıt altına alınması ve bu amaçla özellikle İstanbul'da çok sayıda bulunan üniversitelerde botanik alanında yaptırılacak Yüksek lisans tez konularının uzun vadeli olarak familya ya da familyalar şeklinde çalışması değerlendirilmelidir.

Bu kadar çok tür çeşitliliğin sergilendiği bir yer daha bulmak son derece zordur. Yeni kayıtların belki yeni türlerin bulunması sürpriz olmayacaktır. Ancak bu şekilde yapılacak projelerle İstanbul bitkileri kıvrılabilir.

## 5. Kaynaklar

- Boissier, E., 1846. Diagnoses Plantarum Orientalium Novarum, part sive, B.Hermann, Lipsiae, 997-1043.
- Brandbyge, J., 1993. Polygonaceae, The Families and Genera of Vascular Plants, vol III, Kubitzki V. et al. (eds), Spreinger-Verlag: Berlin, Germany, 531-544.
- Coode, M.J.E. and Cullen, J., 1968. Flora of Turkey and The East Islands vol 2, Edinburg University Press, 265-293.
- Graham, S.A. and Wood, C.E., 1965. The genera of Polygonaceae in the Southeastern United States. *Journal Arnold Arboretum*, **46**, 91-113.
- Jussieu, A.L.D., 1789. Genera plantarum: secundum ordines naturales disposita, juxta methodum in Horto regio parisiensi exaratam. Parisiis: apud viduam Herissant et Theophilum Barrois, 82.
- Karaer, F., Terzioğlu, S. and Kutbay, H.G., 2020. A New Genus Record for the Flora of Turkey: Reynoutria (Polygonaceae). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, **23** (3), 606-610.
- Keskin, M., 2009. Polygonum istanbulicum Keskin sp. nov. (Polygonaceae) from Turkey. *Nordic Journal of Botany*, **27**, 11-15.
- Keskin, M., 2012. Polygonaceae, Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler), Güner, A., vd., (ed.), Nezahat

Gökyiğit Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 757-764.

Keskin, M. and Severoğlu, Z., 2020. The genus *Persicaria* (Polygonaceae) in Turkey with a new taxon record. *The East Mediterranean University Journal of Pharmaceutical Science*, **32**, 97-105.

Keskin, M. and Severoğlu, Z., 2021-baskıda. Novelities in the genus *Polygonum* (Polygonaceae) in Turkey.

Leblebici, E., 1990. The genus *Polygonum* L. in Turkey. *Doğa, Türk Botanik Dergisi*, **14**(3), 203-214.

Marek, S., 1958. European Genera of Polygonaceae in the Light of Anatomical and Morphological Investigations on Their Fruits and Seeds. *Monographiae Botanicae*, **6**, 57-95.

Ronse Decraene, L.P. and Akeroyd, J.R., 1988. Generic limits in *Polygonum* and related genera (Polygonaceae) on the basis of floral characters. *Botany of Journal. Linnean Society London*, **98** (4), 321-371.

Tan, K. and Baytop, A., 1995. *Polygonum nepalense* Meissner in Turkey. *Doğa, Türk Botanik Dergisi*, **19** (6), 601-602.

## İnternet Kaynakları

Greuter, W., 2021. *Rumex tuberosus* L. (son erişim: 25.06.2021. <http://ww2.bgbm.org/mcl/PTaxonDetail.asp?NameId=18725&PTRefFK=1276>).

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 041101 (776-782)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 041101 (776-782)

DOI: 10.35414/akufemubid.891941

Araştırma Makalesi / Research Article

# Güneş Benzeri Titreşim Yapan Evrimleşmiş Yıldızlar için $\Delta v$ - $\rho$ İlişkisi

Zeynep ÇELİK ORHAN<sup>1</sup><sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir.Sorumlu yazar e-posta: zeynep.celik@ege.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9424-2339>

Geliş Tarihi: 05.03.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

## Öz

CoRoT (2006), Kepler (2009) ve TESS (2017) uzay teleskopları sayesinde çok sayıda güneş benzeri titreşim yapan anakol ve evrimleşmiş yıldız gözlenmiştir. Bu tür titreşimler gösteren anakol yıldızlarının gözlenen titreşim frekansları kullanılarak yıldızlara ait temel parametreler oldukça hassas bir şekilde belirlenmektedir. Güneş benzeri titreşim yapan anakol yıldızlarının kütle ve yarıçapını belirlemek için geliştirilen yöntemlere ölçeklendirme ilişkisi denmektedir. Güneş benzeri titreşim yapan yıldızlar için türetilen bu ilişkilerde doğrudan gözlem frekanslarından oldukça duyarlı bir şekilde belirlenen büyük ayrılma ( $\Delta v$ ) ve maksimum genlikteki titreşim frekansıyla ( $v_{max}$ ) birlikte tayftan belirlenen  $T_{eff}$  kullanılmaktadır. Bu çalışmada anakol yıldızları için geliştirilen ölçeklendirme ilişkisinde yer alan  $\Delta v$  ile yıldız ortalama yoğunluğu ( $\rho$ ) arasındaki ilişkinin evrimleşmiş yıldızlardaki değişimi modeller yardımıyla araştırıldı. Bunun için MESA evrim koduyla 1.00-1.60  $M_{\odot}$  kütle aralığında güneş kompozisyonuna sahip evrimleşmiş yıldız iç yapı modelleri yapıldı. Yapılan bu modeller detaylı olarak incelendi. Sonuç olarak, evrimleşmiş yıldızlardaki  $\Delta v$ - $\rho$  ilişkisi anakol yıldızlarına göre farklılaşmaktadır. Bu durumda hem bu ilişkinin hem de ölçeklendirme ilişkilerinin güncellenmesi gerekmektedir.

## Anahtar kelimeler

Asteroseismoloji; Yıldız iç yapı ve evrimi; Güneş benzeri titreşimler; İç yapı modelleri; Evrimleşmiş yıldızlar.

## $\Delta v$ - $\rho$ Relations for Solar-like Oscillation Evolved Stars

### Abstract

Thanks to CoRoT, (2006), Kepler (2009) and TESS (2017) a large number of solar-like oscillating main sequence and evolved stars have been observed. By using the observed solar-like oscillation frequencies of main sequence stars, the fundamental parameters are determined very precisely. The methods developed to determine the mass and radius of main sequence stars are called scaling relationship. In these relations of solar-like oscillating stars, the large separation ( $\Delta v$ ) determined very sensitively from the direct observation frequencies and the oscillation frequency at the maximum amplitude ( $v_{max}$ ) and  $T_{eff}$  obtained from the spectrum are used. In this study, the scaling relation between the average density ( $\rho$ ) and  $\Delta v$  of main sequence stars was investigated for evolved stars. For this purpose, stellar internal structure models for evolved stars with solar composition were made using the MESA evolution code for in the mass range of 1.00-1.60  $M_{\odot}$ . These models were examined in detail. As a result, it was revealed that the relationship between  $\Delta v$  and  $\rho$  for evolved stars differs compared to main sequence stars. In this case, both this relation and scaling relations need to be updated.

### Keywords

Asteroseismology; Structure and evolution of stars; Solar-like oscillations; Interior models; Evolved stars.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi.

### 1. Giriş

Astrofiziğin temel amaçlarından biri yıldızların iç yapı ve evrimini anlamaktır. Yıldızlardan gerek tayfölçer gerekse ışıkölçer yardımıyla alınan yegane bilgi kaynağı olan foton, doğrudan yıldızın yüzey katmanlarıyla ilgili bilgi taşımaktadır. Bu gözlem yöntemleriyle yıldızların tayf türü, sıcaklığı, rengi ve

yüzey çekim ivmesi ( $\log g$ ) duyarlı bir şekilde belirlenebilir. Ancak yıldızların iç yapılarına dair doğrudan bilgi edinilemez. Ayrıca bu gözlem verilerinden tek yıldızların temel parametreleri olan kütle ve yarıçap verilerinin elde edilmesi oldukça zordur. Öte yandan, örten çift yıldız sistemlerine ait ışık ve dikine hız eğrilerindeki değişimlerden faydalanarak, kütle ( $M$ ) ve yarıçap ( $R$ ) oldukça

duyarlı bir şekilde elde edilebilir. Özellikle tutulma gösteren çift çizgili örten yıldız sistemlerinde belirlenen kütle ve yarıçaptaki belirsizlik yaklaşık olarak sırasıyla %1 ve %0.5 civarındadır (Southworth 2012, Huber 2015, Gaulme ve diğ. 2016). Anakol yıldızlarının kütlesi ise kütle-ısıtma (M-L) bağıntısından dolayı olarak belirlenebilmektedir. Kütle ve yarıçap belirlemede kullanılan bir diğer yöntem de astrofizikçiler tarafından yapılan yıldız iç yapı modelleridir. Bu modeller yapılırken yıldızın gözlemsel olarak belirlenen ısıtma (L), etkin sıcaklık ( $T_{eff}$ ), log g ve renk indeksi (B-V) vb. parametreleri girdi olarak alınır. Böylece bu gözlem parametreleri ile uyumlu modeller yapılır. Bu kuramsal modellerden yıldızların kütle ve yarıçapı hatta yıldızlar için belirlenmesi zor olan yaş, tayin edilebilir. Ancak yıldızların iç kısımlarını gözleyemediğimiz için, modellerin ne kadar gerçekçi olduğuna dair kesin bir bilgi yıldızlar üzerine sismoloji çalışmaları başlayana kadar bilinmiyordu. Bu konuda astrofizikçilere ışık tutan yeni gözlemsel alanlar; Güneş sismolojisi (helyosismoloji) ve yıldız sismolojisi (asterosismoloji)'dir. Bu sayede Güneş ve yıldızlardaki titreşimlerden faydalanarak başta özek olmak üzere iç katmanlar hakkında detaylı olarak bilgi sahibi olunur. Örneğin bu yöntemle Güneş'in özekten yüzeye kadar dönme profili çıkartılıp diferansiyel dönmenin varlığı ve difüzyonun Güneş kütleli yıldızlarda oldukça önemli olduğu bulunmuştur. Bunlara ek olarak Güneş'in helyum bolluğu ve konvektif katman kalınlığı daha duyarlı bir şekilde belirlenmiştir (Basu & Antia 2004).

Ayrıca bu çalışmada detaylı olarak incelenen güneş benzeri titreşim yapan yıldızların gözlenen frekanslardan belirlenen büyük ayrılma ( $\Delta v$ ), aynı azimutal mod ( $l$ ) değerine sahip olan ardışık radyal modlardaki ( $n$ ) frekanslar arasındaki farktır. Asterosismik yöntemlerle belirlenen bu büyük ayrılma aynı zamanda yıldızın ortalama yoğunluğun ( $\rho$ ) karekökü ile orantılıdır (Bakınız Denklem 3). Bu çalışmada, güneş benzeri titreşim yapan anakol ve evrimleşmiş yıldızların kütle ve yarıçapını belirlemede literatürde yaygın olarak kullanılan ölçeklendirme ilişkilerinde (scaling relations) yer alan  $\Delta v$  frekansı ile ortalama yoğunluk ( $\rho$ ) arasındaki ilişki, evrimleşmiş yıldızlar için yapılan iç yapı

modelleriyle incelendi. Buradan da güneş benzeri titreşim yapan evrimleşmiş yıldızlar için  $\Delta v$ - $\rho$  ilişkisinin değiştiği tespit edildi. Bu sayede genel olarak güneş benzeri titreşim yapan yıldızlarda geçerli olan ölçeklendirme ilişkilerinin evrimleşmiş yıldızlar için güncellenmesi gerektiği ortaya çıktı.

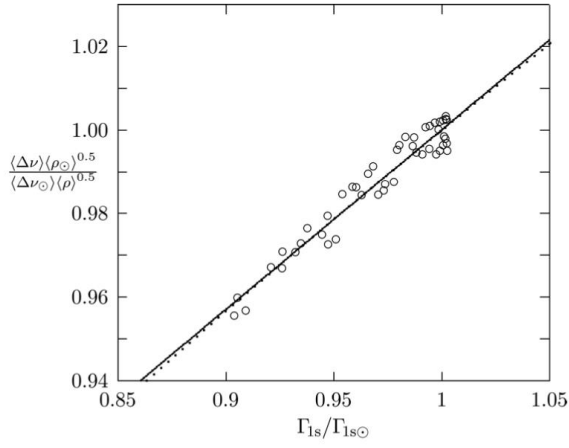
### 1.1 Güneş Benzeri Titreşim Yapan Yıldızlar için $\Delta v$ - $\rho$ İlişkisi

Güneş bize oldukça yakın olduğu için beş dakika gibi kısa bir gözlem süresinde binlerce farklı modda titreşim alınmaktadır. Bu sayede Güneş'in yüzeyinin yanı sıra merkezi de ayrıntılı olarak incelenebilmektedir. Fakat diğer yıldızlar düşünüldüğünde yeryüzünden yapılan gözlemlerle bu hassasiyette verilerin alınması pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle uzaydan yapılan gözlemlere ihtiyaç duyularak CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits), Kepler ve TESS (The Transiting Exoplanet Survey Satellite) uzay araçları gönderilmiştir. Bu uzay araçlarından elde edilen gözlem verileriyle astrofizikçiler için aydınlık bir çağ başlamıştır. Bu verilerin ışığında gelişen yıldız sismolojisinin en büyük başarısı güneş benzeri titreşim gösteren tek yıldızların frekanslarından faydalanarak yıldızın ait temel parametrelerin (M, R, L vb.) oldukça duyarlı bir şekilde belirlenmesidir. Bu duyarlılık kütle ve yarıçap için sırasıyla %5-6 ve %2-3 olarak verilebilir (Metcalf ve diğ. 2014, Mathur ve diğ. 2012). Bu yüzden kütle ve yarıçapın hesaplanmasında ölçeklendirme ilişkisi kullanılmaktadır (Denklem (1) ve (2), Kjeldsen and Bedding, 1995).

$$\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) = \left(\frac{v_{max}}{v_{max,\odot}}\right)^3 \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right)^{-4} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff,\odot}}\right)^{1.5} \quad (1)$$

$$\left(\frac{R}{R_{\odot}}\right) = \left(\frac{v_{max}}{v_{max,\odot}}\right) \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right)^{-2} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff,\odot}}\right)^{0.5} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'deki  $v_{max}$  ve  $\Delta v$  değerleri, yıldızların ışık eğrilerinin analiziyle elde edilen frekanslar yardımıyla saptanmaktadır. Tayfsal gözlemlerle de yıldızların etkin sıcaklıkları elde edilmektedir.



**Şekil 1.** Anakol modelleri için Yıldız ve diğ. (2016) tarafından elde edilen  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5} - \Gamma_{1s} / \Gamma_{1s\odot}$  ilişkisi.

Ölçeklendirme ilişkisi ile sadece gözlem verileri kullanılarak tek yıldızların kütle ve yarıçapı hassas bir şekilde belirlenebilir. Peki kütle ve yarıçap verilerini bulmak için kullanılan bu ölçeklendirme ilişkisi ne kadar hassa sonuçlar veriyor? Denklem (1) ve (2)'de görüldüğü gibi kütle ve yarıçapın tayinindeki belirsizlik  $v_{\max}$  ve  $\Delta v$  parametrelerinin elde edilmesindeki belirsizliğe çok fazla bağlıdır. Günümüzde bu ölçeklendirme ilişkisinin doğruluğunun test edilmesi ve daha da iyileştirilmesi için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.  $v_{\max}$ 'ın hesaplanan ve gözlenen değerlerine bakıldığında da özellikle büyük değerlerinde farklılaşma görülmüştür. Ayrıca Procyon gibi bazı F-tipi yıldızlarda  $v_{\max}$ 'ın tayftan ve ışık eğrisinden elde edilen değerleri arasında oldukça büyük farklılıklar gözlenmiştir (Brown ve diğ. 1991). Bu da  $v_{\max}$ 'ın ölçeklendirme ilişkisindeki belirsizlikte etkili role sahip olduğunu göstermektedir. Bu konuda literatürde çok sayıda tartışma vardır (Chaplin & Miglio 2012, Mazumdar 2014 vb). Bu çalışmada ölçeklenme ilişkilerinde sadece  $\Delta v$  kaynaklı olarak evrimleşmiş yıldızlarda görülen etkilere bakılmıştır.

### 1.2 Anakol Yıldızları için $\Delta v$ - $\rho$ İlişkisi

Güneş benzeri titreşim yapan yıldızlarda doğrudan gözlem parametreleri kullanılarak kütle ve yarıçapın belirlenmesi çok değerlidir. Denklem (1) ve (2)'de yer alan  $\Delta v$  değeri, gözlemlerle oldukça duyarlı olarak belirlenmektedir. Gözlenen adyabatik

titreşim frekanslarından belirlenen  $\Delta v$  ile  $\rho$  arasındaki ilişki:

$$\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) = \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5} \quad (3)$$

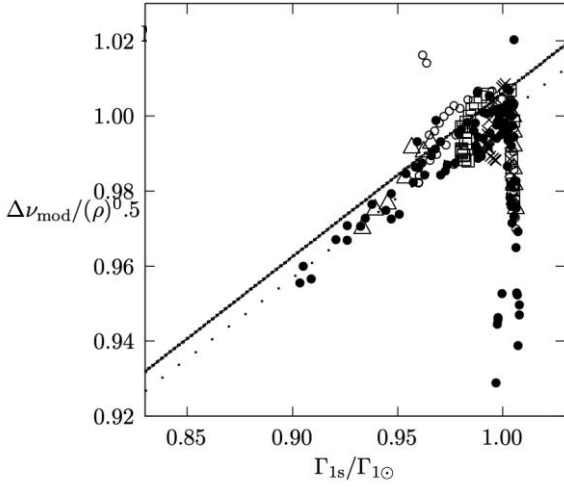
şekindedir. Bu ilişkinin ne kadar doğru olduğuna dair literatürde çok sayıda test yapılmıştır. Bu konuda yapılan örnek bir çalışma da White ve diğ. (2011) aittir. Bu çalışmada büyük ayrılmanın sadece yoğunluğun karekökü ile orantılı olmadığı ayrıca sıcaklığın da bir fonksiyonu olduğu yaptıkları iç yapı modelleriyle ortaya çıkmıştır. Böylece (1) ve (2) numaralı denklemlere sıcaklığa bağlı tanımlanan yeni bir fonksiyon eklenmiştir. Bir diğer çalışma ise Yıldız ve diğ. (2016) tarafından yapılmıştır. Yıldız ve diğ. (2016) çalışmalarında MESA evrim koduyla (Paxton ve diğ. 2013) 1.00-1.60  $M_{\odot}$  kütle aralığı için anakola ait iç yapı modelleri yapmışlardır. Onların yaptıkları çalışmada da  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  oranı olması gereken bir değerinden saptığı görülmüştür. Şekil 1' de,  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  ile yüzey birinci adyabatik indeks ( $\Gamma_{1s}$ ) arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Şekil 1' den elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right)}{\left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}} = f_{\Delta v} = 0.430 \frac{\Gamma_{1s}}{\Gamma_{1s\odot}} + 0.570 \quad (4)$$

Yıldız ve diğ. (2016) çalışmalarında Denklem (4)'ü kullanarak anakol yıldızları için ölçeklendirme ilişkisini güncellemişlerdir. Böylece Denklem (1) ve (2)'ye  $\Gamma_{1s}$ 'i dahil edilmiştir.

### 1.3 Evrimleşmiş Yıldızları için $\Delta v$ - $\rho$ İlişkisi

Literatürde Denklem (1) ve (2) de verilen ilişkiler anakol yıldızları için türetilmiştir. Ancak bu ilişkiler evrimleşmiş yıldızların kütle ve yarıçaplarını hesaplamada da kullanılmaktadır (Metcalf ve diğ. 2014, Mathur ve diğ. 2012). Bu tamamen doğru bir yaklaşım değildir. Yıldızlar anakol evresinde merkezinde hidrojeni helyuma yakarak nükleer tepkimelerine devam etmektedir.



**Şekil 2:** Anakol (içi boş daireler) ve evrimleşmiş yıldızları (içi dolu daireler, üçgenler ve kareler) için  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  ile  $\Gamma_{1s} / \Gamma_{1s\odot}$  ilişkisi. Bu grafikte yer alan düz ve noktali fit çizgileri sırasıyla Denklem 4’de yer alan ve evrimleşmiş yıldızlar için geçerli olan (Denklem 5) doğrusal ilişkiyi temsil etmektedir.

Dolayısıyla anakoldan ayrılan bir yıldızın merkezi koşulları başta olmak üzere bir çok özelliği değişmiştir. Bu yüzden anakol yıldızlarına için geçerli olan bu yöntemleri evrimleşmiş yıldızlarda kullanmak hesaplanan M ve R değerlerinde sistematik hatalara neden olmaktadır. Bu sistematik hataları gidermek için literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır (Sharma ve diğ. 2016, Yıldız ve diğ. 2014, 2015, 2016, Kayhan ve diğ. 2019 vb.).

Bu çalışmada ise anakol yıldızlarında olduğu gibi ilk olarak ölçeklendirme ilişkilerinde oldukça hassas olarak belirlenen  $\Delta v$  ve Denklem (3)’te verilen  $\Delta v$  -  $\rho$  ilişkisi incelendi. Bunun için, 1.00-1.60  $M_{\odot}$  kütle aralığında güneş kompozisyonunda evrimleşmiş yıldız iç yapı modelleri MESA evrim koduyla yapıldı.

## 2. MESA Modellerinin Özellikleri

Evrilmiş yıldızlarda Denklem (3)’te verilen  $\Delta v$  ile  $\rho$  arasındaki geçerli olan ilişkiyi test etmek için 1.00-1.60  $M_{\odot}$  kütle aralığında MESA (versiyon 10000) evrim koduyla 0.05  $M_{\odot}$  adımlarla iç yapı modelleri yapıldı. Yapılan bu modellerde Güneş’in asterosismik olan ve asterosismik olmayan gözlem verilerini en iyi temsil eden (özellikle M, L, R ve  $T_{\text{eff}}$  ve gözlenen frekansları) MESA modelinden güneş

kompozisyonu olarak helyum bolluğu (Y) 0.2744, ağır element bolluğu (Z) 0.0172 (Asplund ve diğ. 2009) ve konvektif karışım uzunluğu parametresi (mixing length) ( $\alpha$ ) 2.175 olarak belirlendi. Ayrıca bu iç yapı modelleri konvektif sınıraşımı (overshooting) difüzyon içermemektedir. Saydamsızlık (opasite) tabloları olarak yüksek sıcaklık için Iglesias Rogers (1993, 1996) ve düşük sıcaklıklar içinse Ferguson ve diğ. (2005) OPAL kullanılmıştır.

Metal bolluğu yıldızın yapı ve evrimi belirlemede etkili olduğu gibi yıldızların oluşumu aşaması olan anakol öncesini de belirlemede etkilidir. Dolayısıyla yapılan tüm modellere anakol öncesi de dahil edilmiştir. Ayrıca titreşim frekansı hesaplamaları için yapılan iç yapı modellerine ince de olsa bir atmosferin dahil edilmesi gerekir. Bu yüzden yapılan modellerde *simple\_photosphere* seçeneği tercih edilmiştir. İç yapı modellerinden elde edilen fgong dosyalarından ADIPLS (Christensen Dalsgaard 2008) paketiyle modellerin adyabatik titreşim frekansları elde edilmiştir.

## 3. Bulgular

Bu çalışmada, MESA evrim koduyla elde edilen evrimleşmiş modellerde ilk olarak  $\Delta v$  ile  $\rho$  arasındaki ilişkiye bakıldı. Bu ilişkinin Yıldız ve diğ. (2016) çalışmasındaki gibi model  $\Gamma_{1s}$  ile olan ilişki incelendi. Şekil 2’de içi boş daireler Yıldız ve diğ. (2016) çalışmasına ait anakol modellerini, bu çalışmada yapılan modellere ait farklı kütledeki evrimleşmiş yıldızlar içi dolu daireler, üçgen ve karelerle temsil etmektedir. Şekil 2’de belli bir yaşa ya da evrime kadar, anakol ve evrimleşmiş modeller için  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  ile  $\Gamma_{1s}$  arasındaki doğrusal ilişki geçerlidir. Ancak belli bir  $\Gamma_{1s} / \Gamma_{1s\odot}$  aralığından sonra bu ilişkinin doğrusal olmadığı açıktır. Ayrıca Şekil 2’de düz çizgiyle temsil edilen anakol modelleri için geçerli olan Denklem 4’teki doğrusal ilişkide bozulmaktadır. Bunun yerine evrimleşmiş modellerde Şekil 2’de noktalarla temsil edilen

$$\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5} = f_{\Delta v} = 0.380 \frac{\Gamma_{1s}}{\Gamma_{1s\odot}} + 0.520 \quad (5)$$

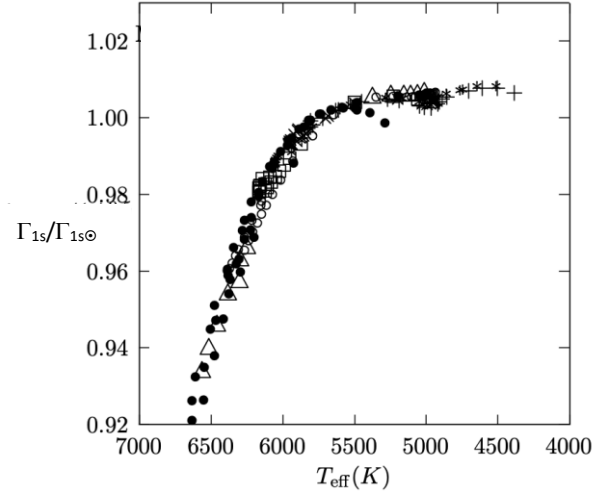
doğrusal ilişki geçerlidir. Bunların yanı sıra Şekil 2’de özellikle  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot} = 1$  civarında bir kırılmanın olduğu açıktır. Bu kırılma, ilgili bölgede fiziksel bir sürecin ya da yapının değiştiğini gösterir.

Şekil 3’te bu kırılmanın sebebini araştırmak için model etkin sıcaklıkları ile  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot}$  arasındaki ilişkiye bakıldı. Burada da Şekil 2’ye benzer bir durum geçerlidir.  $T_{\text{eff}} < 5000$  °K de evrimleşmiş yıldız modellerinde  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot} = 1$  civarında anakol modellerinden keskin bir kırılma vardır. Ayrıca  $4000 < T_{\text{eff}} < 5000$  °K dar sıcaklık aralığında hafif bombeli bir yapı dikkat çekmektedir.

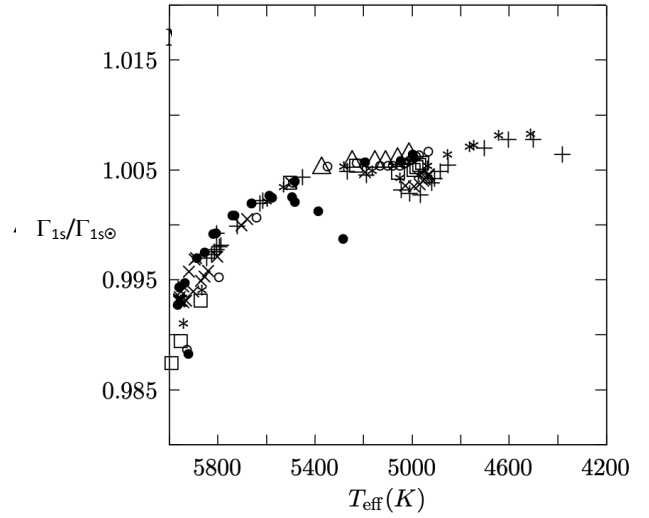
Şekil 4,  $4200 < T_{\text{eff}} < 6000$  °K aralığını daha ayrıntılı incelemek için verilmiştir. Özellikle küçük kütleli yıldız modellerinde  $4800 < T_{\text{eff}} < 5200$  °K sıcaklık aralığında belirgin bir düşme dikkat çekicidir (Şekil 4). Bu da, ortamın adyabatik durumdan uzaklaştığına işarettir. Bu bölgede iyonlaşma ya da uyarılma etkileri hakimdir. Böyle dar bir düşük sıcaklık aralığında özellikle küçük kütleli yıldızlarda gözlenen bu etki  $H^-$  iyonlarından kaynaklıdır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Gözlemsel verilerden elde edilen kütle ve yarıçap tayininde ölçeklendirme ilişkisinin kullanımı, güneş benzeri titreşim yapan yıldızlar için önemli bir keşiftir. Ancak yıldız iç yapı ve evrimi çalışan astrofizikçiler için bu yöntemlerle belirlenen kütle ve yarıçapın oldukça duyarlı olması önemlidir. Özellikle yıldız evriminde başat role sahip olan kütle ve yarıçapın hassas olarak belirlenmesi gerekir. Bu nedenle literatürde anakol yıldızlarına yönelik bu ölçeklendirme ilişkilerini test etme ve geliştirme üzerine çalışmalar özellikle gözlemlerle oldukça hassas belirlenen  $\Delta v$  frekansının  $\rho$  ile arasındaki



**Şekil 3:**  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot} - T_{\text{eff}}(K)$  ilişkisi. İçi boş daireler Yıldız ve diğ. (2016)'e ait anakol modelleri, içi dolu daireler, üçgen ve kareler ise evrimleşmiş yıldızlar için bu çalışmadaki yapılan modelleri temsil etmektedir.



**Şekil 4:**  $4200 < T_{\text{eff}} < 6000$  °K aralığında  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot} - T_{\text{eff}}(K)$  ilişkisi.

ilişkinin incelenmesi üzerinedir (White ve diğ. 2012, Yıldız ve diğ. 2016). Bu ilişkiler güneş benzeri titreşim yapan evrimleşmiş yıldızlar için de aynen kullanılmaktadır. Halbuki yapısal ve evrimsel olarak farklı olan evrimleşmiş yıldızlar için bu ilişkilerin anakol yıldızlarındaki gibi geçerli olacağını kabul etmek sistematik hataları beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla evrimleşmiş yıldızlar için de, gerekli test ve güncellemelerin yapılmasına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada MESA evrim koduyla yapılan evrimleşmiş ve anakol iç yapı modellerinin  $\Delta v-\rho$  arasındaki ilişkileri kıyaslanmaktadır. Evrimle birlikte



doğrusal olan  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  ile  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot}$  ilişkisi değişmektedir. Dolayısıyla evrimleşmiş yıldızlar için bu ölçeklendirme ilişkilerinin güncellenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu ilişki  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot} = 1$  durumunda keskin bir kırılma göstermektedir. Bunun sebebi ise o bölge için adyabatik koşulların geçerli olmamasıdır. Özellikle  $4800 < T_{\text{eff}} < 5200$  °K aralığında H<sup>-</sup>'nin iyonlaşmasından kaynaklı olarak  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}}\right) / \left(\frac{\rho}{\rho_{\odot}}\right)^{0.5}$  ile  $\Gamma_{1s}/\Gamma_{1s\odot}$  arasındaki var olan ilişki değişmektedir. Dolayısıyla H<sup>-</sup>'nin iyonlaşma muntikasında yer alan evrimleşmiş yıldızlar için de farklı ölçeklendirme ilişkilerine ihtiyaç vardır.

### Teşekkür

Bu çalışma 118F352 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir. Beni her konuda destekleyen Prof. Dr. Mutlu YILDIZ'a ve her zaman yanımda olan oğlum Emirhan Sami ve eşim Mustafa ORHAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca makaleme katkılarından dolayı Sibel Örtel'e de teşekkür ederim.

### 5. Kaynaklar

Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., Scott, P., 2009. The Chemical Composition of the Sun. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **47**, 481–522.

Basu S., Antia H. M., 2004. Constraining Solar Abundance Using Helioseismology. *Astrophysical Journal*, **606**, L85-L93.

Brown T.M., Gilliland R. L., Noyes R. W., Ramsey L. W., 1991. Detection of possible p-mode oscillations on Procyon. *Astrophysical Journal*, **368**, 599-609.

Chaplin W. J. and Miglio A., 2013. Asteroseismology of Solar-Type and Red-Giant Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **51**, 353-392.

Christensen-Dalsgaard J., 2008. Lecture Notes on Stellar Oscillations. *Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet, and Teoretisk Astrofysik Center*, **345**, 215-355.

Gaulme, P. et al., 2016. Testing the Asteroseismic Scaling Relations for Red Giants with Eclipsing Binaries Observed by Kepler. *The Astrophysical Journal*, **832**, 233-243.

Huber, D., 2015. Asteroseismology of Eclipsing Binary Stars. *Giants of Eclipse: The  $\zeta$  Aurigae Stars and Other Binary Systems*, **169**, 23-32.

Iglesias C. A., Rogers F. J., 1993. Radiative opacities for carbon- and oxygen-rich mixtures. *Astrophysical Journal*, **412**, 752-762.

Iglesias C. A., Rogers F. J., 1996. Updated Opal Tables. *Astrophysical Journal*, **464**, 943-956.

Kayhan C., Yıldız M. Çelik Orhan, Z., 2019. Asteroseismic investigation of 20 planet and planet candidate host stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **490**, 1509-1516.

Kjeldsen, H., Bedding, T. R., 1995. Amplitudes of stellar oscillations: the implications for asteroseismology. *Astronomy and Astrophysics*, **293**, 87-106.

Mathur S., Hekker S., Trampedach R., Ballot J., Kallinger T. et al., 2012. A Uniform Asteroseismic Analysis of 22 Solar-type Stars Observed by Kepler. *The Astrophysical Journal*, **749**, 14-28.

Mazumdar A., Monteiro M. J. P. F. G., Ballot J., Antia H. M., Basu, S. et al., 2014. Measurement of Acoustic Glitches in Solar-type Stars from Oscillation Frequencies Observed by Kepler. *The Astrophysical Journal*, **782**, 18-27.

Metcalf T. S., Creevey O. L., Doğan G., Mathur S., Xu, H. et al., 2014. Properties of 42 Solar-type Kepler Targets from the Asteroseismic Modeling Portal. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, **214**, 27-33.

Paxton B., Cantiello M., Arras P., Bildsten L., Brown E.F. et al., 2013. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars. *The Astrophysical Journal Supplement*, **208**, 4-42.

Sharma S., Stello D., Bland-Hawthorn J., Huber D., Bedding T. R., 2016. Stellar population synthesis based modelling of the milky way using asteroseismology of 13000 Kepler red giants. *The Astrophysical Journal*, **822**, 15-25.

Southworth, J., 2012. Eclipsing Binary Stars: the Royal Road to Stellar Astrophysics. *Orbital Couples: Pas de*

*Deuxin the Solar System and the Milky Way*, **234**, 51–58.

White T. R., Bedding T. R., Stello D., Christensen-Dalsgaard J., Huber D., Kjeldsen H., 2011. Calculating Asteroseismic Diagrams for Solar-like Oscillations. *The Astrophysical Journal*, **743**, 13-21.

Yıldız M., Çelik Orhan Z., Aksoy Ç., Ok S., 2014. Fundamental properties of solar-like oscillating stars from frequencies of minimum  $\Delta\nu$  - I. Model computations for solar composition. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **441**, 2148-2158.

Yıldız M., Çelik Orhan Z., Kayhan C., 2015. Fundamental properties of solar-like oscillating stars from frequencies of minimum  $\Delta\nu$  - II. Model computations for different chemical compositions and mass. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **448**, 3689-3696.

Yıldız M., Çelik Orhan Z., Kayhan C., 2016. Fundamental properties of Kepler and CoRoT targets - III. Tuning scaling relations using the first adiabatic exponent. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **462**, 1577-1590.

## Thermoelectric Properties of *ex-situ* PTH/PEDOT Composites

Keziban HUNER<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Yildiz Technical University, Faculty of Arts and Science, Department of Chemistry, 34220 Esenler, Istanbul, TURKEYe-posta: kezibanhuner@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7235-6338>

Geliş Tarihi: 08.05.2021

Kabul Tarihi: 22.08.2021

### Abstract

A thermoelectric material can convert temperature difference into electrical potential difference. Today, intensive researches are being carried out in order to use flexible, non-toxic and inexpensive conductive polymers instead of hard, hard-to-shape, expensive and toxic semiconductor metals used as thermoelectric materials. Among the conductive polymers investigated for this purpose, poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) is the most promising. However, its thermoelectric properties alone are not sufficient. Thermoelectric properties can be increased by incorporating nanoparticles in inorganic, organic or polymeric structures into conductive polymers. In this study firstly, PTh was synthesized with and without magnetic field by oxidative polymerization in aqueous media in the presence of poly(sulfonic acid diphenyl aniline). Secondly, PEDOT was synthesized with and without magnetic field in aqueous media by oxidative polymerization. Then, *ex-situ* PTH/PEDOT composites were obtained with different ratios of PTh/PEDOT. Particle sizes of polymers were measured and their FTIR and UV-vis. spectra were taken. Seebeck coefficient and electrical conductivity were measured from thin films of polymers. Power factor values were calculated. It was found that the Seebeck coefficients of PTh and *ex-situ* PTH/PEDOT composites increased with magnetic field. The highest Seebeck coefficient and power factor of PEDOTs were obtained from PEDOT synthesized without magnetic field as 1683.3  $\mu\text{V/K}$  and 98.2  $\mu\text{W/mK}^2$ , respectively. The highest Seebeck coefficient and power factor of *ex-situ* PTh/PEDOT composites were obtained from (PTh/PEDOT3)m synthesized with magnetic field as 400  $\mu\text{V/K}$  and 0.1  $\mu\text{W/mK}^2$ , respectively.

### Keywords

Poly(sulfonic acid diphenyl aniline);  
Poly(3,4-ethylenedioxythiophene);  
Seebeck coefficient;  
Thermoelectric

## *Ex-situ* PTH/PEDOT Kompozitlerinin Termoelektrik Özellikleri

### Öz

Bir termoelektrik malzeme, sıcaklık farkını elektriksel potansiyel farkına dönüştürebilir. Günümüzde termoelektrik malzeme olarak kullanılan sert, şekillendirilmesi zor, pahalı ve toksik yarı iletken metaller yerine esnek, toksik olmayan ve ucuz iletken polimerlerin kullanılması için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla araştırılan iletken polimerler arasında poli(3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) en umut verici olanıdır. Ancak termoelektrik özellikleri tek başına yeterli değildir. Termoelektrik özellikler inorganik, organik veya polimerik yapılarıdaki nanopartikülleri iletken polimerlere ekleyerek artırılabilir. Bu çalışmada ilk olarak PTh, poli(sülfonik asit difenil anilin) varlığında, manyetik alanlı ve manyetik alansız sulu ortamda oksidatif polimerizasyon ile sentezlendi. İkinci olarak, PEDOT, oksidatif polimerizasyon yoluyla, manyetik alanlı ve manyetik alansız sulu ortamda sentezlendi. Daha sonra, farklı PTh/PEDOT oranları ile *ex-situ* PTH/PEDOT kompozitleri elde edildi. Polimerlerin partikül büyüklükleri ölçülmüş ve FTIR ve UV-vis. spektrumları alındı. Polimerlerin ince filmlerinden Seebeck katsayısı ve elektriksel iletkenlik ölçüldü. Güç faktörü değerleri hesaplandı. PTh ve *ex-situ* PTH/PEDOT kompozitlerinin Seebeck katsayılarının manyetik alanla arttığı bulundu. PEDOT'ların en yüksek Seebeck katsayısı ve güç faktörü sırasıyla, 1683,3  $\mu\text{V/K}$  ve 98,2  $\mu\text{W/mK}^2$  olarak manyetik alan olmadan sentezlenen PEDOT'tan elde edildi. *Ex-situ* PTh/PEDOT kompozitlerin en yüksek Seebeck katsayısı ve güç faktörü sırasıyla, 400  $\mu\text{V/K}$  ve 0.1  $\mu\text{W/mK}^2$  olarak manyetik alanla sentezlenen (PTh/PEDOT3)m'den elde edildi.

### Anahtar kelimeler

Poli(sülfonik asit difenil anilin);  
Poli(3,4-etilendioksitiyofen);  
Seebeck katsayısı;  
Termoelektrik

## 1. Introduction

A thermoelectric (TE) material is a semiconductor material where voltage occurs at the ends with the heat difference occurring between two surfaces or when current is passed over it, one surface heats while the other surface cools depending on the direction of the current. The TE materials are used as generators which can generate electricity from waste heat sources. TE generators have important advantages such as long operating life, no moving parts (Dubey and Leclerc 2011), noise-free operation, use of solid state technologies in energy conversion, easy maintenance and portable (Yang *et al.* 2008, Atik and Kayabaşı 2009, Pichanusakorn and Bandaru 2010, Aswal *et al.* 2010). Since the efficiency of the TE materials used limits the efficiency of these generators, the use of TE generators is now limited to very small applications. Figure of merit (ZT) refers to the efficiency of a TE material.  $ZT = S^2\sigma T/\kappa$ , where T,  $\sigma$ ,  $\kappa$  and S are absolute temperature, electrical, thermal conductivity, and Seebeck coefficient respectively. The TE efficiency of a material increases with the high electrical conductivity ( $\sigma$ ) and Seebeck coefficient (S) of this material. The thermal conductivity of this material ( $\kappa$ ) must be small, for the high TE efficiency of a material (Du *et al.* 2012). Although the TE properties of the semiconductor metals and alloys used today are good, they cannot be used widely because of their high costs, difficult preparation and heavy metal pollution. Therefore, there is a great need to develop non-toxic, abundant raw materials, easy production process and elasticity organic TE materials instead of inorganic semiconductors (Yue and Xu 2012). In recent years, interest in polymers and their composites has increased and they are being studied for a wide range of applications (Hüner *et al.* 2018).

Conductive polymers (CPs) are also being investigated as thermoelectric materials and their TE properties are tried to be developed (Han *et al.* 2014, Wei *et al.* 2015, Russ *et al.* 2016, Crispin 2012, Kroon *et al.* 2016, Bahk *et al.* 2015). To date, the most studied CPs for producing polymeric TE materials are polyaniline (PANI), polythiophene

(PTH) and poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT). Since the thermal conductivity of the polymers is close to each other and not much changed by the added additives, the TE properties are compared by the parameters defined by PF ( $= S^2\sigma$ ) where PF is power factor, S is Seebeck coefficient,  $\sigma$  is electrical conductivity (Bharti *et al.* 2018). In order to increase the TE efficiency of CPs, studies such as doping process, nanostructure formation (Bahk *et al.* 2015, Chen *et al.* 2015), preparation of nanoparticle containing nanocomposites (Aswal *et al.* 2016) have been carried out, but the increase provided by these methods is not sufficient.

The Seebeck coefficients of the undoped conductive polymers are relatively high, but when they are doped, their electrical conductivity increases and the Seebeck coefficients are reduced. Therefore, charge carrier concentration should be optimized. Due to the quantum restriction in nanostructured (especially 1-dimensional) conductive polymers and the change in the number of energy levels of electrons, the changes in conductivity and counter-Seebeck coefficient can be prevented (Dresselhaus *et al.* 2007). Low thermal conductivity in 1-dimensional stacked conductive polymers due to interface-phonon scattering, high Seebeck coefficient is expected due to high electrical conductivity and increased energy levels near the conductivity band due to the highly oriented polymer chains (Kuchibhatla *et al.* 2007, Wang *et al.* 2011). Another reason for the increase of the Seebeck coefficient is the elimination of the low speed charge carriers at the nanoparticle polymer interface.

On the other hand, when the molar mass is increased and the polymer chains are more oriented, the electrical conductivity is expected to rise as the electron mobility will increase. It has been shown that the molar mass has higher and more oriented chains, when synthesized under magnetic field (MF) in conventional polymers (Turro 1983). Block copolymers, liquid crystals and polyelectrolytes are self-directing materials. It is also expected to direct the polymer chains formed during the conductive polymer synthesis.

It is understood from the studies in the literature that the charge carrier mobility should be increased in order to increase the PF value of a polymeric material. It is clear that the way to increase mobility is to keep the polymer chains as long and oriented as possible. Because in such chains, charge carriers can move faster. In the literature studies, it is seen that when the conventional polymers are synthesized under magnetic field, chain lengths increase. Therefore, in this study, it is aimed to prepare PTh and then PEDOT under magnetic field as well as to prepare PTh and PEDOT blends under magnetic field in order to prepare a thermoelectric material with high PF value. Self-regulating poly(sulphonic acid diphenyl aniline (PSDA) was added to the reaction medium during PTh synthesis to obtain more regular polymer chains.

## 2. Material and Method

### 2.1 Materials

3, 4-Ethylenedioxythiophene (EDOT), thiophene (Th), copper(II) nitrate, poly(styrene sulfonic acid) (PSSA) were supplied from Alfa Aesar. Hydrogen peroxide (35%) were also obtained from Merck. PSDA, which was previously synthesized in our laboratory, was used as a router in PTh synthesis. In all experiments deionized water was used.

### 2.2 Synthesis of PTh nanoparticles

The  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (0.04 g) and deionized water (50ml) were added to the reaction vessel. PSDA synthesized by  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2/\text{H}_2\text{O}_2$  was also added in the medium at a rate of 2% as the router. After stirring thoroughly for 30 minutes, the thiophene monomer (0.168 g) and  $\text{H}_2\text{O}_2$  (35%, 0.9 g) were added to the reaction vessel. Stirring was continued at 50 °C for about 5 hours with a mechanical stirrer. The resulting polymer was purified by dialysis for 4 days. Then the purified polymer was dried at room temperature. This polymer synthesized without magnetic field is called as PTh. The same reaction was also performed under the flux density of 4.6 kGauss and this polymer is called as (PTh)m.

### 2.3 Synthesis of PEDOT particles

PEDOT particles were synthesized as in the literature (Ahmed and Karaman 2018). The PSSA (1.76 g) and deionized water (10 ml) were added to the reaction vessel and stirred for 1.5 hours with mechanical stirrer. At the same time, EDOT monomer (0.11 g) and deionized water (10 ml) were added to a beaker and stirred for 1.5 hours with mechanical stirrer. And then EDOT mixture was added dropwise to the reaction vessel and after 1 hour  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (0.007 g) and  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0.52 g) were added and the mixture was stirred for 24 hours with mechanical stirrer. This polymer was called PEDOT. The same synthesis was done under magnetic field and the resulting polymer was called (PEDOT)m.

### 2.4 Ex-situ PTh/Pedot composites

The composites were obtained *ex-situ* by mixing different ratios (PTh/PEDOT 1:2, 1:1, 2:1) from synthesized PThs and PEDOTs. In addition, PThs synthesized under magnetic field were mixed *ex-situ* with different ratios of PEDOTs synthesized under magnetic field and composites were obtained. The codes and definitions given to composites prepared *ex-situ* are given in Table 1.

### 2.5 Characterization

The FTIR-ATR (SENSOR27, Bruker Optic GmbH, fourier transform infrared spectroscopy) was used for polymer characterization. Diluted aqueous solutions of the synthesized polymers were prepared and the adsorption spectra in quartz cuvettes were taken by Shimadzu brand A109351 05066 model UV mini-1240 UV-vis spectrophotometer (The absorbance values were obtained as a result of the calculation made by the device using logarithms according to the "e" base). Seebeck coefficients were measured from thin films of synthesized polymers on microscope glass by ENTEK (SC 001). The electrical conductivity was measured using four probe technique by ENTEK FPP 470 at room temperature. The particle sizes were determined by dynamic light scattering (DLS, Brookhaven 90Plus Particle Size Analyzer).

### 3. Results and Discussion

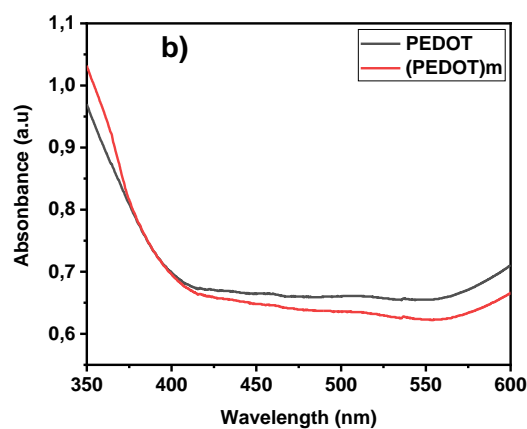
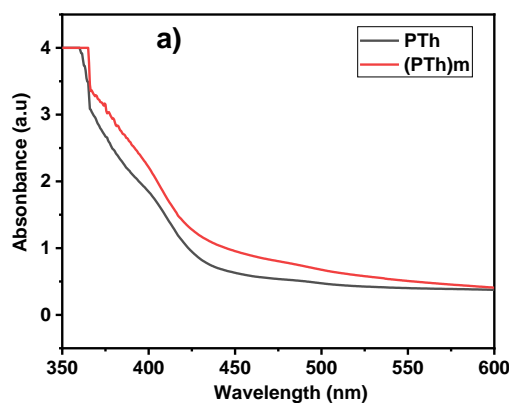
PTh was synthesized in the presence of PSDA. The same synthesis was done under MF. PEDOT was synthesized with and without MF. PTh and PEDOT synthesized under MF were matched to obtain ex situ composites by mixing them at different ratios. In addition, PTh and PEDOT synthesized without MF were matched and mixed in certain proportions to obtain *ex-situ* composites. The structure of PThs and PEDOTs were characterized by UV and FTIR-ATR, and particle size was measured by DLS. Thin films of polymers and composites were cast on glass substrate. Electrical conductivity and Seebeck coefficient were measured from thin films. Power factors were calculated. The codes and definitions given to the synthesized polymers and the prepared composites are given in table 1.

**Table 1.** The codes and definitions given to the synthesized polymers and the prepared composites.

Sample	MF	PSDA	PTh	PEDOT
PTh	-	+	+	-
(PTh)m	+	+	+	-
PEDOT	-	-	-	+
(PEDOT)m	+	-	-	+
PTh/PEDOT1	-	+	2	1
PTh/PEDOT2	-	+	1	1
PTh/PEDOT3	-	+	1	2
(PTh/PEDOT1)m	+	+	2	1
(PTh/PEDOT2)m	+	+	1	1
(PTh/PEDOT3)m	+	+	1	2

UV-vis. spectra of PTh, (PTh)m, PEDOT and (PEDOT)m prepared at the same concentration are given in Figure 1a, b. It is seen from the UV-vis. spectra (Fig. 1a) that (PTh)m synthesized under MF absorb slightly more in the 400-600 nm region. The fact that the color of (PTh)m is darker than PTh also supports this result. The peak in the 350-400 nm range is due to the  $\pi$ - $\pi^*$  transition absorption (Yildiz *et al.* 2008, Aydemir *et al.* 2008). The slight red shift in the maximum absorption of the  $\pi$ - $\pi^*$  transition indicates that the conjugation length in the polymer chain increases slightly. In our previous study (Huner and Karaman 2018), the absorption of PThs synthesized with the same formulation without PSDA was much lower than in

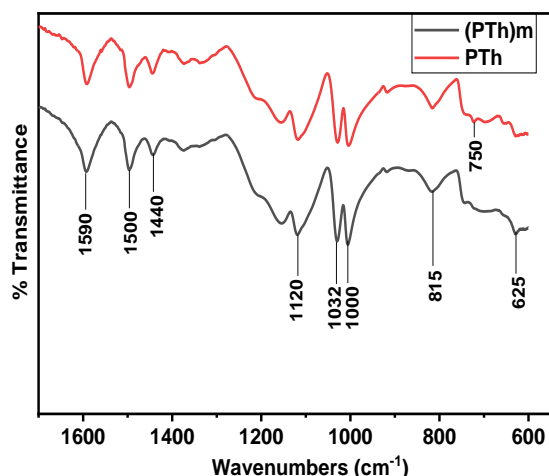
figure 2, which can be attributed to PSDA. The free carrier tail between 550 and 600 nm indicates the long conjugation and the conductivity (Ram *et al.* 2005, Kim *et al.* 2000) of PEDOTs (Figure 1b). The lower conductivity band around 600 nm in (PEDOT)m synthesized under MF indicates that the conductivity of (PEDOT)m is lower than PEDOT, the conductivity decreased from 0.35 to 0.19 S/cm.



**Figure 1.** The UV-vis. spectra of synthesized polymers a) PTh, (PTh)m b) PEDOT, (PEDOT)m.

FTIR spectra of PThs are given in Figure 2. The peaks seen at approximately 625, 750, 1032, 1120, 1440 and 1600  $\text{cm}^{-1}$  are characteristic peaks of the groups in the structure of the PTh (Jeon *et al.* 2010, Lee *et al.* 2009, Majid *et al.* 2009, Huner and Karaman 2018). In comparison of the spectra of PTh and (PTh)m, it can be seen that the peak positions do not change with MF, but the intensity of the peaks is slightly decreased. It was also observed that the intensity of the peaks of C-H out

of plane bending of the thiophene ring at  $750\text{ cm}^{-1}$  and the stretching vibration of C=O at  $1420\text{ cm}^{-1}$  decreased in (PTh)m synthesized under MF. In the FTIR spectra, the effect of PSDA could not be seen since it was thought that the peaks of PTh covered the PSDA peaks.



**Figure 2.** The FTIR Spectra of PTh and (PTh)m.

Particle sizes of the aqueous PEDOT, PTh particles synthesized in the presence of PSDA and their particles synthesized under MF were given in Table 2. The particle size of PTh particles are almost 3 times greater than (PTh)m particles synthesized under MF. The particle size of (PEDOT)m samples synthesized under MF are almost 1.5 times greater than PEDOT particles. The magnetic field decreased the particle size for PTh while increased it for PEDOT. In our previous study (Huner and Karaman 2018), the magnetic field did not change the PTH particle size much, here the change is attributable to the presence of PSDA.

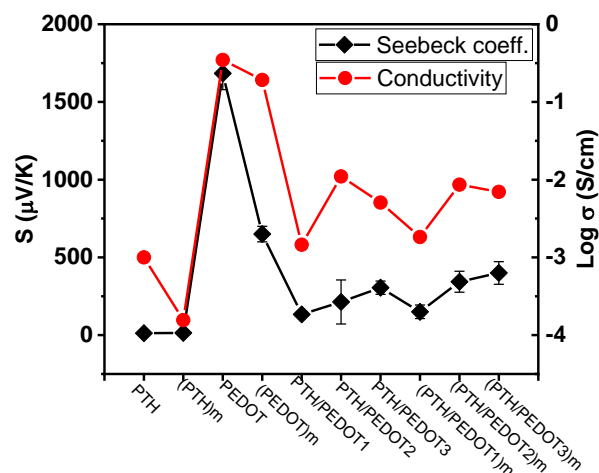
**Table 2.** Particle sizes of the aqueous PEDOT, PTh particles synthesized in the presence of PSDA and their particles synthesized under MF.

Sample	$R_H$ (nm)	Polydispersity
PTh	745	0,370
(PTh)m	275	0,312
PEDOT	75	0,670
(PEDOT)m	126	0,051

Seebeck coefficient and electrical conductivity of PTh, PEDOT and their *ex-situ* composites with and without MF were given in Figure 3. Samples were measured 3 times and averaged. Seebeck coefficient is given with error bar.

The Seebeck coefficient of PTh did not change considerably with MF, while the Seebeck coefficient of PEDOT decreased (~2.5 times). The highest Seebeck coefficient for PThs is  $14.3\text{ }\mu\text{V/K}$  obtained from (PTh)m and this value is smaller than  $23\text{ }\mu\text{V/K}$ , which is the Seebeck coefficient of PTh obtained on ITO substrate by electrolytic polymerization in the literature (Hiraishi *et al.* 2009). The highest Seebeck coefficient for PEDOTs is  $1683.3\text{ }\mu\text{V/K}$  obtained from PEDOT synthesized without MF and this value is higher than  $12.4\text{ }\mu\text{V/K}$ , which is the Seebeck coefficient of obtained from commercial-undoped PEDOT:PSS in the literature (Tsai *et al.* 2011). The Seebeck coefficient of *ex-situ* PTH/PEDOT composites synthesized without MF is about  $133.3$ ,  $213.3$  and  $305\text{ }\mu\text{V/K}$  for PTh/PEDOT ratio 2:1, 1:1, 1:2, respectively. The Seebeck coefficient of *ex-situ* PTH/PEDOT composites synthesized with MF are about  $150$ ,  $343.3$  and  $400\text{ }\mu\text{V/K}$  for PTh/PEDOT ratio 2:1, 1:1, 1:2, respectively. MF increased the Seebeck coefficient of composites. Seebeck coefficient increased as the amount of PEDOT increased in *ex-situ* PTH/PEDOT composites with and without MF. However, the Seebeck coefficient of composites is still lower than the value of PEDOT. Seebeck coefficient of *ex-situ* PTH/PEDOT composites have greater than PThs. The Seebeck coefficients of composites with MF (for PTh/PEDOT ratio: 2:1, 1:1, 1:2) are about  $10$ ,  $24$  and  $28$  times greater than PTh with MF ( $\sim 14.3\text{ }\mu\text{V/K}$ ), respectively. The highest Seebeck coefficient of *ex-situ* PTH/PEDOT was obtained as  $400\text{ }\mu\text{V/K}$ , for the *ex-situ* (PTh/PEDOT3)m (PTh/PEDOT ratio 1:2) synthesized with MF. This value is 12.5 times greater than the value of  $32\text{ }\mu\text{V/K}$  (Lee, Kim and Kim 2014) reported in the literature and approximately 35.7 times greater than the  $11.2\text{ }\mu\text{V/K}$  (Shi *et al.* 2013) value of PEDOT:PSS/PTh obtained by electropolymerization.

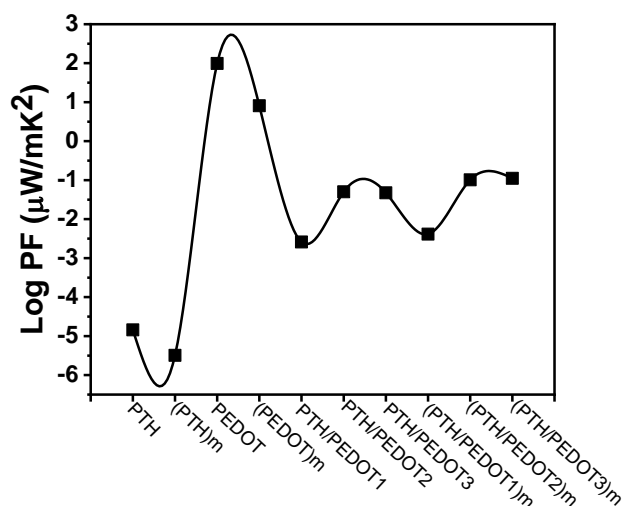
The conductivity values of PTH samples synthesized in the presence of PSDA were about 10 times higher than that of (PTH)<sub>m</sub> synthesized under MF in the presence of PSDA. The conductivity of PTH obtained with MF and without MF in an aqueous medium is 0.001 and 0.0001 S/cm, respectively, while PTH obtained in an aqueous medium is not conductive in the literature (Jeon *et al.* 2010). Conductivity for PEDOT synthesized without MF is 0.346 S/cm, while for PEDOT synthesized with MF, it is 0.191 S/cm. These values are considerably higher than the values  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  (Liu *et al.* 2012) and  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  S/cm (Nardes and Kemerink 2008, Xia and Ouyang 2012, Nardes *et al.* 2008) found for PEDOT:PSS in the literature. The conductivity of *ex-situ* PTH/PEDOT composites synthesized without MF is about 0.0015, 0.011 and 0.005 S/cm for PTh/PEDOT ratio 2:1, 1:1, 1:2, respectively. Electrical conductivities of *ex-situ* PTh/PEDOT composites synthesized with MF are about 0.0018, 0.008 and 0.0069 S/cm for PTh/PEDOT ratio 2:1, 1:1, 1:2, respectively. It is well known that MF increases the rate of polymerization reactions proceeding by radical mechanism by forming longer-lived triplet products faster (Steiner *et al.* 1989). It is also known that polymers synthesized under MF have high molecular weight and therefore cannot adapt to the crystal structure of the chains (Kimura 2003). It is expected that the electrical conductivity will increase with high molecular weight. Therefore, it can be said that unlike Pth and PEDOT, their composites in MF, with increased electrical conductivity with MF, have a higher molecular weight and contain less or no crystalline phase. In the literature, cationic PTh and PEDOT:PSS composites (Worfolk *et al.* 2012, Rider *et al.* 2010) have been obtained, but their conductivity and thermoelectric properties have not been investigated. The conductivity of *ex-situ* PTh/PEDOT was found lower than the conductivity of *in-situ* PTh/PEDOT nanocomposites reported as 17.6 S/cm by Lee *et al.*, which *in-situ* PTh/PEDOT was synthesized by two-step oxidative polymerization (Lee *et al.* 2014).



**Figure 3.** Seebeck coefficients (S) and logarithms of electrical conductivities ( $\sigma$ ) of the films of PTh and PEDOT nanoparticles synthesized with/without magnetic field, and their *ex-situ* composites.

The power factors calculated from the Seebeck coefficients and electrical conductivity of PThs, PEDOTs and their *ex-situ* composites are given in Figure 4. The values of PF were also given on a logarithmic scale in the graph since the differences are very large. The PFs of PThs synthesized with and without MF are about  $3.2 \times 10^{-6}$  and  $1.44 \times 10^{-5}$   $\mu\text{W}/\text{mK}^2$ , respectively. The PFs of PEDOTs synthesized with and without MF are about 8.1 and 98.2  $\mu\text{W}/\text{mK}^2$ , respectively. PTh/PEDOT ratios varied from 2:1 to 2:1 of *ex-situ* PTh/PEDOT composites with MF, while PF values increased from 0.004 to 0.111  $\mu\text{W}/\text{mK}^2$ . The highest power factor value obtained from PEDOT synthesized without MF is  $\sim 98.2$   $\mu\text{W}/\text{mK}^2$  and this value is 13.4 times higher than 7.3  $\mu\text{W}/\text{mK}^2$  (Lee *et al.* 2014) in the literature. The highest PF of *ex-situ* PTh/PEDOT was obtained from (PTh/PEDOT<sub>3</sub>)<sub>m</sub> composite (PTh/PEDOT ratio 1:2) as 0.11  $\mu\text{W}/\text{mK}^2$ . This value is  $\sim 10$  times lower than the value of 1.57  $\mu\text{W}/\text{mK}^2$  (Shi *et al.* 2013) reported in the literature.





**Figure 4.** Logarithms of PF of the films of PTh and PEDOT nanoparticles synthesized with/without magnetic field, and their *ex-situ* composites.

#### 4. Conclusions

In this study, PTh and PEDOT were successfully synthesized by oxidative polymerization, with and without MF. Then, *ex situ* PTh/PEDOT composites were obtained with different PTh/PEDOT ratios. The particle size of PTh decreased with MF, while PEDOT's increased. While the particle size of PTh synthesized without PSDA did not change much with MF, PSDA used in this study changed the particle size of PTh with MF. Seebeck coefficients of PTh and PTh/PEDOT composites were seen to increase with magnetic field. The electrical conductivity of PTh/PEDOT composites did not change much with the magnetic field, but decreased for PEDOT and PTh. Power factors of *ex-situ* PTh/PEDOT composites increased with magnetic field. In this study, the Seebeck coefficient values 1638.3 and 400 obtained for PEDOT and (PTh/PEDOT3)*m* composite, respectively, are much higher than the Seebeck coefficient of PEDOT and PTh/PEDOT obtained by different methods in the literature.

#### Acknowledgement

The author especially thanks Prof. Dr. Ferdane KARAMAN, Esin Aycan BİRGÜL and İnci CENİK for their support in this study.

#### 5. References

- Ahmed, N. & F. Karaman, 2018. Poly (3, 4-ethylene dioxythiophene)/copper sulfide hybrid thermoelectric materials with large Seebeck coefficient around room temperature. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **20**, 695-700.
- Aswal, D. K., D. K. Aswal & J. Yakhmi., 2010. *Molecular and organic electronics devices*. Nova Science Publishers, 424.
- Aswal, D. K., R. Basu & A. Singh, 2016. Key issues in development of thermoelectric power generators: High figure-of-merit materials and their highly conducting interfaces with metallic interconnects. *Energy conversion and management*, **114**, 50-67.
- Atik, K. & R. Kayabaşı, 2009. Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Enerjisi Üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **6**, 59-64.
- Aydemir, K., S. Tarkuc, A. Durmus, G. E. Gunbas & L. Toppare, 2008. Synthesis, characterization and electrochromic properties of a near infrared active conducting polymer of 1, 4-di (selenophen-2-yl)-benzene. *Polymer*, **49**, 2029-2032.
- Bahk, J.-H., H. Fang, K. Yazawa & A. Shakouri, 2015, Flexible thermoelectric materials and device optimization for wearable energy harvesting. *Journal of Materials Chemistry C*, **3**, 10362-10374.
- Bharti, M., A. Singh, S. Samanta & D. Aswal, 2018. Conductive polymers: Creating their niche in thermoelectric domain. *Prog. Mater. Sci*, **93**, 270-310.
- Chen, Y., Y. Zhao & Z. Liang, 2015. Solution processed organic thermoelectrics: towards flexible thermoelectric modules. *Energy & Environmental Science*, **8**, 401-422.
- Crispin, D. X., 2012. Retracted article: towards polymer-based organic thermoelectric generators. *Energy & Environmental Science*, **5**, 9345-9362.
- Dresselhaus, M. S., G. Chen, M. Y. Tang, R. Yang, H. Lee, D. Wang, Z. Ren, J. P. Fleurial & P. Gogna, 2007. New directions for low-dimensional thermoelectric materials. *Advanced materials*, **19**, 1043-1053.
- Du, Y., S. Z. Shen, K. Cai & P. S. Casey, 2012. Research progress on polymer-inorganic thermoelectric nanocomposite materials. *Progress in Polymer Science*, **37**, 820-841.

- Dubey, N. & M. Leclerc, 2011. Conducting polymers: efficient thermoelectric materials. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, **49**, 467-475.
- Han, C., Z. Li & S. Dou, 2014. Recent progress in thermoelectric materials. *Chinese science bulletin*, **59**, 2073-2091.
- Hiraishi, K., A. Masuhara, H. Nakanishi, H. Oikawa & Y. Shinohara, 2009. Evaluation of thermoelectric properties of polythiophene films synthesized by electrolytic polymerization. *Japanese Journal of Applied Physics*, **48**, 071501.
- Huner, K. & F. Karaman, 2018. The effect of external magnetic field on the thermoelectric properties of polythiophene. *Materials Research Express*, **6**, 015302.
- Hüner, K., K. Ulutaş, H. Deligöz, L. Sartinska & T. Eren, 2018. ROMP-based boron nitride composites. *Journal of Applied Polymer Science*, **135**, 45658.
- Jeon, S. S., S. J. Yang, K.-J. Lee & S. S. Im, 2010. A facile and rapid synthesis of unsubstituted polythiophene with high electrical conductivity using binary organic solvents. *Polymer*, **51**, 4069-4076.
- Kim, B., G. Spinks, C. Too, G. Wallace & Y. Bae, 2000. Preparation and characterisation of processable conducting polymer–hydrogel composites. *Reactive and Functional Polymers*, **44**, 31-40.
- Kimura, T., 2003. Study on the effect of magnetic fields on polymeric materials and its application. *Polymer Journal*, **35**, 823-843.
- Kroon, R., D. A. Mengistie, D. Kiefer, J. Hynynen, J. D. Ryan, L. Yu & C. Müller, 2016. Thermoelectric plastics: from design to synthesis, processing and structure–property relationships. *Chemical Society Reviews*, **45**, 6147-6164.
- Kuchibhatla, S. V., A. Karakoti, D. Bera & S. Seal, 2007. One dimensional nanostructured materials. *Progress in materials science*, **52**, 699-913.
- Lee, S. H., Y. S. Kim & J. H. Kim, 2014. Synthesis of polythiophene/poly(3, 4 ethylenedioxythiophene) nanocomposites and their application in thermoelectric devices. *Journal of electronic materials*, **43**, 3276-3282.
- Lee, S. J., J. J. Oh, J. M. Lee & J. H. Kim, 2009. Characterization and Film Forming Application of Polythiophene Nanoparticles Synthesized by Fe<sup>3+</sup>-Catalyzed Oxidative Polymerization in Aqueous Medium. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, **9**, 7236-7239.
- Liu, C., J. Xu, B. Lu, R. Yue & F. Kong, 2012. Simultaneous increases in electrical conductivity and Seebeck coefficient of PEDOT: PSS films by adding ionic liquids into a polymer solution. *Journal of electronic materials*, **41**, 639-645.
- Majid, K., R. Tabassum, A. Shah, S. Ahmad & M. Singla, 2009. Comparative study of synthesis, characterization and electric properties of polypyrrole and polythiophene composites with tellurium oxide. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **20**, 958-966.
- Nardes, A. M., R. A. Janssen & M. Kemerink, 2008. A morphological model for the solvent-enhanced conductivity of PEDOT: PSS thin films. *Advanced Functional Materials*, **18**, 865-871.
- Nardes, A. M. & M. Kemerink, 2008. MM dekok, E. Vinken, K. Maturova, and RAJ Janssen. *Org. Electron*, **9**, 727.
- Pichanusakorn, P. & P. Bandaru, 2010. Nanostructured thermoelectrics. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, **67**, 19-63.
- Ram, M. K., O. Yavuz & M. Aldissi, 2005. NO<sub>2</sub> gas sensing based on ordered ultrathin films of conducting polymer and its nanocomposite. *Synthetic Metals*, **151**, 77-84.
- Rider, D. A., B. J. Worfolk, K. D. Harris, A. Lalany, K. Shahbazi, M. D. Fleischauer, M. J. Brett & J. M. Buriak, 2010. Stable inverted polymer/fullerene solar cells using a cationic polythiophene modified PEDOT: PSS cathodic interface. *Advanced Functional Materials*, **20**, 2404-2415.
- Russ, B., A. Gludell, J. J. Urban, M. L. Chabinyk & R. A. Segalman, 2016. Organic thermoelectric materials for energy harvesting and temperature control. *Nature Reviews Materials*, **1**, 1-14.
- Shi, H., C. Liu, J. Xu, H. Song, B. Lu, F. Jiang, W. Zhou, G. Zhang & Q. Jiang, 2013. Facile fabrication of PEDOT: PSS/polythiophenes bilayered nanofilms on pure organic electrodes and their thermoelectric performance. *ACS applied materials & interfaces*, **5**, 12811-12819.
- Steiner, U. E., & Ulrich, T., 1989. Magnetic field effects in chemical kinetics and related phenomena. *Chemical Reviews*, **89**, 51-147.
- Tsai, T.-C., H.-C. Chang, C.-H. Chen & W.-T. Whang, 2011. Widely variable Seebeck coefficient and enhanced thermoelectric power of PEDOT: PSS films by

blending thermal decomposable ammonium formate. *Organic Electronics*, **12**, 2159-2164.

Turro, N. J., 1983. Influence of nuclear spin on chemical reactions: magnetic isotope and magnetic field effects (a review). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **80**, 609-621.

Wang, Y., J. Zhou & R. Yang, 2011. Thermoelectric properties of molecular nanowires. *The Journal of Physical Chemistry C*, **115**, 24418-24428.

Wei, Q., M. Mukaida, K. Kirihara, Y. Naitoh & T. Ishida, 2015. Recent progress on PEDOT-based thermoelectric materials. *Materials*, **8**, 732-750.

Worfolk, B. J., T. C. Hauger, K. D. Harris, D. A. Rider, J. A. Fordyce, S. Beaupré, M. Leclerc & J. M. Buriak, 2012. Work Function Control of Interfacial Buffer Layers for Efficient and Air-Stable Inverted Low-Bandgap Organic Photovoltaics. *Advanced Energy Materials*, **2**, 361-368.

Xia, Y. & J. Ouyang, 2012. Significant different conductivities of the two grades of poly (3, 4-ethylenedioxythiophene): poly (styrenesulfonate), Clevios P and Clevios PH1000, arising from different molecular weights. *ACS applied materials & interfaces*, **4**, 4131-4140.

Yang, B., H. Ahuja & T. N. Tran, 2008. Thermoelectric technology assessment: application to air conditioning and refrigeration. *HVAc&R Research*, **14**, 635-653.

Yildiz, E., P. Camurlu, C. Tanyeli, I. Akhmedov & L. Toppare, 2008. A soluble conducting polymer of 4-(2, 5-di (thiophen-2-yl)-1H-pyrrol-1-yl) benzenamine and its multichromic copolymer with EDOT. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **612**, 247-256.

Yue, R. & J. Xu, 2012. Poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) as promising organic thermoelectric materials: A mini-review. *Synthetic metals*, **162**, 912-917.

# Antibakteriyel Özelliğe Sahip Aminogliksimlerin Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi

Önder ALICI\*<sup>1</sup>, Şule KÖKTEN<sup>1</sup>, İbrahim KARATAŞ<sup>1</sup>, Erdoğan GÜNEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü-Konya

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü-Konya

\*Sorumlu yazar e-posta: oalici@selcuk.edu.tr

katrechemistry@hotmail.com

ikaratas@selcuk.edu.tr

erdogangunes@selcuk.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5982-5128>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2413-1358>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7024-7568>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2833-5710>

Geliş Tarihi: 03.05.2021

Kabul Tarihi: 16.08.2021

## Öz

### Anahtar kelimeler

4-

Fenoksifenilklorgliksim;

Süstitüe-aminogliksim;

Anti-bakteriyel özellik;

Organik Sentez

Bu çalışmada önce difenileterin kloroasetilklorür ile  $AlCl_3$  katalizörülüğündeki reaksiyonundan 4-kloroasetildifenileter sentezlenmiştir. Sonra bunun nitrosolama metoduyla isonitroso-4-asetildifenileteri ve hidroksilaminhidroklorür ile asidik ortamdaki reaksiyonundan 4-fenoksifenilklorgliksimi elde edildi. Daha sonra bu anti-fenoksifenilklorgliksimin 2-amino-4-feniltiazol ve 2-fluorenamin ile reaksiyonundan orijinal olarak süstitüe-aminogliksim türevleri sentezlendi. Elde edilen bileşiklerin yapıları FT-IR ve  $^1H$ -NMR teknikleri kullanılarak aydınlatıldı. Ayrıca sentezlenen iki başlangıç maddesi, sentezlenen süstitüe-aminogliksim türevleri ve iki amin bileşiğinin, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, metisilin duyarlı *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (MSSA), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076 ve *Sarcina lutea* ATCC 9341 suşlarına karşı anti-bakteriyel özellikleri araştırıldı.

## Synthesis of Aminoglyoximes with Antibacterial Properties and Investigation of Properties

### Abstract

In this study, firstly 4-chloroacetyldiphenylether was synthesized from the reaction of diphenylether with chloroacetylchloride at  $AlCl_3$  catalysis. Then, 4-phenoxyphenylchloroglyoxime was obtained from reaction of isonitroso-4-acetyldiphenylether and hydroxylamine hydrochloride. Subsequently, substituted-amino glyoxime derivatives were originally synthesized from the reaction of this phenoxyphenylchloroglyoxime with 2-amino-4-phenylthiazole and 2-fluorenamine. The structures of the obtained compounds were tried to be elucidated using FT-IR and  $^1H$ -NMR techniques. In addition, Anti-bacterial properties of two starting materials synthesized, substituted-aminoglyoxime derivatives synthesized and two amine compounds were investigated against the strains of *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, methicillin sensitive *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (MSSA), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076 and *Sarcina lutea* ATCC 9341.

### Keywords

4-

Phenoxyphenylchloroglyoxime;

Substitued-amino glyoxime;

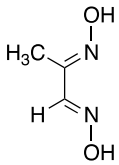
Anti-bacterial property;

Organic Synthesis

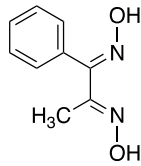
## 1. Giriş

Oksimler, basitçe aldehit veya ketonların hidroksilamin ile reaksiyonları sonunda oluşan ve yapısında karbon-azot çifte bağı bulunan bileşiklerdir. Oksim ismi, oksi-imin (C=NOH) grubunun kısaltmasıdır ve eğer aldehitten elde edilmişse aldoksim, ketondan elde edilmişse ketoksim olarak isimlendirilirler. Örneğin asetaldehit kullanılarak, asetaldoksim ve aseton kullanılarak asetonoksim. Yine bu maddeler "hidroksimino" eki kullanılarak da adlandırılabilirler. Örneğin aseton oksim bileşiği [CH<sub>3</sub>-C(N-OH)-CH<sub>3</sub>], 2-hidroksimino propanon olarak da isimlendirilmektedir. Yine oksimler, nitrozo bileşiklerinin yapı izomeri olduğu için bunların isimlendirilmesinde izonitroso terimi de kullanılabilir. Örneğin (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CO-CH=N-OH) bileşiği, l-hidroksiimino asetofenon olarak isimlendirildiği gibi isonitroso asetofenon olarak da isimlendirilmektedir (Smith 1966, Gök 1981).

Oksimlerin bir önemli sınıfı da dioksim yapılarıdır. Dioksim yapılarında bitişik karbonlarda iki oksim grubu bulundurlar. Bunlar  $\alpha$ -; 1,2-; vic-; ve gli- oksimler şeklinde isimlendirilirler.



Metilglioksime



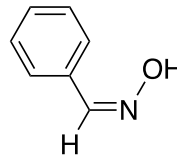
Fenilmetilglioksime

Şekil 1. Glioksimlerin yapısı ve isimleri

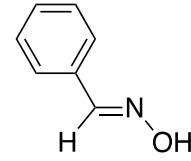
Oksimlerin -OH grubundaki H'nin yerine R- veya R-CO- grubunun geçmesiyle oksimlerin O-alkil veya O-açıl izomerleri oluşmaktadır. Bu yapıları (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>C=N-O-CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>, O-etilasetofenonoksime ve C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CH=N-O-COCH<sub>3</sub>, O-asetilbenzaldoksime örnek olarak verilebilir. Yine oksimlerin -O-R türevlerindeki, alkil grubunun O üzerinden, N üzerine geçmesiyle de bir başka oksim türevi olan nitronlar oluşmaktadır. Oksimlerin bu nitron izomerlerine örnek olarak benzofenon-N-metil oksime ( $\alpha,\alpha'$ -difenil-N-metil nitron) verilebilir [(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup>(CH<sub>3</sub>)-O<sup>-</sup>] (Smith 1966, Gök 1981).

Oksimler, yapılarındaki =N-OH grubunun hareketli protonundan dolayı hem zayıf asidik, hemde azot atomu üzerindeki ortaklaşmamış elektron çiftinden dolayı zayıf bazik özellik gösterirler. Yani oksimler amfoter özelliğe sahiptirler. Basit oksimlerin pKa'ları 10-12 arasında, 1,2-dioksimlerin pKa'ları ise 7-10 arasında değişiklik göstermektedir (Chakravorty 1974, Kurtoğlu ve Serin 2006).

Oksimler, yapılarında (C=N) çift bağından dolayı alkenlerdeki *cis-trans* izomerine benzer olarak, *syn-anti* izomeri görülür (Burakevich *et al.* 1971). Günümüzde ise oksimlerin bu *syn-anti* izomer isimlendirmeleri *Cahn-Ingold-Prelog* sistemine göre *E/Z* olarak belirtilir (Patai 1970, Purtaş 2006).



Z-Benzaldoksime



E-Benzaldoksime

Şekil 2. Aldoksimlerin izomer yapıları

Oksimler, kimyanın birçok alanında değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Özellikle dioksimler, geçiş metalleri ile kolay kompleks oluştururlar ve bu metal iyonlarının spektrofotometrik tayininde türevlendirici madde olarak sıklıkla kullanılırlar (Sing *et al.* 1979, Akiba and Freisher 1982, Keeney and Asare 1984). Ayrıca bazı oksim ve türevleri fotoğraf, boya, kauçuk endüstrisi, motor yağlarının, boya, epoksit reçinelerin, lastiklerin vb. bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için katkı maddesi olarak kullanıldıkları bilinmektedir (Kara 1995).

Yine birçok oksim ve onların alkil ve amino türevleri fizyolojik ve biyolojik aktif özelliklere sahip oldukları bilinmektedir (Leclerc *et al.* 1977, Leclerc *et al.* 1980, Massolini *et al.* 1989).

Oksim ve oksim eterler, yapılarında taşıdıkları gruplardan dolayı geniş bir farmakolojik aktivite sahiptirler ve tedaviye girmiş pekçok ilaç örneği vardır. Örneğin, arilfuril ketoksime ve eterleri ile fenil piridil ketoksime de *antifungal-antibakteriyel* aktivite gösteren bileşikler olarak literatüre geçmiştir (Massolini *et al.* 1989, Massolini *et al.*

1996). Yine Bozdağ vd. (1998) tarafından hazırladıkları asetofenon, haloperidol ve primaperon oksim eterleri antidepresan etki gösterdiği bildirilmiştir. Bazı siklik ariliden ketoksimlerin sitotoksik etkileri, 55 insan tümörüne karşı değerlendirilmiş, birçok neoplastik hastalıkta, özellikle de lösemide selektif toksisite gösterdiği bulunmuştur (Dimmock *et al.* 1994).

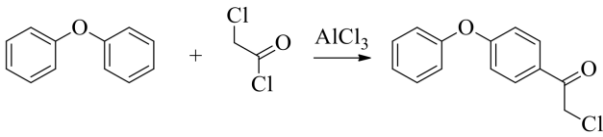
Bu çalışmada önce, difenilelerin gerekli reaktifler kullanılarak, biz dizi reaksiyonları sonucu 4-fenoksifenilkloroglikosimi sentezlendi. Sonra bunun 2-amino-4-feniltiyazol ve 2-fluorenamin ile reaksiyonundan, yeni sübstitüe-aminoglikosim türevleri sentezlendi. Bileşiklerin yapıları hem literatür bilgileri ile hem de FT-IR ve <sup>1</sup>H-NMR teknikleri kullanılarak aydınlatılmaya çalışıldı.

Sentezlenen sübstitüe-aminoglikosim türevlerinin anti-bakteriyel özellikleri, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, metisilin duyarlı *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (MSSA), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076 ve *Sarcina lutea* ATCC 9341 standart suşlarına karşı araştırıldı.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. 4-Kloroasetildifenileter Sentezi (I)

Bu maddenin sentezi literatürde belirtildiği gibi gerçekleştirildi(Cavallini *et al.* 1963, Coşkun ve Yılmaz 2008).



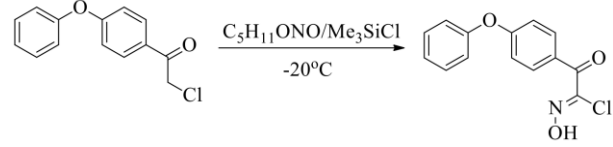
Şekil 3. 4-Kloroasetildifenileter'in Sentez Şeması

Bir soğutucu sistemi (-10 °C) üzerine yerleştirilen 250 mL'lik balona, 40 mL diklormetan, 0.1 mol AlCl<sub>3</sub> ve 0.1 mol asetilklorür ilave edildi. Bu karışım üzerine, 40 mL diklorometanda çözülmüş 0.1 mol difenileter yavaş yavaş damlatıldı. Yaklaşık 2 saat sonra oluşan koyu renkli karışım bir gece oda sıcaklığında bekletildi. Sonra karışım 300 g buz ve 5 ml der. HCl üzerine karıştırılarak ilave edildi ve pH: 5-6 oluncaya kadar su ile yıkandı. Elde edilen açık sarı katı madde, eter-hekzan (1/2) karışımından kristallendirildi.

E.n: 54-56 °C [lit. 56-57 °C]; Verim: % 62

### 2.2. 4-Fenoksifenilhidroksimoil klorür Sentezi (II)

4-Fenoksifeniloksihidroksimoil klorür veya [N-hidroksil-2-okso-2-(4-feniloksofenil) asetimido klorür] olarak isimlendirilen bu bileşik, literatür bilgilerinden uyarlanarak sentezlendi (Mohammed and Nagendrappa 2003, Coşkun ve Yılmaz 2008).



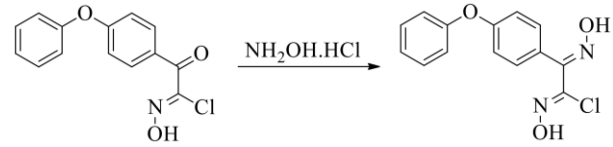
Şekil 4. 4-Fenoksifenilhidroksimoil klorür'in Sentez Reaksiyonu

100 mL'lik üç boyunlu bir balona, 20 mL diklorometanda çözülmüş 10 mmol 4-kloroasetildifenileter -20 °C ye kadar soğutularak üzerine 5 mL diklorometanda çözülmüş 11 mmol Me<sub>3</sub>SiCl ilave edildi. Bu çözelti içerisinde 30 dakika süreyle kuru HCl gazı geçirildi. Sonra 11 mmol izopentilnitrit ilave edilerek bir süre karıştırıldı. Daha sonra karışım 1 gün bekletildi ve yeterince heksan ilave edilerek çökmesi sağlandı. Oluşan kristaller eter-hekzan (1/2) karışımından tekrar kristallendirildi.

E.n: 125-127 °C [lit. 128 °C]; Verim: % 74

### 2.3. 4-Fenoksifenilkloroglikosin Sentezi (III)

4-Fenoksifenilkloroglikosim veya [N-hidroksil-2-(hidroksiimino)-2-(4-feniloksofenil)-asetimido klorür] olarak isimlendirilen bu madde, literatür bilgilerine göre sentezlenmiştir (Karıpcin *et al.*, 2006; Yılmaz, 2007).



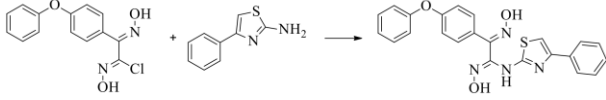
Şekil 5. 4-Fenoksifenilkloroglikosim'in Sentez Reaksiyonu

100 mL'lik bir balonda 10 mmol 4-fenoksifeniloksihidroksimoil klorür 25 mL alkolde çözüldü ve 15 mmol NH<sub>2</sub>OH.HCl'nin sudaki çözeltisi karıştırılarak ilave edilerek, yaklaşık 6 saat geri soğutucu altında 40 °C'de karıştırıldı. Sonra karışım 4 gün kendi halinde bekletildi, çöken madde süzüldü, su ile yıkandı ve etanolden tekrar kristallendirildi.

E.n: 180-182 °C [lit. 188 °C]; Verim: %72

#### 2.4. 4-Feniltiyazol-2-aminofenoksifenilgliksim Sentezi (IV)

Bu madde [N'-hidroksi-2-(hidroksimino)-2-(4-fenoksifenil)-N-(4-fenil tiyazol-2-yl)asetimitamit], literatür bilgilerinden faydalanılarak orijinal olarak sentezlenmiştir (Taş *et al.* 2004, Özdamar 2015).



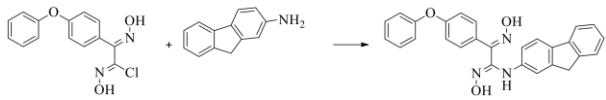
Şekil 6. 4-Feniltiyazol-2-aminofenoksifenilgliksim'in Sentez Reaksiyonu

100 mL'lik bir balonda, 10 mmol fenoksifenilklorgliksimin 30 mL etilalkol'deki çözeltisi 0 °C' ye soğutuldu ve üzerine 20 mL 1 N Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi ilave edildi. Daha sonra, 12 mmol 2-amino-4-feniltiyazol'un 20 mL diklormetandaki çözeltisi ilave edildi ve oluşan karışım önce 0 °C'de, sonra oda sıcaklığında 2 saat karıştırıldı. Reaksiyon karışımı bir gece buzdolabında bekletildi. Oluşan sarımsı çökelek süzüldü, önce eter, sonra su ile yıkandı ve etanol-su karışımından (1/4) tekrar kristallendirilerek, vakumlu etüvde 60 °C'de kurutuldu.

E.n: 167 °C; Verim: % 68

#### 2.5. 2-fluorenaminofenoksi fenilgliksim Sentezi (V)

Bu madde [N-(9H-fluoren-2-yl)-N'-hidroksi-2-(hidroksiimino)-2-(4-fenil oksofenil) asetimidamit], benzer literatür bilgilerinden uyarlanarak orijinal olarak sentezlenmiştir (Taş *et al.* 2004, Özdamar *et al.* 2015).



Şekil 7. 2-fluorenaminofenoksi fenilgliksim'in Sentez Reaksiyonu

Soğutucu düzeneğine yerleştirilmiş 100 mL' lik bir balonda, 11 mmol 2-fluorenamin'in 20 mL THF'daki çözeltisi konularak -15 °C'ye kadar soğutuldu, üzerine 1,50 mL trietilaminin 10 mL THF'daki çözeltisi ilave edildi. Sonra karışıma, 10 mmol 4-fenoksifenilklorgliksim'in 30 mL THF'daki çözeltisi

damla damla ilave edildi ve karışım aynı sıcaklıkta 5 saat karıştırıldı. Reaksiyon ortamında çöken madde (tuz) süzüldükten sonra, elde edilen organik fazın çözücüsü evaporatörde uzaklaştırılarak yağimsı bir tabaka elde edildi. Bunun üzerine diklormetan ilave edilerek çözünmesi sağlandı ve üzerine yeterince n-hekzan ilave edilerek madde çöktürüldü. Çöken madde süzüldü, n-hekzan ve eter ile yıkandı ve izopropil alkolden tekrar kristallendirildi.

E.n: 175-178 °C; Verim: %70

#### 2.6. Sübstitüe-aminofenoksifenilgliksimlerin Antibakteriyel Aktiviteleri

Bu çalışmada sentezlenen, 4-fenoksifeniloksohidroksimoin klorür (II), 4-fenoksifenilklorgliksim (III), 4-Feniltiyazol-2-aminofenoksifenilgliksim [N'-hidroksi-2-(hidroksimino)-2-(4-fenoksifenil)-N-(4-feniltiyazol-2-yl)asetimitamit] (IV), 2-fluorenaminofenoksifenilgliksim [N-(9H-fluoren-2-yl)-N'-hidroksi-2-(hidroksiimino)-2-(4-fenil oksofenil)asetimidamit] (V) ve sentezlerde kullanılan 2-amino-4-feniltiyazol (VI) ile 2-amino fluoren (VII) bileşiklerinin antibakteriyel aktiviteleri yönünden incelemeleri yapılmıştır. Bunun için *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, metisilin duyarlı *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (MSSA), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076 ve *Sarcina lutea* ATCC 9341 standart suşları kullanıldı. Bu testlerde kullanılan standart suşlar, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Araştırma Laboratuvarı'ndan temin edildi ve çalışma aynı laboratuvarında gerçekleştirildi. Sentezlenen bileşiklerin antibakteriyel aktivitesini belirlemek amacıyla sıvı mikrodilüsyon yöntemi kullanıldı. Testlerde kullanılan standart mikroorganizmalar, Brain-Hearth Infusion Broth besiyerine ekilerek, 37 °C'de bir gece inkübasyona bırakıldı. Testlerde steril U tabanlı mikroplyetlerin her kuyucuğuna 100 µl Mueller-Hinton Broth besiyeri ilave edildi. Bir gecelik inkübasyondan sonra BHIB besiyerinde üreyen suşlar, steril serum fizyolojik içerisinde bulanıklık dereceleri 0.5 Mc Farland (10<sup>8</sup> koloni oluşturan birim/ml) olacak şekilde ayarlandı. Kuyucuklardaki inokulumun son konsantrasyonu

5x10<sup>5</sup> kob/ml ve kimyasal maddelerin konsantrasyonu ise (II) 7.25-0.00354 mg/ml, (III) 8.0-0.00390 mg/ml, (IV) 10.0-0.00488 mg/ml, (V) 6.5-0.00317 mg/ml, (VI) 6.0-0.00293 mg/ml ve (VII) 6.25-0.00305 mg/ml olarak uygulandı. Pozitif kontrol olarak Gentamisin antibiyotiği kullanıldı. Pleytler 37 °C'de ve 24 saat inkübe edildi. İnkübasyondan sonra her kuyucuğa 20 µl 2,3,5-trifenil tetrazolyumklorit (%0,5) solüsyonu eklenerek, 37 °C'de 30 dk tekrar inkübasyona bırakıldı. Bu inkübasyon sonunda gözle görülebilir bir üremenin olmadığı, yani pembe-kırmızı renk vermeyen son kuyucuk Mik (Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu) olarak değerlendirildi (Arda 2000, Zengin *et al.* 2014).

**Çizelge 1.** Test bileşiklerin standard mikroorganizmalara karşı belirlenen Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) değerleri

Test Mikroorganizmaları	Maddelerin MİK Değerleri (mg/ml)						Gentamisin'in MİK Değeri (µg/ml)
	II	III	IV	V	VI	VII	
Escherichia coli ATCC 25922	-	-	-	-	-	-	2.44
Pseudomonas aeruginosa ATCC	1.81	2.0	1.15	2.5	1.56	-	9.76
Staphylococcus aureus ATCC 25923	0.014	0.5	0.43	0.02	-	1.62	2.44
Klebsiella pneumoniae ATCC	1.81	1.0	1.74	2.5	-	0.81	2.44
Salmonella enteritidis ATCC 13076	1.81	-	-	-	-	-	4.88
Sarcina lutea ATCC 9341	0.056	-	-	0.078	-	-	4.88

Çizelge-1'de verilen değerlerden, maddelerin 0.014-4.9 mg/ml konsantrasyon aralığında değişen oranlarda antimikrobiyal aktivite gösterdikleri belirlendi. Minimum inhibisyon konsantrasyon değerleri, kontrol antibiyotiği ile kıyaslandığında, bazı maddelerin bazı bakterilere karşı güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışmada kullanılan maddelerin hiçbirinin *E. coli* standart suşuna karşı herhangi bir etki göstermediği tespit edilmiştir. II, ve V no'lu bileşiklerin Gram (+) olan *S. aureus* ve *S. lutea* standart bakterilerine karşı yüksek

antibakteriyel aktivite gösterdiği görülmüştür. II no'lu bileşiğin Gram (-) *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *S. enteritidis* bakterilerine karşı 1.81 mg/ml konsantrasyonda etkili olduğu görülmüştür. V no'lu bileşiğinin *P. aeruginosa* ve *K. pneumoniae* bakterilerine karşı 2.5 mg/ml konsantrasyonda etkili olduğu, fakat *S. enteritidis* bakterisine etki etmediği görülmüştür. IV numaralı bileşiğin ise Gram (+) *S. aureus* standart bakterisine 0.43 mg/ml konsantrasyonda etkili olduğu görülürken, *P. aeruginosa* bakterisine 1.15 mg/ml konsantrasyonunda, Gram (-) *K. pneumoniae* bakterisine 1.74 mg/ml konsantrasyonda etkili olduğu belirlenmiştir. Satın alınarak sentezlerde doğrudan kullanılan VII numaralı amin bileşiği *S. aureus* ve *K. pneumoniae* bakterilerine karşı 1.62 ve 0.81 mg/ml konsantrasyonda, VI numaralı amin bileşiğinin ise, sadece *P. aeruginosa* bakterisine 1.56 mg/ml konsantrasyonda etki gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge-1'den görüldüğü gibi, yapısında hem oksim grubu hem de klor atomu bulunduran 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (II) ve 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (III) bileşikleri *S. aureus* bakterisine karşı oldukça etkilidirler. Sentezlerde satın alınarak kullanılan 2-aminobenzotiyazol ve 2-aminofluoren (VI ve VII) bileşikleri bakteriler üzerine yeterince etkili değilken, 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (IV ve V) daha etkili olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, Çizelge 1'de de görüldüğü gibi, test edilen II ve V no'lu maddelerin Gram (+) bakterilere karşı daha yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip oldukları söylenebilir.

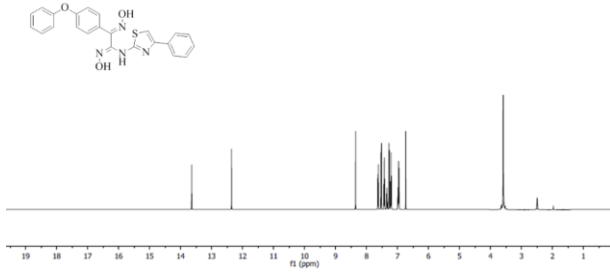
### 3. Bulgular

Bu çalışmada, 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür ve bunun bazı aromatik aminler ile reaksiyonundan, yeni sübstitüe-aminoglikosim bileşiklerinin sentezlenmesi ve bu bileşiklerin biyolojik aktivitelerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

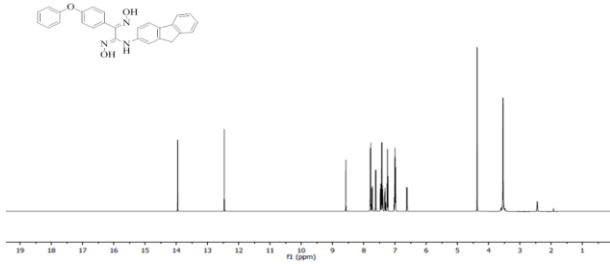
Bunun için önce, difenileterin kloroasetilklorür ile AlCl<sub>3</sub> katalizörlüğündeki reaksiyonundan 4-kloroasetildifenileter (I), sonra bunun nitrosolama metoduyla 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (II) ve hidroksilaminhidroklorür ile reaksiyonundan 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (III) literatür bilgileri veya onların yardımı ile elde edildi (Cavallini *et al.* 1963, Coşkun ve Yılmaz 2008, Mohammed and



Nagendrappa 2003, Karıpcin *et al.* 2006, Yılmaz 2007). Daha sonra bu 4-fenoksifenilklorglikosimin, 2-amino-4-feniltiyazol ve 2-fluorenamin ile reaksiyonundan yine benzer literatür bilgileri ışığında orijinal olarak sübtitüe-aminoglikosim bileşikleri sentezlenmiştir (Taş, 2004; Özdamar, 2015). Orijinal olarak elde edilen bileşiklerin <sup>1</sup>H-NMR değerleri incelendiğinde (Şekil 8 a-b), oksim gruplarına ait O-H pikleri, 13.60-12.60 ppm; N-H pikleri, 8.43-8.17 ppm; C-H (arom); 8.01-7.09 ppm; C-H (alif.), 4.35-1.39 ppm değerleri arasında yer almaktadır. Sentezlenen bileşiklerin <sup>1</sup>H-NMR değerleri literatürde verilen benzer bileşikler ile uygunluk göstermektedir (Kleinspehn *et al.* 1967, Silverstein *et al.* 1974, Balcı 2004).

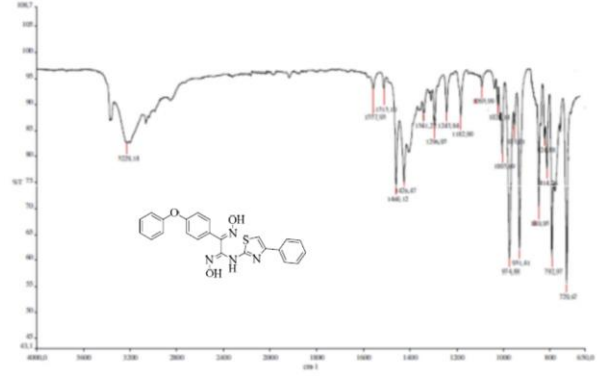


Şekil 8a. 4-Feniltiyazol-2-aminofenoksifenilgliksim'in <sup>1</sup>H-NMR spektrumu (DMSO-d<sub>6</sub>)

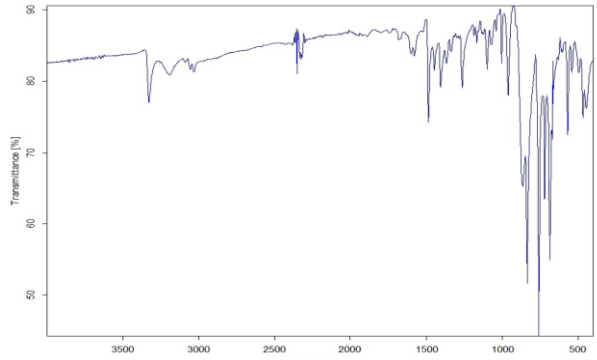


Şekil 8b. 2-Fluorenaminofenoksifenilgliksim'in <sup>1</sup>H-NMR spektrumu (DMSO-d<sub>6</sub>)

Elde edilen bileşiklerin FT-IR gerilme titreşim değerleri (Şekil 9 a-b); N-H: 3400-3342; O-H: 3260-3120; C-H (arom): 3050-3010; C=N: 1650-1600; C=C (arom): 1490-1450; C-O (eter): 1150-1050 ve N-O: 965-900 cm<sup>-1</sup>dir. Bu değerler, benzer çalışmalar ile uyum halindedir (Gül ve Bekaroğlu 1983).



Şekil 9a. 4-Feniltiyazol-2-aminofenoksifenilgliksim'in FT-IR Spektrumu



Şekil 9b. 2-Fluorenaminofenoksifenilgliksim bileşiğinin FT-IR Spektrumu

Çalışmada sentezlenen başlangıç maddeleri ile orijinal olarak sentezlenen iki bileşiğin ve satın alınarak sentezlerde kullanılan iki maddenin (II, III, IV, V, VI ve VII) antibakteriyel aktiviteleri, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, metisilin duyarlı *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella enteritidis* ve *Sarcina lutea* suşlarına karşı yapılmıştır. Özellikle, yapısında hem oksim grubu hem de klor atomu bulunduran 4-fenoksifeniloksihidraksimoil klorür (II) ve 4-fenoksifenilklorglikosim (III) bileşiklerinin *S. aureus* bakterisine karşı oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Yine sentezlerde satın alınarak kullanılan 2-amino-4-feniltiyazol ve 2-aminofluoren (VI ve VII) bileşiklerinin bakteriler üzerine yeterince etkili değilken, 4-fenoksifenilklorglikosime bağlanmış hallerinin (IV ve V) daha etkili olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, test edilen maddelerden II ve V no'lu bileşiklerin Gram (+) bakterilere karşı daha yüksek anti bakteriyel aktiviteye sahip oldukları söylenebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, 14201012 nolu Araştırma Projesi olarak Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından mali olarak desteklenmiştir.

## 4. Kaynaklar

Akiba, K. and Freisher, H., 1982. The Role of the Solvent in Equilibrium and Kinetic Aspect of Metal Chelate Extractions. *Analytica Chimica Acta*, **136**, 329-337.

Arda, M., 2000. Temel Mikrobiyoloji. Medisan Yayınevi, No: 46, 2. Baskı, Ankara, 1-80.

Balçı, M., 2004. Nükleer Manyetik Spektroskopisi. ODTÜ Yayıncılık, 452, Ankara, 10-50.

Bozdağ, O, Gümüsel B, Demirdamar R, Büyükbingöl E, Rolland, Y, Ertan R., 1998. Synthesis of some novel oxime ether derivatives and their activity in the 'behavioral despair test', *European Journal of Medicinal Chemistry*, **33**, 133-141.

Burakevich, J.V., Lore, A.M., ve Volpp, G.P., 1971. Phenylglyoxime separation, characterization, and structure of three isomers, *The Journal of Organic Chemistry*, **36**, 1-4.

Cavallini, G., Massarani, E., Nardi, D., Mauri, L., Tenconi, F., Pacchiano, F., and Mantegazza, P., 1963. "Antibacterial Agents. Some New Halomethyl Aryl Ketones" *Journal of Medicinal Chemistry*, **6**(5), 573-578.

Chakravorty, A., 1974. Structural chemistry of transition metal complexes of oximes, *Coordination Chemistry Reviews*, **13** (1), 1-46.

Coşkun, A. and Yılmaz, F., 2008. Synthesis and characterization of 4-(alkylaminoisonitrosoacetyl)diphenyl ether and some of their metal Complexes, *Turkish Journal of Chemistry*, **32**, 305-312.

Dimmock, J.R., Sidhu, K.K., Chen, M., Li, J, Quail, J.W., Allen, T.M, ve Kao, G.Y., 1994. Synthesis and Cytotoxic Evaluation of Some Cyclic Arylidene Ketones and Related Oximes, Oxime Esters, and Analogs, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **83**(6), 852-858.

Gök, Y., 1981. Yeni  $\alpha$ -Dioksim sentezleri, geometrik izomerleri ve bazı metallerle kompleks formasyonlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 110.

Gül, A., and Bekaroğlu, O., 1983. Syntheses of NN'-bis(4'-benzo[15-crown-5])diaminoglyoxime and its complexes with Copper(II), Nickel(II), Cobalt(II), Cobalt(III), Palladium(II), Platinum(II), and Uranyl(VI), *Journal of The Chemical Society-dalton Transactions*, **12**, 2537-2541.

Kara, A., 1995. Çeşitli oksimlerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 68.

Karipcin, F., Arabalı, F. and Karataş, I., 2006. Synthesis and characterization of 4-aryl- aminobiphenylglyoximes and their complexes, *Journal of the Chilean Chemical Society*, **51**(3), 982-985.

Keeney, M.E. ve Asare, K.O., 1984. Transition Metal Hydroxyoxime Complexes, *Coordination Chemistry Reviews*, **59**, 141-201.

Kleinspehn, G.G., Jung, J.A. and Studniaez, S.A., 1967. The Chemical Shift of the Hydroxyl Proton of Oxime in Dimethyl Sulfoxide, *The Journal of Organic Chemistry*, **32**(2), 460-462.

Kurtoğlu, M. ve Serin, S., 2006. Oksimler: Sentezi, Reaksiyonları ve Metal Kompleksleri, *KSÜ-Fen ve Mühendislik Dergisi*, **9**(2), 25-32, Kahramanmaraş.

Lecterc, G., Mann, A. and Schwartz, J., 1980. Synthesis and adrenergic bloking activity of new aliphatic oxime ethers, *Journal of Medicinal Chemistry*, **23**(6), 620-624.

Lecterc, G., Mann, A., Wermuth, C.G., Bieth, N. and Schwartz, J., 1977. Synthesis and adrenergic bloking activity of a novel class aromatic oxime ethers, *Journal of Medicinal Chemistry*, **20**(12), 1657-1662.

Massolini G, Kitsos M, Gandini C., Caccialanza G, 1989. Fungicidal activity of a series of phenyl pyridyl ketoximes and their O-acetyl derivatives, *Pesticide Science*, **26**, 209-214.

- Massolini G, Carmellino ML, Baruffini A, 1996. Fungicidal activity of arylfuryl ketoximes, *Farmaco (Societa Chimica Italiana: 1989)*, **51**(4), 287-292.
- Mohammed, A.H. ve Nagendrappa, G., 2003. A remarkably simple  $\alpha$ -oximation of ketones to 1,2-dione monooximes using the chlorotrimethylsilane–isoamyl nitrite combination, *Tetrahedron Letters*, **44** (13), 2753-2755.
- Özdamar, H.N., Alıcı, Ö. ve Karataş, İ.,2015. New amino-keto oxime derivatives: Synthesis and Characterization, *Journal of Selçuk University Natural and Applied Science*, **4**(4), 1-6, Konya.
- Patai, S., 1970. The chemistry of Carbon-Nitrogen double bond, 360, Interscience Publisher, London, 1-100.
- Purtaş, F., 2006. Suda çözünebilir yeni vic-dioksim ligandı ve bazı metal Komplekslerinin Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 83.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C. ve Morrill, T.C., 1974. Spectrometric identification of organic compounds, John Wiley, 159-229.
- Singh, R.B., Garg, B.S. ve Singh, R.P., 1979. Oximes as spectrophotometric reagents-a review. *Talanta*, **26**(6), 425–444.
- Smith, P.A.S., 1966. The Chemistry of Open-chain Organic Nitrogen Compounds: Derivatives of oxidized nitrogen: hydrazines to nitrates, **V.2**, New York, 28-68.
- Taş E., Ulusoy M. ve Güler M., 2004. Synthesis, characterization and redox properties of a new vic-dioxime and its transition metal complexes, *Transition Metal Chemistry*, **29**, 180–184.
- Yılmaz, F., 2007. Fenoksifenilglioksim ve bazı geçiş metal komplekslerinin sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 89.
- Zengin, G., Uysal, A., Güneş, E., Aktümsek, A., 2014. Survey of phytochemical composition and biological effects of three extracts from a wild plant. A potential source for functional food ingredients and drug formulations. *PLOS ONE*, **9**(11): 1-13.

**Güçlü  $s - \eta$ -Konveks Fonksiyonlar için Bazı Hermite-Hadamard Tipi Eşitsizlikler**Hasan ÖĞÜNMEZ<sup>1\*</sup>, Nurila TOIGOMBAEVA<sup>2</sup><sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Matematik Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik (YL) Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta: hogunmez@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2018-317X>nurila.toigombaeva@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8278-8230>

Geliş Tarihi: 01.06.2021

Kabul Tarihi: 18.08.2021

**Öz****Anahtar Kelimeler**Güçlü  $s$ -Konveks;  
Güçlü  $\eta$ -Konveks;  
Güçlü  $s - \eta$ -Konveks;  
Hermite-Hadamard  
Tipi Eşitsizlikler

Bu makalede genelleştirilmiş konveks fonksiyonlardan biri olan  $s - \eta$ -konveks fonksiyonunun güçlendirilmiş hali olan, güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonlar kavramı tanıtılmaktadır. Güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonlar için Hermite-Hadamard tipi eşitsizlikler elde edilmektedir. Ayrıca bu tür fonksiyonlar yardımıyla türevlenebilir dönüşümler için Hermite-Hadamard-Fejer eşitsizliğinde orta ve sağ terimler arasındaki fark tahmin edilerek, Hermite-Hadamard-Fejer tipi eşitsizlik elde edilir. Bu çalışmada bu eşitsizlik için yeni sonuçlar gösterilmektedir.

**Some Hermite-Hadamard Type Inequalities for Strongly  $s - \eta$ -Convex Functions****Keywords**Strongly  $s$ -Convex;  
Strongly  $\eta$ -Convex;  
Strongly  $s - \eta$ -Convex;  
Hermite-Hadamard  
Type inequalities.**Abstract**

In this article, the concept of strongly  $s - \eta$ -convex functions, which is a strengthened version of the  $s - \eta$ -convex function, which is one of the generalized convex functions, is introduced. For strongly  $s - \eta$ -convex functions, Hermite-Hadamard-type inequalities are obtained. In addition, with the help of such functions, the difference between the middle and right terms in the Hermite-Hadamard-Fejer inequality for differentiable maps is estimated, and the Hermite-Hadamard-Fejer type inequality is obtained. This article shows new results for this inequality.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş**

Matematik alanında en önemli konulardan biri konveks fonksiyonlardır. Günümüzde konveks fonksiyonların özellikleri ve çeşitleri hala araştırılmaktadır. Bu tür fonksiyonlar uygulamalı matematikte, matematik modelleme ve optimizasyon teorisinde önemli yer almaktadır. Konveks fonksiyonların genelmesi olarak  $s$ -konveks (Hudzuki and Maligarha 1994),  $\eta$ -konveks (Gordji et al. 2015),  $s - \eta$ -konveks (Rangel-Oliveros et al. 2018) vb. kavramlar verilebilir. Ama son yıllarda bu tür genelleştirilmiş konveks fonksiyonların güçlendirilmesi ilgi çekmektedir. Bu nedenle güçlü genelleştirilmiş fonksiyonlar üzerinde yeni makaleler elde edilmekte diyebiliriz. Örneğin güçlü  $\eta$ -konveks (Gordji. et al. 2016, Awan et al. 2017), güçlü  $s$ -konveks (Erdem ve ark. 2017) vb. Biz

bu çalışmada güçlü  $s$ -konveks ve güçlü  $\eta$ -konveks fonksiyonlarının birleşiminden oluşan güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonlar kavramını tanıtacağız ve güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonu için yeni Hermite-Hadamard tipi eşitsizlikleri sunuyoruz.

**Teorem 1** (Pecaric et al.1992)  $f: I \rightarrow R$  fonksiyonu  $[p, q] \in I$  ve  $p < q$  olmak üzere,  $[p, q]$  aralığında konveks fonksiyon ise,

$$f\left(\frac{p+q}{2}\right) \leq \frac{1}{q-p} \int_p^q f(x)dx \leq \frac{f(p)+f(q)}{2} \quad (1)$$

elde edilir. Bu eşitsizlik Hermite-Hadamard eşitsizliği diye adlandırılır.

**Teorem 2.** (Arrow et al.1961)  $f: [p, q] \rightarrow R$  konveks fonksiyon ise, aşağıdaki eşitsizlik sağlanır.

$$f\left(\frac{p+q}{2}\right) \int_p^q g(x)dx \leq \int_p^q f(x)g(x)dx \leq \frac{f(p)+f(q)}{2} \int_p^q g(x)dx \quad (2)$$

Burada  $g: [p, q] \rightarrow R^+$  sürekli ve  $\frac{p+q}{2}$  ye göre simetrik fonksiyondur. Bu eşitsizlik literatürde Hermite-Hadamard-Fejer eşitsizliği diye adlandırılır.

Eğer (2)' de  $g \equiv 1$  olursa, o zaman eşitsizlik Hermite-Hadamard eşitsizliğine indirgenir.

2018'de Rangel-Oliveros ve ark. tarafından  $s - \eta$ -konveks fonksiyonlar kavramı tanıtıldı ve temel sonuçlar ile beraber yeni integral eşitsizlikleri elde edildi.

**Tanım 1.**  $s \in (0,1]$  ve  $\eta: R \times R \rightarrow R$  bifonksiyon olduğuna göre,

$f: I \subset R \rightarrow R$  fonksiyonu her  $x, y \in I$  ve  $t \in [0,1]$  için,

$$f(tx + (1-t)y) \leq f(y) + t^s \eta(f(x), f(y)) \quad (3)$$

eşitsizliği sağlanırsa,  $f$  fonksiyonu  $s - \eta$ -konveks fonksiyon olarak adlandırılır (Rangel-Oliveros et al. 2018).

**Teorem 3.** (Vivas-Cortez et al. 2020)  $f: [p, q] \rightarrow R$  diferansiyellenebilir fonksiyon,  $g: [p, q] \rightarrow R^+$  sürekli ve  $\frac{p+q}{2}$  ye göre simetrik,  $|f'|$   $s - \eta$ -konveks fonksiyon ve  $\eta, [p, q]$  üzerinde üstten sınırlı olsun. Bu durumda,

$$\left| \frac{f(p)+f(q)}{2} \int_p^q g(x)dx - \int_p^q f(x)g(x)dx \right| \leq \frac{q-p}{4} [2|f'(q)| + N|\eta(f'(p), f'(q))|] \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u)dudt \quad (4)$$

eşitsizliği sağlanır.

Burada  $N = \max_{t \in [0,1]} \left| \left(\frac{1+t}{2}\right)^s + \left(\frac{1-t}{2}\right)^s \right|$ .

**Lemma 1.** (Gordji et al. 2015)  $f: [p, q] \rightarrow R$  diferansiyellenebilir,  $g: [p, q] \rightarrow R^+$  sürekli ve  $\frac{p+q}{2}$  ye göre simetrik fonksiyon ve  $f'$   $[p, q]$  üzerinde integrallenebilirse,

$$\frac{f(p)+f(q)}{2} \int_p^q g(x)dx - \int_p^q f(x)g(x)dx = \frac{q-p}{4} \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) \left\{ f' \left( \frac{1-t}{2}p + \frac{1+t}{2}q \right) + f' \left( \frac{1+t}{2}p + \frac{1-t}{2}q \right) \right\} dudt \quad (5)$$

eşitsizliği sağlanır.

## 2. Materyal ve Metod

**Tanım 2.**  $f: I \rightarrow R$  fonksiyonu her  $x, y \in I$  ve

$t \in [0,1]$  için,

$$f(tx + (1-t)y) \leq f(y) + t^s \eta(f(x), f(y)) - \mu t(1-t)(y-x)^2 \quad (6)$$

eşitsizliği sağlanırsa,  $f$  fonksiyonu  $\mu > 0$  modülüne göre güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyon olarak adlandırılır. Burada  $\eta: R \times R \rightarrow R$  bifonksiyondur.

**Önerme 1.** Eğer (6) eşitsizliğinde  $s = 1$  olursa, o zaman eşitsizlik güçlü  $\eta$ -konveks fonksiyona indirgenir.

Eğer (6) eşitsizliğinde  $\eta(x, y) = x - y$  olursa, yukarıdaki eşitsizlik güçlü  $s$ -konveks fonksiyona indirgenir.

Eğer (6) eşitsizliğinde  $s = 1$  ve  $\eta(x, y) = x - y$  olursa, o zaman eşitsizlik klasik güçlü konveks fonksiyona indirgenir.

Güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonu için Hermite-Hadamard tipi eşitsizliği aşağıdaki teoremden gösterilmiştir.

**Teorem 4.**  $f: I \rightarrow R$  fonksiyonu güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyon olsun. O zaman her  $x, y \in I$  ve  $t \in [0,1]$  için,

$$\begin{aligned}
 f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^{s+1}}K_\eta + \frac{\mu}{12}(q-p)^2 \\
 \leq \frac{1}{q-p} \int_p^q f(x)dx \\
 \leq f(q) + \frac{1}{s+1}\eta(f(p), f(q)) - \frac{\mu}{6}(q-p)^2 \quad (7)
 \end{aligned}$$

eşitsizliği sağlanır.

Burada  $K_\eta = \eta(f(p), f(q)) + \eta(f(q), f(p))$

**İspat:**  $f$  fonksiyonu  $I$  aralığında güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyon olduğundan,

$$\begin{aligned}
 f(tp + (1-t)q) \\
 \leq f(q) + t^s\eta(f(p), f(q)) \\
 - \mu t(1-t)(q-p)^2 \quad (8)
 \end{aligned}$$

bulunur. (8) eşitsizliğinin her iki tarafı  $[0,1]$  aralığında,  $t$ 'ye göre integral alınırsa,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{q-p} \int_p^q f(x)dx &= \int_p^q f(tp + (1-t)q)dt \\
 &\leq \int_0^1 (f(q) + t^s\eta(f(p), f(q)) \\
 &\quad - \mu t(1-t)(q-p)^2)dt \\
 &= \left( f(q) + \frac{t^{s+1}}{s+1}\eta(f(p), f(q)) \right. \\
 &\quad \left. - \mu(q-p)^2 \left( \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3} \right) \right) \Big|_0^1 \\
 &= f(q) + \frac{1}{s+1}\eta(f(p), f(q)) - \frac{\mu}{6}(q-p)^2 \quad (9)
 \end{aligned}$$

Böylece verilen eşitsizliğin sağ tarafını elde ettik. Sol tarafı için (8)'den,

$$\begin{aligned}
 f\left(\frac{p+q}{2}\right) \leq f(q) + \frac{1}{2^s}\eta(f(p), f(q)) \\
 - \frac{\mu}{4}(q-p)^2 \quad (10)
 \end{aligned}$$

(10) eşitsizliğinden,

$$\begin{aligned}
 f(q) \geq f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^s}\eta(f(p), f(q)) \\
 + \frac{\mu}{4}(q-p)^2 \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f(p) \geq f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^s}\eta(f(q), f(p)) \\
 + \frac{\mu}{4}(q-p)^2 \quad (12)
 \end{aligned}$$

(11) ve (12) eşitsizliklerin aritmetik ortalamasını alırsak,

$$\begin{aligned}
 \frac{f(p) + f(q)}{2} \geq f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^{s+1}}K_\eta \\
 + \frac{\mu}{4}(q-p)^2 \quad (13)
 \end{aligned}$$

Burada  $p_t = \frac{p+q-t(q-p)}{2}$  ve  $q_t = \frac{p+q+t(q-p)}{2}$  değişkenlerin kullanırsak,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \left( f\left(\frac{p+q-t(q-p)}{2}\right) + f\left(\frac{p+q+t(q-p)}{2}\right) \right) \\
 \geq f\left(\frac{p+q-t(q-p) + p+q+t(q-p)}{4}\right) \\
 - \frac{1}{2^{s+1}}K_\eta \\
 + \frac{\mu}{4} \left( \frac{p+q+t(q-p)}{2} - \frac{p+q-t(q-p)}{2} \right)^2 \\
 = f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^{s+1}}K_\eta \\
 + \frac{\mu}{4}t^2(q-p)^2 \quad (14)
 \end{aligned}$$

bulunur. (14) eşitsizliğinde  $t$ 'ye göre  $[0,1]$  aralığında integral alınırsa,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{q-p} \int_p^q f(x)dx \\
 = \frac{1}{q-p} \left[ \int_p^{\frac{p+q}{2}} f(x)dx + \int_{\frac{p+q}{2}}^q f(x)dx \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \int_0^1 \left( f\left(\frac{p+q-t(q-p)}{2}\right) \right. \\
 &\quad \left. + f\left(\frac{p+q+t(q-p)}{2}\right) \right) dt \\
 &\leq f\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{1}{2^{s+1}} K_\eta \\
 &\quad + \frac{\mu}{12} (q-p)^2 \tag{15}
 \end{aligned}$$

bulunur. (9) ve (15) eşitsizliklerinden, (7)'de istenilen eşitsizlik elde edilir. Böylece teorem ispatlanmış olur.

Sonraki teorem ise güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonu için Hermite-Hadamard-Fejer eşitsizliğinin orta ve sağ terimlerinin arasındaki farkı gösterir.

**Teorem 5.**  $f: [p, q] \rightarrow R$  diferansiyellenebilir,  $|f'|$  güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyon,  $g: [p, q] \rightarrow R^+$  sürekli ve  $\frac{p+q}{2}$  ye göre simetrik fonksiyon ve  $\eta, [a, b]$  üzerinde üstten sınırlı ise,

$$\begin{aligned}
 &\left| \frac{f(p)+f(q)}{2} \int_p^q g(x) dx - \int_p^q f(x)g(x) dx \right| \\
 &\leq \frac{q-p}{4} [2|f'(q)| + N|\eta(f'(p), f'(q))| \\
 &\quad - \frac{\mu}{3} (q-p)^2] \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) dudt \tag{16}
 \end{aligned}$$

eşitsizliği sağlanır.

$$\text{Burada } N = \max_{t \in [0,1]} \left| \left(\frac{1+t}{2}\right)^s + \left(\frac{1-t}{2}\right)^s \right|$$

**İspat:** Lemma 1 de (5)'in her iki tarafının mutlak değerini alırsak ve  $|f'|$  güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyon olduğundan,

$$\begin{aligned}
 &\left| \frac{f(p)+f(q)}{2} \int_p^q g(x) dx - \int_p^q f(x)g(x) dx \right| \\
 &\leq \frac{q-p}{4} \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) \left[ \left| f'\left(\frac{1+t}{2}p \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{1-t}{2}q\right) \right| \\
 &\quad \left. + \left| f'\left(\frac{1-t}{2}p + \frac{1+t}{2}q\right) \right| \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\leq \frac{q-p}{4} \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) [|f'(q)| \\
 &\quad + \left(\frac{1+t}{2}\right)^s \eta(|f'(p)|, |f'(q)|) \\
 &\quad - \mu \left(\frac{1-t}{2}\right) \left(\frac{1+t}{2}\right) (q-p)^2 \\
 &\quad + |f'(q)| + \left(\frac{1-t}{2}\right)^s \eta(|f'(p)|, |f'(q)|)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\quad - \mu \left(\frac{1-t}{2}\right) \left(\frac{1+t}{2}\right) (q-p)^2] dudt \\
 &= \frac{q-p}{4} \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) [2|f'(q)| \\
 &\quad + \left(\left(\frac{1+t}{2}\right)^s + \left(\frac{1-t}{2}\right)^s\right) \eta(|f'(p)|, |f'(q)|) \\
 &\quad - \frac{\mu(1-t^2)}{4} (q-p)^2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{q-p}{4} [2|f'(q)| + N|\eta(f'(p), f'(q))| \\
 &\quad - \frac{\mu}{3} (q-p)^2] \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p+\frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p+\frac{1+t}{2}q} g(u) dudt \tag{16}
 \end{aligned}$$

elde edilir. Böylece teorem ispatlanır.

Burada güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonu için,

$$\begin{aligned}
 &\left| f'\left(\frac{1-t}{2}p + \frac{1+t}{2}q\right) \right| \\
 &\leq |f'(q)| + \left(\frac{1-t}{2}\right)^s \eta(|f'(p)|, |f'(q)|) \\
 &\quad - \mu \left(\frac{1-t}{2}\right) \left(\frac{1+t}{2}\right) (q-p)^2 \tag{17}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\left| f'\left(\frac{1+t}{2}p + \frac{1-t}{2}q\right) \right| \\
 &\leq |f'(q)| + \left(\frac{1+t}{2}\right)^s \eta(|f'(p)|, |f'(q)|) \\
 &\quad - \mu \left(\frac{1-t}{2}\right) \left(\frac{1+t}{2}\right) (q-p)^2 \tag{18}
 \end{aligned}$$

eşitsizlikleri kullanılmıştır.

**Sonuç 1.** Eğer Teorem 5' de  $g \equiv 1$  ise,

$$\left| \frac{f(p) + f(q)}{2} - \int_p^q f(x) dx \right| \leq \frac{(q-p)^2}{8} \left[ 2|f'(q)| + N\eta(|f'(p)|, |f'(q)|) - \frac{\mu}{3}(q-p)^2 \right] \quad (19)$$

eşitsizliği güçlü  $s - \eta$ -konveks fonksiyonu için Hermite-Hadamard tipi eşitsizliğin orta ve sağ teriminin farkını gösterir.

**Sonuç 2.** Eğer Teorem 5' de  $s = 1$  ise,

$$\left| \frac{f(p) + f(q)}{2} \int_p^q g(x) dx - \int_p^q f(x)g(x) dx \right| \leq \frac{q-p}{4} \left[ 2|f'(q)| + \eta(|f'(p)|, |f'(q)|) - \frac{\mu}{3}(q-p)^2 \right] \int_0^1 \int_{\frac{1+t}{2}p + \frac{1-t}{2}q}^{\frac{1-t}{2}p + \frac{1+t}{2}q} g(u) du dt \quad (20)$$

o zaman (20) eşitsizliği, güçlü  $\eta$ -konveks fonksiyonu için Hermite-Hadamard-Fejer eşitsizliğinin orta ve sağ terimleri arasındaki farkı gösterir.

**Sonuç 3.** Eğer Sonuç1'de  $s = 1$  ve  $\eta(x, y) = x - y$  seçersek,

$$\left| \frac{f(p) + f(q)}{2} - \int_p^q f(x) dx \right| \leq \frac{(q-p)^2}{8} \left[ |f'(p)| + |f'(q)| - \frac{\mu}{3}(q-p)^2 \right] \quad (21)$$

eşitsizliği türevlenebilir güçlü konveks fonksiyonlar için Hermite-Hadamard eşitsizliğinin orta ve sağ terimlerinin arasındaki farkı gösterir.

### 3. Kaynaklar

Awan, M.U., Noor, M.A., Noor, K.I., 2017. Safdar F, On strongly generalized convex functions, *Filomat*, **31**(18), 5783–5790.

Arrow, H.J., Enthowen, A.N.D., 1961. Quasi concave programming. *The Econometrica Society*, **29**(4), 779–800.

Erdem, Y., Öğünmez, H., Budak, H., 2017. On some Hermite-Hadamard type inequalities for strongly  $s$ -convex functions. *Biska, New Trends in mathematical sciences*, **5**(3), 154-161.

Gordji, M.E., Dragomir, S.S., Delavar, M.R., 2015. An inequality related to  $\eta$ -convex functions (II). *Analysis and Applications*, **(6)2**, 26-32.

Gordji, M.E., Delavar, M.R., Sen, M.D.L., 2016. On  $\varphi$ -convex functions. *Journal of mathematical inequalities*, **10**(1), 173-183.

Gordji, M.E., Delavar, M.R., Dragomir, S.S., 2015. Some inequalities related to  $\eta$ -convex functions. *RGMI*, **18**(8), 1-14

Hudziki, H., Maligranda, L., 1994. Some remarks on  $s$ -convex functions. *Aequationes Mathematicae*. **48**, 100-111.

Merentes N, Nicodem K, 2010. Remarks on strongly convex functions, *Aequationes mathematicae*, **80**, 193-199.

Ozdemir, M.E., Yıldız, C., Akdemir, A. O., Set, E., 2013. On some inequalities for  $s$ -convex functions and applications, *Journal of Inequalities and Applications*, **2013**(333).

Pecaric, J.E., Proschan, F., Tong Y,L., 1992. Convex functions, partial orderings and statistical applications. *Academic Press, Boston*, **187**, 467.

Rangel-Oliveros, Y., Vivas-Cortez, M., 2018. Ostrowski type inequalities for functions whose second derivative are convex generalized. *Applied Mathematics and Information Sciences*, **12**(6), 1055-1064.

Vivas-Cortez, M., Rangel-Oliveros, Y., 2020. An inequality related to  $s - \varphi$ -convex functions. *Applied Mathematics Information Sciences*, **14**(1), 151-154.



# Özdeş Bileşenlerden Oluşan Genelleştirilmiş n-den k-Çıkışlı F Sistemlerin Güvenilirliği Üzerine Bir Yaklaşım

Fatih Mehmet CANPOLAT<sup>1</sup>, Fahrettin ÖZBEY\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Bitlis.

<sup>2</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Bitlis.

\*Sorumlu yazar e-posta: fozbey2023@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7847-739X>

fatihmcanpolat@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7513-2401>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 18.08.2021

## Anahtar kelimeler

Ardışık n-den k-çıkışlı F sistem; Genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistem; Güvenilirlik; Çoklu hata kriteri

## Öz

Genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistemi doğrusal veya dairesel sıralanmış N tane modülden oluşur. j-inci modül birbirlerine paralel bağlı  $n_j$  tane bileşen içerir ( $n_j \geq 1, j = 1, 2, \dots, N$ ). Genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistem yalnız ve yalnız en az f tane arızalı bileşen varsa veya en az k tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışmaz. Bu çalışmada; sistemde s tane arızalı bileşen bulunduğu durumda sistemin kaç farklı şekilde çalıştığı elde edilerek, bağımsız ve aynı dağılımlı bileşenlerden oluşan genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistemin güvenilirliği elde edilmiştir.

## An Approach to the Reliability of Generalized k-out-of-n F System with Identical Components

### Keywords

Consecutive k-out-of-n F system; Generalized k-out-of-n F system; Reliability; Multiple failure criteria

### Abstract

A generalized k-out-of-n F system consists of a sequence of N ordered modules in a line or circle. The jth module is composed of  $n_j$  components in parallel ( $n_j \geq 1, j = 1, 2, \dots, N$ ). The generalized k-out-of-n: F system fails if and only if there exist at least f failed components or if there exist at least k consecutive failed modules. In this study, the reliability of generalized k-out-of-n F system with independent and identical distributed components has been obtained by obtaining how many different ways the system operates when there are s failed components in the system.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Güvenilirlik; belirli şartlar altında kurgulanan sistemin çalışma olasılığıdır. Sistemin tasarlandığı gibi başarılı bir şekilde çalışma olasılığı da sistem güvenilirliği olarak adlandırılır. Son yıllarda; bileşenlerin sıralanmasına, sistemin farklı hata kriteri içermesine ve bileşenlerin güvenilirliğine dayanan farklı sistemler tasarlanmıştır ve bu sistemlerin güvenilirliğinin hesaplanması için istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellere temel oluşturan (n tane bileşenden yalnız ve yalnız k veya daha fazla bileşen arızalı iken çalışmayan n-den k-çıkışlı F sistemi) sistem ilk kez Birnbaum (1969) tarafından tanıtılmıştır ve bu sistemin güvenilirliği incelenmiştir. Kontoleon (1980) tarafından hata kriteri “yalnız ve yalnız en az k tane ardışık bileşen

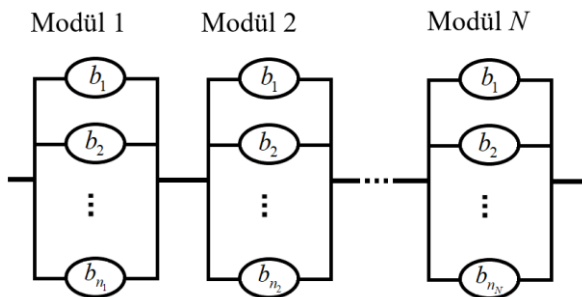
çalışmazsa, sistem çalışmaz” şeklinde tanımlanarak n-den k-çıkışlı F sistemler, ardışık n-den k-çıkışlı F sistemlere genişletilmiştir.

Ardışık n-den k-çıkışlı F sistemi bileşenlerin doğrusal veya dairesel sıralanmasına göre sınıflandırılabilir. Doğrusal olarak sıralanmış n tane bileşenden oluşan doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı F sisteminin güvenilirliği tekrarlı formül şeklinde ilk kez Chiang ve Niu (1981) tarafından elde edilmiştir. n tane bileşenin dairesel olarak sıralanmasıyla oluşturulan dairesel ardışık n-den k-çıkışlı F sistemi ve bu sistemin güvenilirliği tekrarlı ilişki şeklinde ilk kez Derman vd. (1982) tarafından incelenmiştir. Doğrusal ya da dairesel olarak sıralanmış n tane bileşenden oluşan ardışık n-den k-çıkışlı F sistemlerinin güvenilirlikleri tam formülü şeklinde

Lambiris ve Papastavridis (1985) ve Hwang (1986) tarafından elde edilmiştir.  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  ve ardışık  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemlerin birçok farklı türü tanımlanmıştır ve bu sistemlerin, güvenilirliklerini hesaplamak için çeşitli metotlar geliştirilmiştir (Eryılmaz vd. 2009, Eryılmaz 2011, Gökdere ve Gürçan 2016, Gökdere 2017). Ayrıca, ardışık  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemleri ve bu sistemlerin özellikleri farklı varsayımlar altında araştırılmıştır (Eryılmaz 2007, 2009, 2010, Selahi vd. 2011, Gökdere ve Güral 2018, Özbey ve Gökdere 2021a,b).

Çoklu hata kriterine sahip sistemlerde mevcuttur. Örneğin, Tung (1982) tarafından tanımlanan genelleştirilmiş  $(n, f, k)$   $F$  sistemi çoklu hata kriterine sahip bir sistemdir. Bu sistem doğrusal veya dairesel sıralanmış  $n$  tane bileşen içerir ve yalnız ve yalnız ardışık  $k$  tane bileşen bozursa veya tüm sistemde en az  $f$  tane bileşen bozursa sistem çalışmaz  $f > k$  (Tung 1982). Daha sonra bu sistemin güvenilirliği Sun ve Liao (1990) tarafından elde edilmiştir.

Literatür incelendiğinde,  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemin farklı yaklaşımlarla farklı genelleştirilmeleri mevcuttur (Griffith 1986, Huang 2000, Cui ve Xie 2005, Canpolat 2019). Bu genelleştirilmiş sistemlerin biride Cui ve Xie (2005) tarafından tanımlanan genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemdir. Bu sistem doğrusal veya dairesel sıralanmış  $N$  tane modül içerir. Modüller paralel bağlı bileşenlerden meydana gelir ve  $j$ -inci modül paralel olarak sıralanmış  $n_j$  tane bileşenden oluşur ( $n_j \geq 1$ ). Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi yalnız ve yalnız en az  $f$  tane arızalı bileşen varsa veya en az  $k$  tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışmaz. Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistem tanımı gereği çoklu hata kriterine sahip bir sistemdir ve bu sistemin yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğrusal genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi.

Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemin tasarlanmasındaki temel amaç sistemin güvenilirliğinin artırılmasıdır. Örneğin, doğrusal ardışık 7-den 4-çıkışlı  $F$  sisteminin 4-üncü sıradaki bileşeni arızalanmadığı sürece sistem çalışmaya devam eder. Bu sistemin güvenilirliğini arttırmak için 4-üncü bileşene paralel bileşenler eklenmelidir. Bu bakış açısıyla modül kavramı oluşturulmuş ve genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistem literatüre kazandırılmıştır.

Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemler, sıradan  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemlere göre daha güvenilir olmalarına rağmen literatürde çok az çalışılmıştır. Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemini oluşturan modüllerin sıralanmasına göre sistem doğrusal veya dairesel genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistem olarak adlandırılır. Cui ve Xie (2005) tarafından genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sisteminin güvenilirliği hem doğrusal hem de dairesel durum için tekrarlı ilişkiler şeklinde elde edilmiştir. Kamalja (2017) tarafından geliştirilen diğer yöntemde ise sadece doğrusal durum için genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sisteminin güvenilirliği, Bernoulli denemelerinin genelleştirilmiş diziden elde edilen iki değişkenli tekrar istatistiklerinin (bivariate run statistics) olasılık dağılımları ile ilişkilendirilerek elde edilmiştir. Bu çalışmada ise hem doğrusal hem de dairesel durum için sistemde  $s$  tane arızalı bileşen bulunduğu sistemin kaç farklı şekilde çalıştığı elde edilerek, genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemin güvenilirliği elde edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde bağımsız ve aynı dağılımlı bileşenlerden oluşan  $N$  tane modülün doğrusal veya dairesel sıralanmasıyla meydana gelen genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sisteminde  $s$  tane arızalı bileşen bulunduğu sistemin kaç farklı şekilde çalıştığı elde edilerek sistemin güvenilirliği elde edilmiştir. Üçüncü bölümünde ise bazı durumlar için genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sisteminin güvenilirliği hesaplanmıştır ve literatürdeki değerler ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi çoklu hata kriterine sahip bir sistemdir. Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi doğrusal veya dairesel sıralanmış  $N$

tane modülden oluşur. Bileşenlerin paralel bağlanmasıyla modüller meydana gelir ve  $j$ -inci modül birbirlerine paralel bağlı  $n_j$  tane bileşen içerir ( $n_j \geq 1, j = 1, 2, \dots, N$ ). Modüldeki bütün bileşenler arızalı ise modül arızalanır. Genelleştirilmiş  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi en az  $f$  tane arızalı bileşen var ise veya en az  $k$  tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışmaz. Bu sistem  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  şeklinde ifade edilir.  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin bazı özel durumlarından diğer sistemler elde edilebilir. Örneğin,  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminde;

- $n_1 = n_2 = \dots = n_N = 1$  ve  $N = n$  alınırsa  $(n, f, k)$   $F$  sistemi, ve
- $n_1 = n_2 = \dots = n_N = 1$  ve  $N = f = n$  alınırsa ardışık  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sistemi

elde edilir. Ayrıca, ardışık  $n$ -den  $k$ -çıkışlı  $F$  sisteminde  $k = 1$  alınırsa seri sistem ve  $k = n$  alınırsa paralel sistem elde edilir (Cui ve Xie 2005).

### 2.1 Doğrusal $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$ $F$ sisteminde güvenilirlik

Bağımsız ve aynı dağılımlı bileşenlerden oluşan  $N$  tane modülün doğrusal sıralanmasıyla oluşan doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sistemi Cui ve Xie (2005) tarafından tanımlanmıştır. Bu sistem en az  $f$  tane arızalı bileşen var ise veya en az  $k$  tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışmaz. Doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliği ifade edilirken temel problem sistemde  $s$  tane arızalı bileşen var iken sistemin kaç farklı şekilde çalıştığına ortaya koyulmasıdır. Bu sayı  $r_{sL}$  olmak üzere doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliği;

$$R_L((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = P\{\text{Sistem çalışır}\} \\ = \sum_{s=0}^{f-1} P\{s \text{ tane bileşen arızalı iken sistem çalışır}\} \\ = \sum_{s=0}^{f-1} r_{sL} (1-p)^s p^{n-s}, \quad \left( n = \sum_{j=1}^N n_j \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki gibi ifade edilmektedir. Burada  $p$  herhangi bir bileşenin çalışma olasılığıdır. Ayrıca sistemi oluşturan bileşenler aynı dağılımlı olduğundan bütün bileşenlerin çalışma olasılıkları birbirine eşittir. Literatür incelendiğinde  $r_{sL}$  sayısının

elde edilmesi yerine ya tekrarlı ilişkiler ya da farklı bir yapı ile ilişkiler kullanılarak güvenilirlik hesabı yapılmıştır (Cui ve Xie 2005, Kamalja 2017).

Cui ve Xie (2005) tarafından doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliği tekrarlı ilişkiler şeklinde Eşitlik 2'deki gibi ifade edilmektedir.

$$R_L((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = \\ \sum_{s=0}^{n_N} \binom{n_N}{s} (1-p)^s p^{n_N-s} \\ \cdot R_L((n_1, n_2, \dots, n_{N-1}), f-s, k) \\ - (1-p)^{\left(\sum_{i=N-k+1}^N n_i\right)} \\ \cdot \sum_{s=0}^{n_N-k-1} \binom{n_N-k-1}{s} (1-p)^s p^{n_N-k-s} \\ \cdot R_L((n_1, n_2, \dots, n_{N-k-1}), \\ f-s - \left( \sum_{i=N-k+1}^N n_i \right), k) \quad (2)$$

Doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliğinin hesaplanması için Kamalja (2017) tarafından geliştirilen diğer yöntemde ise çok değişkenli Bernoulli denemelerinin genelleştirilmiş bir dizisi tanımlanarak ve bu diziden elde edilen iki değişkenli tekrar istatistiklerinin (bivariate run statistics) olasılık dağılımları ile doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliği arasındaki ilişki ortaya çıkartılarak ve bu ilişkiden faydalanılarak doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminin güvenilirliği elde edilmiştir.

Doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$   $F$  sisteminde  $s$  tane arızalı bileşen bulunduğu durumda sistem  $r_{sL}$  farklı şekilde çalışsın bu sayısı;

$$r_{sL} = \sum_{L_s} \left[ \prod_{j=1}^N \binom{n_j}{i_j} \right] \quad (3)$$

Eşitlik 3'deki gibi elde edilebilir. Burada  $\sum_{L_s}$  ifadesi,  $i_j = 0, 1, 2, \dots, n_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, N$ ) olmak üzere  $i_1 + i_2 + \dots + i_N = s$  ve  $i_\ell + i_{\ell+1} + \dots + i_{\ell+k-1} \neq n_\ell + n_{\ell+1} + \dots + n_{\ell+k-1}$  ( $\ell = 1, 2, \dots, N-k+1$ ) şartları altında bütün  $i_j$ 'ler üzerinden toplamı gösterir.  $i_j$  indisi  $j$ -inci modüldeki arızalı bileşen sayısıdır. Yukarıdaki ifade Eşitlik (1)'de

yazılırsa doğrusal  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sisteminin güvenilirliği;

$$R_L((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = \sum_{s=0}^{f-1} \sum_{L_s} \left[ \prod_{j=1}^N \binom{n_j}{i_j} \right] (1-p)^s p^{n-s} \quad (4)$$

Eşitlik 4'deki gibi elde edilebilir. Örneğin  $N = 3$ ,  $n_1 = 1, n_2 = 2, n_3 = 1, f = 3$  ve  $k = 2$  değerleri için sistem güvenilirliği;

$$R_L((1, 2, 1), 3, 2) = \sum_{s=0}^2 \sum_{\substack{i_1+i_2+i_3=s \\ i_1+i_2 \neq 3 \\ i_2+i_3 \neq 3}} \binom{1}{i_1} \binom{2}{i_2} \binom{1}{i_3} (1-p)^s p^{4-s}$$

$$R_L((1, 2, 1), 3, 2) = p^4 + 4(1-p)p^3 + 6(1-p)^2 p^2$$

şeklinde elde edilir.

### 2.2 Dairesel $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$ F sisteminde güvenilirlik

Bağımsız ve aynı dağılımlı bileşenlerden oluşan  $N$  tane modülün dairesel sıralanmasıyla dairesel  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sistemi Cui ve Xie (2005) tarafından tanımlanmıştır. Bu sistem en az  $f$  tane arızalı bileşen var ise veya en az  $k$  tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışmaz. Dairesel sistemde  $s$  tane arızalı bileşen bulunduğu sistem  $r_{sC}$  farklı şekilde çalışsın, bu durumda dairesel  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sisteminin güvenilirliği;

$$R_C((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = \sum_{s=0}^{f-1} r_{sC} (1-p)^s p^{n-s} \quad (5)$$

Eşitlik 5'deki gibi ifade edilmektedir. Dairesel sistemlerde  $r_{sC}$  sayısının elde edilmesi yerine tekrarlı ilişkiler kullanılarak güvenilirlik hesabı yapılmıştır (Cui ve Xie 2005).

Cui ve Xie (2005) tarafından dairesel  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sisteminin güvenilirliği tekrarlı ilişkiler şeklinde Eşitlik 6'daki gibi ifade edilmektedir.

$$R_C((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = \sum_{s=0}^{n_N-1} \binom{n_N}{s} (1-p)^s p^{n_N-s} \cdot R_L((n_1, n_2, \dots, n_{N-1}), f-s, k) + (1-p)^{n_N} \cdot R_C((n_1, n_2, \dots, n_{N-1}), f-n_N, k) - \sum_{i=0}^k \sum_{s_1=0}^{n_N-k+i-1} \sum_{s_2=0}^{n_i-1} \binom{n_N-k+i-1}{s_1} \binom{n_i}{s_2} \cdot p^{n_N-k+i-1+n_i-s_1-s_2} \cdot R_L((n_{i+1}, n_{i+2}, \dots, n_{N-k+i-2}), f-s_1-s_2 - \left( \sum_{j=N-k+i}^{N+i-1} n_j \right), k) \cdot (1-p)^{\left( \sum_{j=N-k+i}^{N+i-1} \sum_{t=1}^{n_j} t \right) + s_1 + s_2} \quad (6)$$

Dairesel  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sisteminde  $s$  tane arızalı bileşen bulunduğu sistem  $r_{sC}$  farklı şekilde çalışsın bu sayısı;

$$r_{sC} = \sum_{C_s} \left[ \prod_{j=1}^N \binom{n_j}{i_j} \right] \quad (7)$$

Eşitlik 7'deki gibi elde edilebilir. Burada  $\sum_{C_s}$  ifadesi,  $i_j = 0, 1, 2, \dots, n_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, N$ ) olmak üzere  $i_1 + i_2 + \dots + i_N = s$  ve  $i_{\|\ell\|} + i_{\|\ell+1\|} + \dots + i_{\|\ell+k-1\|} \neq n_{\|\ell\|} + n_{\|\ell+1\|} + \dots + n_{\|\ell+k-1\|}$  ( $\ell = 1, 2, \dots, N$ ) şartları altında bütün  $i_j$ 'ler üzerinden toplamı gösterir. Ayrıca  $\alpha$  bir pozitif bir tam sayı ve ( $\beta = 1, 2, \dots, N$ ) olmak üzere  $\|\alpha N + \beta\| = \beta'$ dir. Yukarıdaki ifade (5) eşitliğinde yazılırsa dairesel  $((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k)$  F sisteminin güvenilirliği;

$$R_C((n_1, n_2, \dots, n_N), f, k) = \sum_{s=0}^{f-1} \sum_{C_s} \left[ \prod_{j=1}^N \binom{n_j}{i_j} \right] (1-p)^s p^{n-s} \quad (8)$$

Eşitlik 8'deki gibi elde edilebilir.

### 3. Bulgular

Bu bölümdeki hesaplamalar ilgili eşitliğin kodu R programında yazılarak elde edilmiştir. Kabul edelim ki, 3 modüllü genelleştirilmiş bir sistem bağımsız 12 bileşenlerden oluşsun. Bu sistemdeki her bir

bileşenin çalışma olasılığı  $p$  olmak üzere birinci modülde 4 bileşen, ikinci modülde 6 bileşen ve üçüncü modülde 2 bileşen bulunsun. Genelleştirilmiş sistemi oluşturan modüller doğrusal sıralansın ve bu genelleştirilmiş sistem en az 8 tane arızalı bileşen varsa veya en az 2 tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışamaz şekilde tanımlansın. O zaman bu sistem doğrusal  $((n_1 = 4, n_2 = 6, n_3 = 2), f = 8, k = 2)$  F sistemi olarak adlandırılır. (4) eşitliğinden bu sistemin güvenilirliği;

$$R_L((4, 6, 2), 8, 2) = \sum_{s=0}^7 \sum_{\substack{i_1+i_2+i_3=s \\ i_1+i_2 \neq 10 \\ i_2+i_3 \neq 8}} \binom{4}{i_1} \binom{6}{i_2} \binom{2}{i_3} (1-p)^s p^{12-s} \quad (9)$$

Eşitlik 9'daki gibi elde edilir. Burada  $(i_1 = 0, 1, 2, 3, 4)$   $(i_2 = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6)$  ve  $(i_3 = 0, 1, 2)$ 'dir. Eşitlik (9)'da bileşenlerin çalışma olasılığı  $p = 0.8$  alınırsa  $R_L((4, 6, 2), 8, 2) = 0.9994$  olarak hesaplanır.

Kabul edelim ki, modüller dairesel sıralansın. O zaman dairesel  $((n_1 = 4, n_2 = 6, n_3 = 2), f = 8, k = 2)$  F sistemi oluşur ve (8) eşitliğinden bu sistemin güvenilirliği;

$$R_C((4, 6, 2), 8, 2) = \sum_{s=0}^7 \sum_{\substack{i_1+i_2+i_3=s \\ i_1+i_2 \neq 10 \\ i_2+i_3 \neq 8 \\ i_1+i_3 \neq 6}} \binom{4}{i_1} \binom{6}{i_2} \binom{2}{i_3} (1-p)^s p^{12-s} \quad (10)$$

Eşitlik 10'daki gibi elde edilir. Burada  $p = 0.8$  alınırsa  $R_C((4, 6, 2), 8, 2) = 0.9993$  olarak hesaplanır.

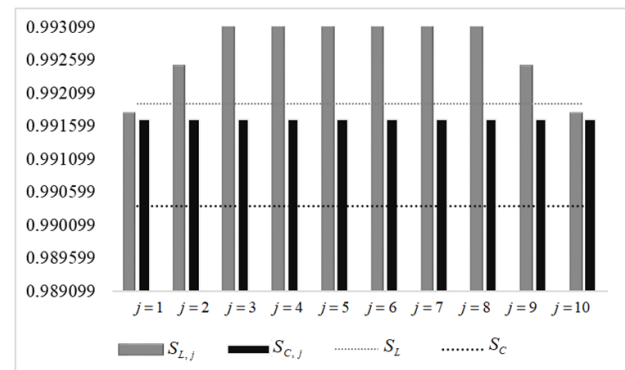
Her modülünde 0.9 güvenilirliğe sahip bir bileşen bulunan ve 10 tane modülden oluşan genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistemi en az 5 tane arızalı bileşen varsa veya en az 3 tane ardışık çalışmayan modül varsa çalışamaz şekilde tasarlansın. Sistemi oluşturan modüler doğrusal (daireysel) sıralanmışsa sistem  $S_L (S_C)$  ile gösterilsin. Aynı varsayımlar altında  $j$ -inci modüle bir bileşen eklenmesiyle oluşturulan doğrusal (daireysel) sistem

$S_{L,j} (S_{C,j}) (j = 1, 2, \dots, 10)$  ile ifade edilsin. Bu sistemlerin, önerilen yöntem ile hesaplanan güvenilirlikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu güvenilirlik değerleri Kamalja (2014, 2017) tarafından elde edilen değerlerle örtüşmektedir.

Bileşen eklenmesiyle oluşturan sistemlerin güvenilirlikleri incelendiğinde  $S_{L,1}$  ve  $S_{L,10}$  sistemlerinin güvenilirliği ilk duruma göre daha düşük  $S_{L,3}$  ve  $S_{L,8}$  sistemlerinin güvenilirliği ilk duruma göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Dairesel sistemin güvenilirliği doğrusal sisteme göre daha düşük ve yapısı gereği bileşen eklenen bütün durumlarda güvenilirlik aynı seviyede yükselmiştir. Sistemler arasındaki bu güvenilirlik değişimini görselleştirmek için Şekil 2 verilmiştir.

**Çizelge 1.** Sistemlerin güvenilirlikleri.

Sistem	Güvenilirliği	Sistem	Güvenilirliği
$S_L$	0.991935	$S_C$	0.990393
$S_{L,1}$	0.991796	$S_{C,1}$	0.991701
$S_{L,2}$	0.992514	$S_{C,2}$	0.991701
$S_{L,3}$	0.993231	$S_{C,3}$	0.991701
$S_{L,4}$	0.993184	$S_{C,4}$	0.991701
$S_{L,5}$	0.993184	$S_{C,5}$	0.991701
$S_{L,6}$	0.993184	$S_{C,6}$	0.991701
$S_{L,7}$	0.993184	$S_{C,7}$	0.991701
$S_{L,8}$	0.993231	$S_{C,8}$	0.991701
$S_{L,9}$	0.992514	$S_{C,9}$	0.991701
$S_{L,10}$	0.991796	$S_{C,10}$	0.991701



**Şekil 2.** Sistemlerin güvenilirlikleri.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sisteminin güvenilirliği tekrarlı ilişkiler veya farklı bir yapı ile

ilişkilendirilerek elde edilmiştir (Cui ve Xie 2005, Kamalja 2017). Fakat bu iki yaklaşım ile güvenilirlik hesabı yapmak oldukça karmaşık olduğundan, bu çalışmada genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistemin güvenilirliğinin hesaplanması için daha kullanışlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda; bağımsız ve aynı dağılımlı bileşenlerden oluşan N tane modülün doğrusal veya dairesel sıralanmasıyla meydana gelen genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sisteminde s tane arızalı bileşen bulunduğu durumda sistemin kaç farklı şekilde çalıştığı elde edilerek, sistem güvenilirliği tam formül şeklinde elde edilmiştir.

Bağımsız ve aynı dağılımlı olmayan bileşenlerden oluşan genelleştirilmiş sistemlerin güvenilirlikleri benzer yaklaşımla araştırılabilir.

### Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırladığı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. F.Ö. analitik çözümlerin elde edilmesinde, bilgisayar kodlarının yazılmasında, sonuçların yorumlanmasında ve makalenin yazımında görev almıştır. F. M. C. programların işletilmesinde, sonuçların alınmasında, verilerin düzenlenmesinde, grafiklerin oluşturulmasında ve makalenin yazımında görev almıştır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 5. Kaynaklar

- Birnbaum, Z.W., 1969. On the importance of different components in a multicomponent system. Editor: Krishnaiah PR. in Multivariate Analysis II, Academic Press, 581-592.
- Canpolat, F.M., 2019. Genelleştirilmiş n-den k-çıkışlı F sistemlerin güvenilirlik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, 55.
- Chiang, D.T. and Niu, S.C., 1981. Reliability of consecutive k-out-of-n F system. *IEEE Transactions on Reliability*, **30**, 87-89.
- Cui, L. and Xie, M., 2005. On a generalized k-out-of-n system and its reliability. *International Journal of Systems Science*, **36**, 267-274.

- Derman, C., Lieberman, G.J. and Ross, S.M., 1982. On the consecutive k-of-n F system. *IEEE Transactions on Reliability*, **31**, 57-63.
- Eryılmaz, S., 2007. On the lifetime distribution of consecutive k-out-of-n:F system. *IEEE Transactions on Reliability*, **56**, 35-39.
- Eryılmaz, S., 2009. Reliability properties of consecutive k-out-of-n systems of arbitrarily dependent components. *Reliability Engineering & System Safety*, **94**, 350-356.
- Eryılmaz, S., 2010. Conditional lifetimes of consecutive k-out-of-n systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **59**, 178-182.
- Eryılmaz, S., 2011. Dynamic behavior of k-out-of-n:G systems. *Operations Research Letters*, **39**, 155-159.
- Eryılmaz, S., Kan, C. and Akıcı, F., 2009. Consecutive k-within-m-out-of-n:F system with exchangeable components. *Naval Research Logistics*, **56**, 503-510.
- Gökdere, G., 2017. Tamir edilebilir ardışık n'den 2-çıkışlı F sistemi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **29**, 349-354.
- Gökdere, G. ve Gürcan, M., 2016. Mühendislik uygulamalarında kullanılan ardışık n den k-çıkışlı sistemlerin güvenilirlik analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**, 461-467.
- Gökdere, G. ve Güral, Y., 2018. Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma ve doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı sistemlerin optimizasyonunda uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **7**, 276-283.
- Griffith, W.S., 1986. On consecutive-k-out-of-n failure systems and their generalizations. In A. P. Basu (Ed.), *Reliability and Quality Control*, Elsevier, 157-165.
- Huang, J., 2000. Generalized multi-state k-out-of-n:G systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **49**, 105-111.
- Hwang, F.K., 1986. Simplified reliabilities for consecutive-k-out-of-n system. *SIAM Journal on Algebraic Discrete Methods*, **7**, 258-264.
- Kamalja, K.K., 2014. Birnbaum reliability importance for (n,f,k) and (n,k,f) system. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, **43**, 2406-2418.
- Kamalja, K.K., 2017. Reliability computing method for generalized k-out-of-n system. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **323**, 111-122.

- Kontoleon, J.M., 1980. Reliability determination of a r-successive-out-of-n system. *IEEE Transactions on Reliability*, **29**, 437-437.
- Lambiris, M. and Papastavridis, S., 1985. Exact reliability formulas for linear & circular consecutive k-out-of-n F system. *IEEE Transactions on Reliability*, **34**, 124-126.
- Özbey, F. and Gökdere, G., 2021a. Analysis of Linear Consecutive-2-out-of-n: F Repairable System with Different Failure Rate. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **10**, 91-99.
- Özbey, F. ve Gökdere, G., 2021b. Doğrusal genelleştirilmiş ağırlıklı n-den k-çıkışlı F sistemin güvenilirlik analizi. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, **14**, 1-13.
- Salehi, E.T., Asadi, M. and Eryılmaz, S., 2011. On the mean residual lifetime of consecutive k-out-of-n systems. *Test*, **21**, 93–115.
- Sun, H. and Liao, J., 1990. The reliability of (n, f, k) system. *Acta Electronica Sinica*, **12**, 436-439.
- Tung, S.S., 1982. Combinatorial analysis in determining reliability. *The Annual Reliability & Maintainability Symposium* 262-266.

## Possibility Prediction Of Diabetes Mellitus At Early Stage Via Stacked Ensemble Deep Neural Network

Ahmet Haşim YURTTAKAL<sup>1</sup>, Hatice BAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Afyonkarahisar, Turkey

<sup>2</sup>Yozgat Bozok University, Faculty of Science and Letters, Department of Biology, Yozgat, Turkey

Corresponding author e-mail: ahyurttakal@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5170-6466>

hatice.bas@bozok.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8296-0360>

Received Date: 01.06.2021

Accepted Date: 18.08.2021

### Abstract

Diabetes Mellitus is a chronic metabolic disease caused by the deficiency of insulin action or secretion, or both, one of the hormones that balance the blood glucose level. It is one of the health problems that negatively affect people's quality of life. If diabetes is not detected in the early stages, it can cause serious complications such as heart and renal diseases, retinopathy, stroke, digestive disorders, and amputation. Because of the presence of a long asymptomatic period, early detection of diabetes is not realised usually. For this reason, around 50% of diabetic patients are not received a treatment due to undiagnosed at early stages. This situation results other diseases mentioned above, which diabetes causes. On the other hand, ensemble learning is a machine learning model in which multiple models are trained to solve the same problem and combined to achieve better results. Deep neural networks are one of the machine learning algorithms and they are the multi-layered state of artificial neural networks developed inspired by the information processing method of the human brain. In this study, a stacked ensemble-based deep neural network approach is proposed for diabetes possibility assessment in the early stages. The proposed approach was tested on a dataset of 520 patients. As a result, the proposed method achieved the highest success rate with 99.36% accuracy and 99.19% AUC, although the test percentage was kept higher than the prediction studies conducted on the same dataset.

© Afyon Kocatepe University

### Keywords

Diabetes Mellitus;  
Likelihood prediction;  
Stacked ensemble;  
Deep neural network

## Yığılmış Topluluk Derin Sinir Ağı Aracılığıyla Erken Evrede Diyabet Olasılık Tahmini

### Öz

Diyabet, kan glikoz düzeyini dengeleyen hormonlardan birisi olan insülin etkisinin veya salgılanmasının ya da her ikisinin eksikliğinden kaynaklanan kronik metabolik bir hastalıktır. İnsanların yaşam kalitesini olumsuz etkileyen sağlık sorunlarından biridir. Şeker hastalığı erken evrelerde tespit edilmezse kalp ve böbrekhastalıkları, retinopati, felç, sindirim bozuklukları ve amputasyon gibi ciddi komplikasyonlara neden olabilir. Uzun bir asemptomatik dönemin varlığı nedeniyle, şeker hastalığının erken teşhisi genellikle yapılamamaktadır. Bu nedenle diyabet hastalarının yaklaşık %50'si erken evrede teşhis edilemediği için tedavi alamamaktadır. Bu durum diyabetin neden olduğu yukarıda saydığımız diğer hastalıkları da beraberinde getirir. Öte yandan, toplu öğrenme, aynı sorunu çözmek için birden fazla modelin eğitildiği ve daha iyi sonuçlar elde etmek için birleştirildiği bir makine öğrenimi modelidir. Derin sinir ağları, makine öğrenme algoritmalarından biridir ve insan beyninin bilgi işleme yönteminden esinlenerek geliştirilen yapay sinir ağlarının çok katmanlı halidir. Bu çalışmada, erken aşamalarda diyabet olasılık değerlendirmesi için yığılmış topluluk tabanlı bir derin sinir ağı yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, 520 hastadan oluşan bir veri seti üzerinde test edildi. Sonuç olarak önerilen yöntem, aynı veri seti üzerinde yapılan tahmin çalışmalarına göre test yüzdesi daha yüksek tutulmasına rağmen % 99.36 doğruluk ve % 99.19 AUC ile en yüksek başarı oranını elde etmiştir.

### Anahtar kelimeler

Diyabet; Olasılık tahmini; Yığılmış topluluk; Derin sinir ağları

© Afyon Kocatepe Üniversitesi



### 1. Introduction

Diabetes Mellitus (DM) is a common disease all over the world that causes increased morbidity and mortality(Deshpande *et al.* 2008). According to the International Diabetes Federation (IDF), Diabetes is estimated to be associated with 11.3% of global deaths among people aged 20-79 years. This means that every eight seconds, a patient dies from diabetes (IDF Atlas 2019). There are different types of diabetes (Nair 2007). Type 1 is caused by insulin deficiency as a result of pancreatic  $\beta$ -cell destruction. Type 2 occurs due to insulin resistance in the tissues (Coşansu 2015). In these cases, blood glucose is not carried to the cells and blood glucose level rises above acceptable range. This condition manifests itself with symptoms such as dry mouth, weight loss, drinking too much water and eating too much. Since diabetes invites other diseases such as cardiovascular diseases, hypertension, increase in plasma lipid ratio and fatty liver, early diagnosis is very important. If blood glucose level is not kept under control, it can cause irreversible organ damage on the kidneys, eyes and nervous system, too (Kitabchi *et al.* 2009). However, all these unwanted effects can be prevented by receiving appropriate treatments and changes in lifestyle that keep blood glucose level in balance. And this is only possible with early diagnosis of diabetes.

Correct diagnosis of diseases is a difficult and time-consuming task, even with many years of medical education. In recent years, with the use of artificial intelligence in the field of health, machine learning algorithms are frequently used in the automatic, fast and easy diagnosis of diseases(Davenport 2019). Machine learning is artificial intelligence applications that can automatically learn from a group of data and detect patterns. One of the key advantages of machine learning is its ability to make consistent and high-performance predictions using complex and nonlinear relationships between features (Hastie *et al.* 2009). Machine Learning algorithms have also achieved successful results in the field of health. Some of these studies are as follows. Diagnosing breast cancer (Hu *et al.* 2020),

classifying skin lesions (Jinnai *et al.* 2020), determining diabetic retinopathy (Zhao *et al.* 2020).

Machine learning algorithms have been used to predict diabetes as well as in many diseases. Some of the datasets used in diabetes studies in the literature are Pima Indians Diabetes Database (Smith *et al.* 1988), LARS Diabetes Dataset (Efron *et al.* 2004) and Abel Vikas’s Diabetes Dataset (IntRes. 1).

In this study, the estimation of the probability of diabetes was carried out in the early stages. In the classification stage, a stack ensemble model using 2 Deep Neural Networks (DNN) in the base learner stage and a different DNN in the Meta Learner stage was proposed. The recommended method achieved the highest success rate with 99% accuracy and 99% AUC, according to the studies on the same dataset.

### 2. Material and Methods

#### 2.1 Dataset

The dataset used in the study was created by a direct questionnaire with people with suspected diabetes at Sylhet Sylhet Diabetes Hospital in Bangladesh (Islam *et al.* 2020). This dataset has been posted publicly on the UCI Machine Learning Repository (Dua and Graff 2019). There are 200 negative classes and 320 positive classes in the dataset. Figure1 shows the numbers of the dataset consisting of 520 patients according to their class numbers.

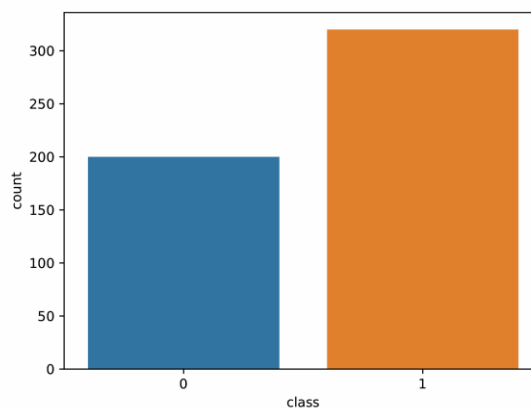


Figure 1. Count plot of dataset

In the class information, a positive status means that the patient has diabetes, while a negative status means that there is no diabetes. Table 1 shows the values of a dataset consisting of a total of 16 features, including age, gender, and 14 different symptom data.

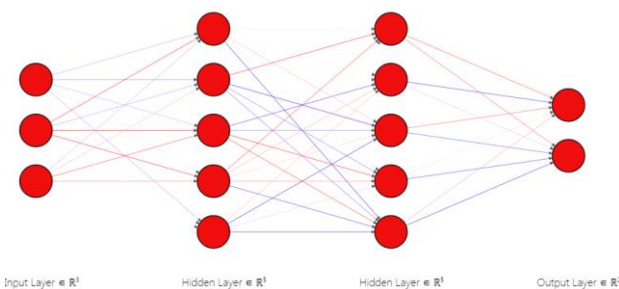
**Table 1.** Values of features (Islam *et al.* 2020)

Features	Values
Age	1.20–35, 2.36–45, 3.46–55, 4.56–65, 5.65+
Sex	1.Male, 2.Female
Polyuria	1.Yes, 2.No.
Polydipsia	1.Yes, 2.No.
Sudden weight loss	1.Yes, 2.No.
Weakness	1.Yes, 2.No.
Polyphagia	1.Yes, 2.No.
Genital thrush	1.Yes, 2.No.
Visual blurring	1.Yes, 2.No.
Itching	1.Yes, 2.No.
Irritability	1.Yes, 2.No.
Delayed healing	1.Yes, 2.No.
Partial paresis	1.Yes, 2.No.
Muscle stiffness	1.Yes, 2.No.
Alopecia	1.Yes, 2.No.
Obesity	1.Yes, 2.No.
Class	1.Positive, 2.Negative.

Age feature categorized under 5 different situations. All other features consist of 2 separate situations. In the status information, "Yes" means the symptom is present, and "No" means that there is no symptom.

**2.2 Proposed Model**

Deep Neural Networks are multi-layered versions of Artificial Neural Networks (ANN), which are inspired by the information processing method of the human brain (Awad and Khanna 2015). In the Figure 2, an example ANN is given with an input layer, two hidden layers and an output layer.



**Figure 2.** Sample ANN structure

The results produced by the network are taken from the output layer by processing the net input obtained as a result of adding the products of the information entered into the network with their own weights (W) with an activation function. Since the single layer perceptron, which was first developed and evaluated as the most primitive ANN, is not sufficient for the solution of nonlinear problems, multi-layer perceptron has been developed (Nelles 2020).

Ensemble learning is a artificial intelligence approach in which multiple machine learning algorithms are trained and combined to solve the same problem. The main idea is to reduce the variance by combining several such weak learners to create a strong learner with better performances. The most used ensemble learning approaches are bagging, boosting and stacking (Zhou 2009). The stacking ensemble unites heterogeneous weak learners by training them in a meta model (Wolpert 1992). In the study, multiple strong DNN networks in the weak learner stage were combined with another strong DNN network in the meta learner stage. This approach has been found to increase the performance of the model to a certain depth.

**2.3 Evaluation Metrics**

In order to evaluate the performance of the classification models used in machine learning, the error matrix, in which the predictions and actual values of the target attribute are compared, is frequently used. Figure 3 shows confusion matrix structure.

		Predicted labels	
		Negative (N)	Positive (P)
True labels	Negative (N)	TN	FP
	Positive (P)	FN	TP

**Figure 3.** Confusion matrix

Classification estimates have one of four evaluations called TN, TP, FN and FP. The formulas of the metrics used in the evaluation are given in the following equations (1-5).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \tag{1}$$

$$Specificity = \frac{TN}{FP+TN} \tag{2}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{3}$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{P+N} \tag{4}$$

$$F1\ Score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN} \tag{5}$$

### 3. Experimental Results

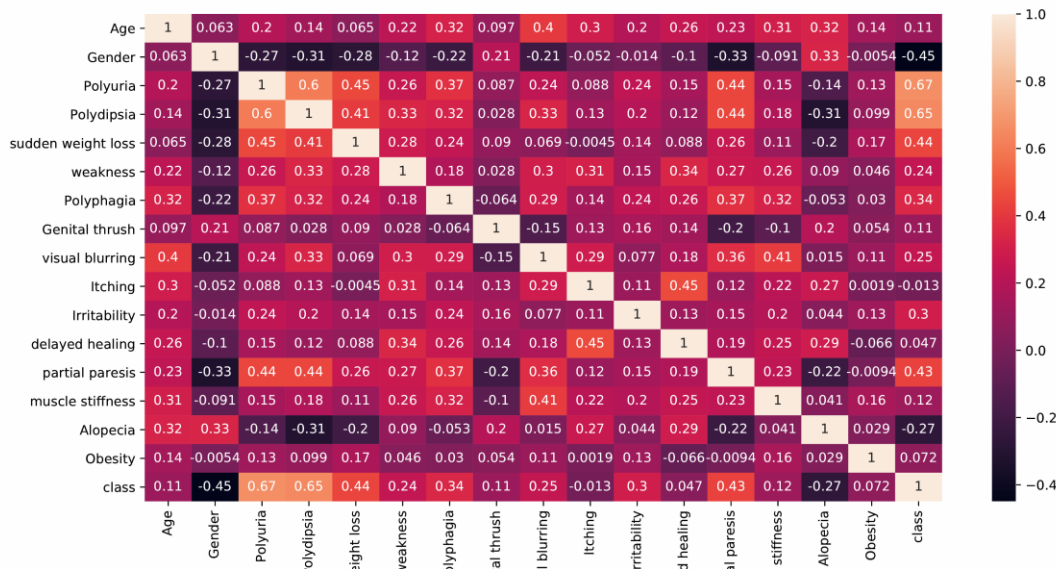
In order to prevent overfitting in training phase, the dataset is divided into two parts, 70% of which is training set and 30% test set, just before the

training. In this way, the data in the test set were not used in the training phase.

**Table 2.** Training and test set

Class	Training Set	Test Set	Total
Positive	226	94	320
Negative	138	62	200
<b>Total</b>	<b>364</b>	<b>156</b>	<b>520</b>

Correlation indicates the direction and strength of the linear relationship between two random variables in probability theory and statistics. The values of two variables with positive correlation increase or decrease together. While the value of one of the two variables with negative correlation increases, the value of the other decreases (Godfrey 1980). In Figure 4, the correlation between features was examined. According to the figure, there was a positive correlation between polyuria and polydipsia.



**Figure 4.** Correlation matrix

The number of trainable parameters of a DNN used in the study was 725 and its structure was given in Table 3.

**Table 3.** A DNN structure

Layer	Output Shape	Param
dense (Dense)	(None, 25)	425
dense_1 (Dense)	(None, 10)	260
dense_2 (Dense)	(None, 5)	55
dense_3 (Dense)	(None, 2)	12

The output layers of the two DNNs were first combined in the layer with the activation function ReLu, the output shape value of 10. Then the model was terminated to the output layer. The structure of the entire model was given in Table 4.

**Table 4.** Proposed stacked ensemble model complexity

Layer	Output Shape	Param	Connected to
dense_input (InputLayer)	[(None, 16)]	0	
dense_4_input	[(None, 10)]	0	

(InputLayer)	16))		
ensemble_1_dense (Dense)	(None, 25)	425	dense_input[0][0]
ensemble_2_dense_4 (Dense)	(None, 25)	425	dense_4_input[0][0]
ensemble_1_dense_1 (Dense)	(None, 10)	260	ensemble_1_dense[0][0]
ensemble_2_dense_5 (Dense)	(None, 10)	260	ensemble_2_dense_4[0][0]
ensemble_1_dense_2 (Dense)	(None, 5)	55	ensemble_1_dense_1[0][0]
ensemble_2_dense_6 (Dense)	(None, 5)	55	ensemble_2_dense_5[0][0]
ensemble_1_dense_3 (Dense)	(None, 2)	12	ensemble_1_dense_2[0][0]
ensemble_2_dense_7 (Dense)	(None, 2)	12	ensemble_2_dense_6[0][0]
concatenate (Concatenate)	(None, 4)	0	ensemble_1_dense_3[0][0] ensemble_2_dense_7[0][0]
dense_8 (Dense)	(None, 10)	50	concatenate[0][0]
dense_9 (Dense)	(None, 2)	22	dense_8[0][0]

The model had a total of 1576 parameters, including 72 Trainable params and 1.504 non-trainable params. The graph of the model was given in Figure 5.

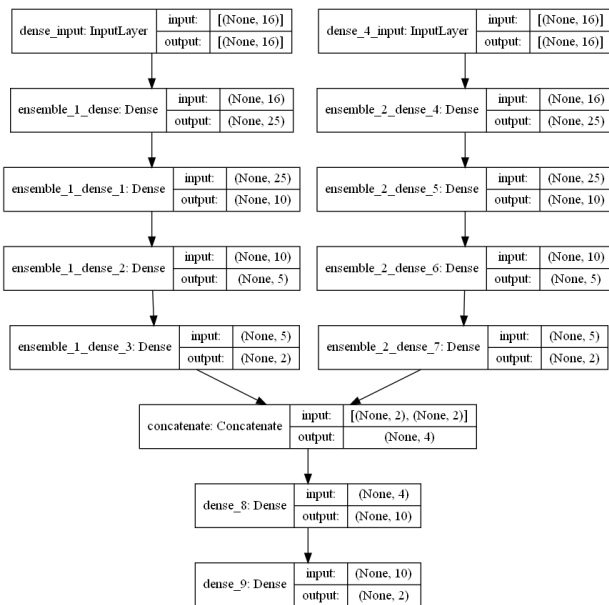


Figure 5. Proposed stacked ensemble model

Among the hyper parameters of the model, Adam was used as the optimizer, ReLu was used as the activation function in the hidden layers, and SoftMax was used as the activation function in the output layers. Figure 6 shows the accuracy value in training and test groups for 300 epochs. According to the figure, there was no overfitting during the training.

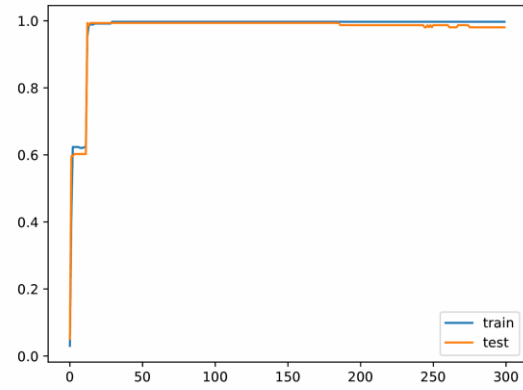


Figure 6. Training process

The success of the model was evaluated with a confusion matrix. The confusion matrix of the test set is given in Figure 7. According to the figure, out of 156 patients who were encountered for the first time after the training, the condition of 155 was estimated correctly, and only 1 patient was classified incorrectly.

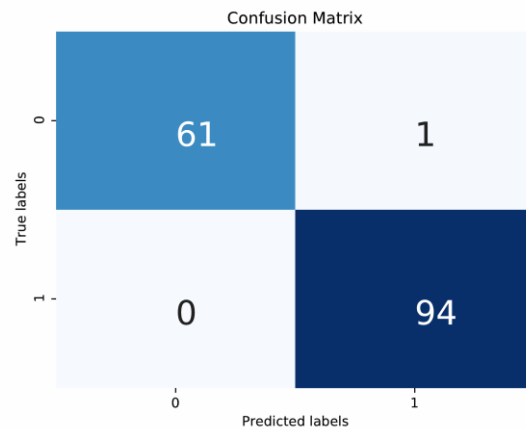


Figure 7. Confusion Matrix

One of the two DNN models had an accuracy of 0.974, while the second had an accuracy of 0.987. In Table 5, The values of the accuracy, precision, sensitivity, F1 measurement values of the stacked ensemble model created by combining the two DNN models were 0.993, 0.989, 1.000 and 0.995, respectively.

Table 5. Performance metrics

Measure	Value
Sensitivity	1.0000
Specificity	0.9839
Precision	0.9895
Accuracy	0.9936
F1 Score	0.9947

Another criterion that explains how well the model is at predicting is the ROC curve. Figure 8 shows ROC Curve. The AUC (Area Under Curve) value of the model is 0.9919.

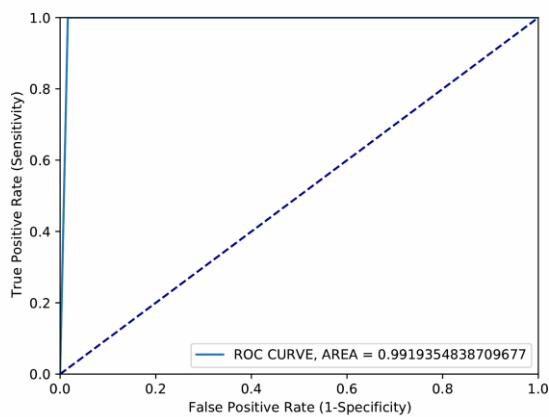


Figure 8. ROC Curve

In the proposed stacked ensemble model, attempts were made to combine 2, 3, 4, 5 DNNs, respectively. The most successful result was achieved in the combination of 2 DNNs. The values obtained in other trials are given in the Table 6.

Table 6. Other obtained values

DNNs	DNNs Acc	Number of Params	Accuracy	AUC Value
2	1.DNN Acc 0.974	1,576	0.99	0.99
	2.DNN Acc 0.987			
3	1.DNN Acc 0.936	2,348	0.98	0.98
	2.DNN Acc 0.962			
	3.DNN Acc 0.981			
4	1.DNN Acc 0.981	3,120	0.98	0.98
	2.DNN Acc 0.955			
	3.DNN Acc 0.968			
	4.DNN Acc 0.955			
5	1.DNN Acc 0.936	3,892	0.97	0.97
	2.DNN Acc 0.981			
	3.DNN Acc 0.929			
	4.DNN Acc 0.981			
	5.DNN Acc 0.974			

The accuracy values obtained with 10 fold cross validation of the proposed algorithm were given in Table 7.

Table 7. Cross Validation Results

	Loss	Accuracy (%)
Fold 1	0.016	99.423
Fold 2	0.018	99.230
Fold 3	0.010	99.807
Fold 4	0.028	98.846
Fold 5	0.015	99.615
Fold 6	0.105	96.538
Fold 7	0.032	99.230
Fold 8	0.047	98.269
Fold 9	0.019	99.423
Fold 10	0.081	96.730
Average	0.037	98.711

#### 4. Discussion and Conclusion

Diagnosing diabetes in the early stages is very important in determining the treatment processes. The use of machine learning algorithms at this stage has played an important role in the early diagnosis of diabetes.

Islam *et al.* (2019) developed an early stage diabetes diagnosis system with 16 features they determined on 520 patients, which are also used in this study. They used Naive Bayes (NB), Logistic Regression (LR), J48 and Random Forest (RF) algorithms in the classification stage and evaluated the accuracy of the model with 10k cross validation and percentage split (80:20). They obtained the highest success rate with RF in percentage split verification with 99% accuracy. Hossain *et al.* (2020) proved that ignoring a specific symptom of the rule-based ontology plan in their proposed system could affect the performance of classifiers Özer (2020) achieved an average F1 score of 98.9% as a result of 10-fold cross validation with the Long Short Term Memory (LSTM) network. The accuracy value was 98.65%. Alpan and İlgi (2020) compared the performance of 7 different machine learning algorithms using X Weka. It achieved the highest accuracy rate in K-Nearest Neighbors(K-NN) algorithm with 98.07% accuracy. Le *et al.* (2021) proposed a new meta-heuristic model named Adaptive Particle - Grey Wolf Optimizer to optimize Multilayer Perceptron (APGWO-MLP). They achieved 97% accuracy with percentage split (80:20) as a success rate.

In this study, stacked ensembles were used in prediction of diabetes at early stage. A comparison of the literature with studies using the same dataset was given in Table 8.

Table 8. Literature comparison

Study	Method	Accuracy	
		10k Cross Validation	Percentage Split
Islam et al.	RF	97.4%	%99 (80:20)
Özer	LSTM	98.65	-
Le et. al	APGWO-MLP	-	97% (80:20)
Alpan and İlgi	K-NN	98.07%	-
<b>This study</b>	<b>Stacked DNN</b>	<b>98.71%</b>	<b>99.36% (70:30)</b>

According to the results obtained, the proposed method reached 98.71% accuracy with 10 fold

cross validation. It also showed higher performance with an accuracy rate of 99.36%, although the percentage split (70:30) ratio was kept higher compared to the studies conducted on the same dataset. To our knowledge, this is the successful result obtained on the dataset. Only 1 of 156 patients allocated for testing were misclassified. Evaluating that patient as False Positive is also important in terms of health. As a result, the proposed method supports the use of artificial intelligence in the medical field. It helps physicians in the early diagnosis of diabetes quickly and accurately, independent of the user.

### Acknowledgment

We thank the M. M. Faniqul Islam, Rahatara Ferdousi, Sadikur Rahman and Humayra Yasmin Bushra for their valuable contribution to the execution of the study by providing the dataset free of charge.

### 5. References

- Alpan, K., and İlgi, G. S. 2020. Classification of Diabetes Dataset with Data Mining Techniques by Using WEKA Approach. 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), IEEE, 1-7.
- Awad M., Khanna R., 2015. Deep Neural Networks. Efficient Learning Machines. Apress, Berkeley, 127-147.
- Coşansu, G., 2015. Diyabet: Küresel bir salgın hastalık. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, **31(ek sayı)**, 1-6.
- Davenport, T., and Kalakota, R. 2019. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future healthcare journal*, **6(2)**, 94-98.
- Deshpande, A. D., Harris-Hayes, M., and Schootman, M. (2008). Epidemiology of diabetes and diabetes-related complications. *Physical therapy*, **88(11)**, 1254-1264.
- Dua, D. and Graff, C., 2019. UCI Machine Learning Repository [http://archive.ics.uci.edu/ml]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I., and Tibshirani, R. 2004. Least angle regression. *Annals of statistics*, **32(2)**, 407-499.
- Federation, International Diabetes, 2019. IDF diabetes atlas. ninth edition, *Dunia: IDF*, 1-168.
- Godfrey, K. R., 1980. Correlation methods. *Automatica*, **16(5)**, 527-534.
- Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J., 2009. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction, Springer, 1-764.
- Hossain, M. A., Ferdousi, R., and Alhamid, M. F. 2020. Knowledge-driven machine learning based framework for early-stage disease risk prediction in edge environment. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, **146**, 25-34.
- Hu, Q., Whitney, H. M., and Giger, M. L. 2020. A deep learning methodology for improved breast cancer diagnosis using multiparametric MRI. *Scientific reports*, **10(1)**, 1-11.
- Islam, M. F., Ferdousi, R., Rahman, S., and Bushra, H. Y., 2020. Likelihood prediction of diabetes at early stage using data mining techniques. In Computer Vision and Machine Intelligence in Medical Image Analysis, Springer, 113-125.
- Jinnai, S., Yamazaki, N., Hirano, Y., Sugawara, Y., Ohe, Y., and Hamamoto, R. 2020. The development of a skin cancer classification system for pigmented skin lesions using deep learning. *Biomolecules*, **10(8)**, 1123, 1-13.
- Kitabchi, A. E., Umpierrez, G.E., Miles, J.M., and Fisher, J.N., 2009. Hyperglycemic crises in adult patients with diabetes. *Diabetes care*, **32(7)**, 1335-1343.
- Le, T. M., Vo, T. M., Pham, T. N., & Dao, S. V. T. 2021. A Novel Wrapper-Based Feature Selection for Early Diabetes Prediction Enhanced With a Metaheuristic. *IEEE Access*, **9**, 7869-7884.
- Nair, M., 2007. Diabetes mellitus, part 1: physiology and complications. *British journal of nursing*, **16(3)**, 184-188.
- Nelles O., 2020 Neural Networks. Nonlinear System Identification. Springer, Cham. 239-297.
- Özer, İ., 2020 Uzun Kısa Dönem Bellek Ağlarını Kullanarak Erken Aşama Diyabet Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, **2(2)**, 50-57.
- Smith, J. W., Everhart, J. E., Dickson, W. C., Knowler, W. C., and Johannes, R. S., 1988. Using the ADAP learning algorithm to forecast the onset of diabetes mellitus. *Proceedings of the annual symposium on*

*computer application in medical care*, American Medical Informatics Association, 261-265.

Wolpert, D. H. 1992. Stacked generalization. *Neural networks*, **5(2)**, 241-259.

Zhao, L., Ren, H., Zhang, J., Cao, Y., Wang, Y., Meng, D., Wu, Y., Zhang, R., Zou, Y., Xu, H., Li, L., Zhang, J., Cooper, M.E., Tong, N., Liu, F., 2020. Diabetic retinopathy, classified using the lesion-aware deep learning system, predicts diabetic end-stage renal disease in Chinese patients. *Endocrine Practice*, **26(4)**, 429-443.

Zhou Z.H., 2009. Ensemble Learning, Li S.Z., Jain A. (eds) *Encyclopedia of Biometrics*. Springer, Boston, 411-416.

#### **Internet Resources**

1-<https://data.world/abelvikas/diabetes-type-dataset>(30.05.2021)



## DsPic33fj32mc204 Mikroişlemci Tabanlı Hall Sensörlü Fırçasız Doğru Akım Motor Sürücüsü Tasarımı ve Proteus Simülasyon Uygulaması

Tolga ÖZER<sup>1</sup>, Sinan KIVRAK<sup>2</sup>, Yüksel OĞUZ<sup>1</sup>, Muhammed Mustafa KELEK<sup>1</sup>, Abdussamet KARACA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara.

\*Sorumlu yazar e-posta: [tolgaozer@aku.edu.tr](mailto:tolgaozer@aku.edu.tr),

[sinan.kivrak@hotmail.com](mailto:sinan.kivrak@hotmail.com)

[yukseloguz@aku.edu.tr](mailto:yukseloguz@aku.edu.tr),

[mmustafakelek@aku.edu.tr](mailto:mmustafakelek@aku.edu.tr),

[abdussametkaraca@gmail.com](mailto:abdussametkaraca@gmail.com)

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7607-6894>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5195-0311>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5233-151X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9915-4776>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9607-5573>

Geliş Tarihi: 02.03.2021

Kabul Tarihi: 08.08.2021

### Öz

Bu çalışmada Hall sensörlü fırçasız doğru akım motorlarda kullanılacak, dsPic33fj32mc204 tabanlı bir motor sürücü sistemi tasarlanmış ve simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sürücü devresinde, IR2112 tip sürücü entegreleri kullanılarak üç fazlı sürücü devresinde bulunan MOSFET'lerin anahtarlamaları gerçekleştirilmiştir. Proteus programı kullanılarak, tasarlanan fırçasız doğru akım motor sürücü devresinin simülasyonu başarılı bir şekilde yapılmıştır. Motor kontrol sürücü sistemi, piyasada rahat bir şekilde bulunabilecek tipte devre elemanları ile oluşturulmuştur. Bu sayede sürücü devresi kolaylıkla ve ekonomik olarak uygulanabilme özelliklerine sahiptir. Gerçekleştirilen simülasyon uygulaması sayesinde farklı sürücü sistemlerinin geliştirilmesine imkân sağlayacak olan DsPic mikrodenetleyici tabanlı bir sürücü sistemi oluşturulmuştur. Üç fazlı fırçasız doğru akım motorunun kontrol sinyalleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Sürücü sisteminden elde edilen çıkış sinyalleri ayrıntılı bir şekilde yorumlanmıştır.

### Anahtar kelimeler

FDAM Sürücü; DsPic Mikrodenetleyici; Kontrol; Proteus.

## DsPic33fj32mc204 Microprocessor Based Hall Sensor Brushless Direct Current Motor Driver Design and Proteus Simulation Application

### Abstract

In this study, a dsPic33fj32mc204 based motor drive system, which can be used in brushless DC motors with Hall sensors, was designed and implemented in a simulation environment. In the driver circuit realized, switching of the MOSFETs in the three-phase driver circuit was performed using IR2112 type driver circuits. Simulation of the designed brushless direct current motor driver circuit has been successfully performed using the Proteus program. The motor control driver system is created with circuit elements of a type that can be conveniently found on the market. In this way, the driver circuit has the features to be applied easily and economically. A DsPic microcontroller based driver system has been created which will allow the development of different drive systems thanks to the simulation application. The control signals of the three-phase brushless direct current motor have been successfully obtained. Output signals from the drive system are interpreted in detail.

### Keywords

BLDC Driver; DsPic Microcontroller; Control; Proteus.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Endüstriyel yapılar veya sistemler mekanik tabanlı alt sistemlerden meydana gelmektedirler. Mekanik bir sistemde hareket özelliği ancak bir motorun o

sistemi hareket ettirmesi ile mümkündür. Bu sistemlerde genellikle elektrikli tip motorlar tercih edilmektedir. Mekanik sistemlerde farklı tipteki elektrikli motorların kullanıldığını görmek



mümkündür. Motorun kullanıldığı ortam başta olmak üzere motorun gücü, hassasiyeti ve hızına göre kullanılan motor tipi değişebilmektedir (Güneri, 2015). Teknolojinin gelişmesi ile birlikte birçok motor türü mevcut olup pek çok farklı alanda farklı türde motorlar kullanılmaktadırlar. Son yıllarda kullanımı gittikçe yaygınlaşan elektrik motorlarından biri de fırçasız doğru akım motorlarıdır (FDAM). Pek çok farklı alanda kullanılması ile birlikte özellikle robotik ve havacılık sektörlerinde yaşanan gelişmelerden sonra bu motor türüne olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ancak maliyetlerinin yüksek ve kontrol devrelerinin karmaşık olması gibi dezavantajlarından dolayı uygulamalarda kullanım oranları istenilen seviyelerde olmadığı söylenebilir (Karakulak et. al. 2012, Yedamale, 2003).

FDAM'lar kendi içerisinde sensörlü ve sensörsüz olarak iki gruba ayrılmaktadır. Uygulamalarda her iki motor türünü de görmek mümkündür. Ancak kontrol kolaylığı ve konum doğruluğu açısından sensörlü FDAM'lar farklı uygulamalarda daha fazla tercih edildiği görülmektedir (Tatar, 2017). FDAM'ların istenilen kullanım oranına ulaşamamasındaki nedenlerin başında motorun hareket edebilmesi için ihtiyaç duyduğu kontrol sistemlerinin elektronik devre ve yazılım bileşenlerinin karmaşıklığıdır (Tetik, 2019). Çünkü motorun sorunsuz dönebilmesi ancak tasarlanan kontrol devresi ile birlikte mikroişlemciye uygulanan yazılımın doğru bir şekilde çalışması ile mümkündür. Bu iki bileşenin de düzgün bir biçimde çalışması ancak sistemin ya gerçek zamanlı olarak test edilmesi ya da simülasyon ortamında test edilmesi ile mümkündür (Hasanusta, 2016). Ancak piyasada bulunan pek çok simülasyon programında sistemin elektronik birimi test edilebilmesine karşın mikroişlemcinin bulunduğu kontrol biriminin simülasyonu gerçekleştirilememektedir. Böyle olunca da mevcut sistemlere uygulanacak yazılım ancak gerçek zamanlı olarak deneme yanılma yöntemi ile test edilebilmektedir. Bu durumda hem yapılan işi zorlaştırmakta hem de zaman kaybını arttırmaktadır (Sudip, 2017). Ancak Proteus simülasyon programı ile hem güç katı hem de kontrol birimi birlikte simüle edilebilmektedir. Böylelikle tasarlanan ve gerçek zamanlı uygulanacak

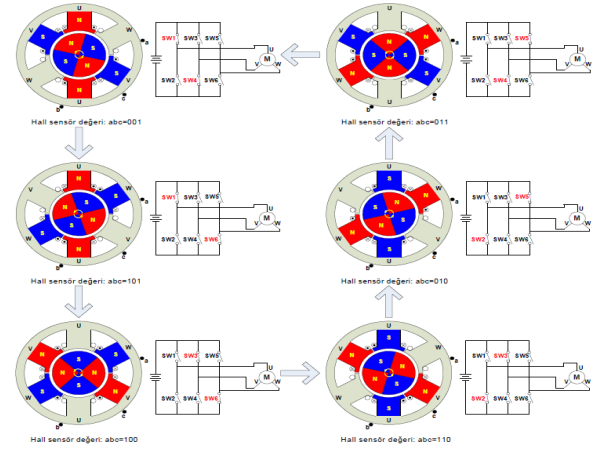
olan sistemlerin elektronik devre ve mikroişlemci birimlerinin uygulanan yazılım neticesinde birlikte çalışıp veya çalışmadığı kolaylıkla test edilebilmektedir. Bu sayede sistemin gerçek zamanlı devresinin ideal bir şekilde tasarımı mümkün olmakta ve sisteme uygulanan yazılım üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak elektronik bir sistem tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellik gerek akademik gerekse endüstriyel olarak gerçek zamanlı elektronik sistemlere yönelik yapılan çalışmalarda oldukça önem arz etmektedir (Su et. al. 2010, Zhou et. al. 2009). Proteus programı kullanılarak literatürde FDAM kontrolü tabanlı farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde kontrol ve sürücü devrelerinin Proteus programında tasarlanarak simülasyonlarının gerçekleştirildiği görülmektedir. Genellikle çalışmalarda PIC16F ve PIC18F serisi mikroişlemciler tercih edilmiş olup bu tip mikroişlemci serileri kullanılarak kontrol sistemleri oluşturulmuştur (Mukherjee et. al. 2014, Nasrul et. al. 2011, Mukherjee et. al. 2018, Aslam et. al. 2016). Çalışmalarda kullanılan bu tür mikroişlemci türleri ucuz olmasından kaynaklı olarak tercih edilmektedir. Elektronik sistemlerde mümkün olduğunca maliyetin düşük olması istenilen bir özelliktir. Ancak bazı yüksek güçlü ve profesyonel uygulamalarda maliyetin ötesinde sistemin sağlamlığı ve sürekliliği daha çok önem kazanmaktadır. Bu tarz üç fazlı motor kontrol uygulamalarında daha hızlı ve donanımlı DsPic serisi mikroişlemciler sıklıkla tercih edilmektedir (Zambada, 2010). DsPic mikroişlemci tabanlı çalışmalar incelendiğinde genellikle motor kontrol sisteminin simülasyonu yapılmadan doğrudan uygulamasının gerçekleştirildiği çalışmalar olduğu görülmektedir (Maher et. al. 2009, Sheeba et. al. 2011). Bu şekilde yapılan çalışmalarda simülasyon olmadığı için çok daha fazla hata ile karşılaşmakta ve zaman kaybını oldukça arttırmaktadır. Bazı çalışmalarda ise simülasyon için Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur (Aspalli et. al. 2015, Sharma et. al. 2016). Bu çalışmalarda ise güç devresinin yaklaşık olarak nasıl bir çıkış sinyali vereceği anlaşılabilse de mikroişlemci tabanlı bir simülasyon ortamı olmadığı için yazılım açısından meydana gelen hatalar ve yanlışlar saptanamamaktadır. Bu durum da mikroişlemci

programlama kısmında işlerin yavaş ilerlemesine ve sorunların yaşanmasına neden olabilmektedir. Yaşanabilecek bu problemleri elimine edebilmesi açısından motor kontrol sisteminin mikroişlemci ile birlikte simülasyonun yapılabildiği bir ortam olan Proteus programı oldukça önemli bir eksikliği gidermektedir. Gerçekleştirilen literatür araştırmasında Proteus programı kullanılarak DsPic serisi mikroişlemci tabanlı bir FDAM motor kontrol sisteminin simülasyon uygulamasına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada DsPic33fj32mc204 tip mikroişlemcisi tercih edilmiştir. Hall etki sensörlü bir FDAM'un kontrolünü sağlayabilecek bir sürücü sistemi tasarlanmış ve oluşturulan FDAM sürücü yazılımı mikroişlemci devresine uygulanmıştır. Motorun üç faz PWM kontrol sinyallerinin üretilmesi işlemi ve sistemin kontrolü DsPic33fj32mc204 mikroişlemcisi ile gerçekleştirilmiştir. Bu mikroişlemci tarafından üretilen PWM kontrol sinyalleri öncelikle IR2112 MOSFET sürücülerine ve bu sürücülerin çıkışlarından ise MOSFET'lerden oluşan üç fazlı H köprü sürücü devresine uygulanmıştır. Oluşturulan kontrol senaryosuna göre FDAM'ın çalıştırılması gerçekleştirilmiş ve sürücü giriş ve çıkışından elde edilen kontrol ve faz sinyalleri yorumlanarak motor sürücü sistemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

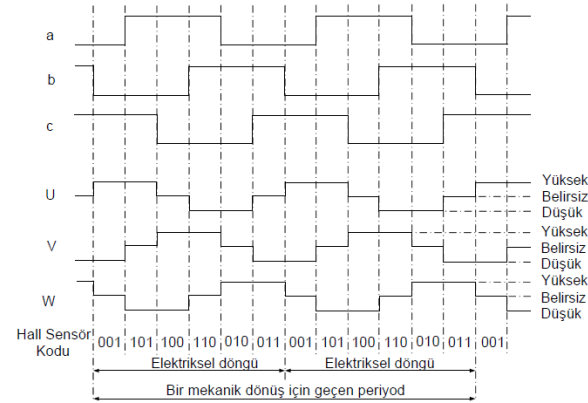
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Sensörlü FDAM'nın İç Yapısı ve Kontrolü

FDAM'lar yapı itibari ile incelendiğinde Alternatif Akım Senkron Motorlara benzediği görülmektedir. Bu tip motorların çalışma karakteristikleri incelendiğinde ise fırçalı DC motorların özelliklerine sahip oldukları anlaşılmaktadır. FDAM'larda komütasyon işlemi klasik DC motorlardaki gibi mekanik olarak değil, elektronik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu tip motorlarda klasik fırçalı DC motor sisteminde bulunan fırça kollektör sisteminin yerini elektronik kontrol sistemi ile rotorunun konumu hakkında bilgi veren sensörler almıştır. FDAM'lar temel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sabit mıknatıslardan oluşturulmuş olan rotor, rotorun konumunu belirleyen Hall konum sensörleri ve statoru oluşturan sargılardır (Güneri, 2015).



Şekil 1 FDAM'ın bir periyotluk dönme süresince aktif olan anahtarlar (Zhao et. al. 2014)



Şekil 2 Sensörlerin çıkış durumlarına göre elde edilen faz çıkış gerilimleri (Zhao et. al. 2014)

Şekil 1'de üç fazlı BLDC motor sürücü devresinin saatin tersi yönünde dönüş işlemi için komütasyon sırası gösterilmektedir. Yıldız bağlı olan motor sargılarına "a," "b" ve "c" olarak isimlendirilen üç Hall sensörü stator üzerine 120° aralıklarla monte edilmiştir. Her 60° dönüşte Hall sensörlerinden biri durumunu değiştirmektedir. Bu nedenle motorun bir tam tur dönmesi altı adımda gerçekleştirilir. Senkron modda, faz akımı anahtarlaması her 60° 'de bir güncellenir. Her bir adım esnasında motor sargılarından birincisi 1, ikincisi 0 iken üçüncü sargı ise belirsiz modda yani ne 1 ne de 0'dır. Bir sinyal döngüsü tam bir mekanik devire karşılık gelmeyebilir. Mekanik bir dönüşü tamamlamak için sinyal çevrimlerinin sayısı, rotor kutup çiftlerinin sayısı ile belirlenir. Mekanik dönme işleminin tamamlanması için gerekli olan sinyal saykıl miktarı rotor kutup çiftleri tarafından belirlenir. Böylece, sinyal saykılının sayısı rotor kutup çiftlerinin sayısına eşittir. Şekilde altı kutuptan oluşan bir sistem sürücü devresindeki altı farklı anahtarlamaya

durumunun neticesinde bir tam turu tamamlamış olur. Şekilde aynı zamanda hangi anahtarlama elemanlarının iletme olması gerektiği kırmızı renkler ile belirtilmektedir. Hall sensörlerinin değerleri sadece rotorun konumuna yönelik bilgi verir ve bu sensörlerin değerinin rotorun anahtarlama sırası olduğuna yönelik bir düşünce doğru değildir. Yani motorun saat yönünün tersine dönmesi isteniyorsa 001, 101, 100, 110, 010, 011 saat yönünde dönmesi isteniyor ise de 011, 010, 110, 100, 101, 001 sensör konumları sırası ile dikkate alınmalıdır. Bu konumlarda, sürücü devresinde bulunan MOSFET anahtarlarının hangilerinin iletimde olması gerektiği belirlenir. Kontrol sisteminin, sürücü devresindeki bu MOSFET anahtarları iletme sokacak şekilde kontrol sinyali üretmesi sağlanır.

U, V, W olarak belirtilen faz sargılarının Hall sensörü olarak belirtilen a, b ve c sensörlerine göre enerjilendirildiği Şekil 2’de görülmektedir. Bu durum motorun saat yönünün tersine döndüğü esnada Hall sensörlerinin birbirlerine göre 120° faz farkına sahip olduklarının göstergesidir.

## 2.2 FDAM Sürücü Devresinin Tasarımı

Motor sürücü devresi temel olarak üç alt devreden oluşmaktadır. Bu devreler sırasıyla besleme, kontrol ve 3 fazlı anahtarlama devrelerinin bulunduğu devrelerdir.

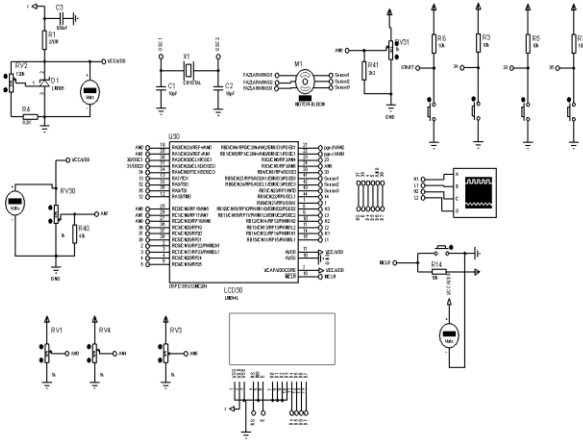
### 2.2.1 Besleme Devresi

Besleme devresi genellikle FDAM’ın kullanıldıkları sistemlere göre şekillenen birimlerdir. Tasarlanan sürücü devresinin giriş gerilimi tasarlanan sisteme göre farklılıklar göstermektedir. Ayrıca sürücü kartının giriş gerilimi ihtiyaç duyulan farklı gerilim seviyelerine düşürülerek kontrol ve sürücü devresinde bulunan elektronik devre elemanlarının beslemesinde de kullanılabilir. Mesela bataryadan beslenerek çalışan bir sistemde bataryadan elde edilecek çıkış gerilimine göre sürücünün besleme gerilimi girişi ve motorun çalışma gerilimi belirlenir. Kontrol kartında bulunan mikroişlemci, LCD, MOSFET sürücüler, MOSFET’lerin Gate pinleri ve farklı elektronik devre elemanları giriş geriliminin düşürülmesi ile elde edilecek farklı gerilim seviyeleri ile beslenir. Ancak simülasyonlarda yapılan devre

tasarımlarda ise böyle bir zorunluluk bulunmamaktadır çünkü besleme gerilimi simülasyonda istenilen seviyeye rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Gerçekleştirilen sistemde giriş gerilimi 24V olarak belirlenmiş olup mikroişlemcinin beslemesi için 3.3V, LCD ekranın ve IR2112 sürücü entegrelerinin beslemesi için 5V, MOSFET Gate pinlerinin tetiklenmeleri için ise 15V değerindeki farklı gerilim seviyeleri devre elemanlarına uygulanmıştır.

### 2.2.2 Kontrol Devresi

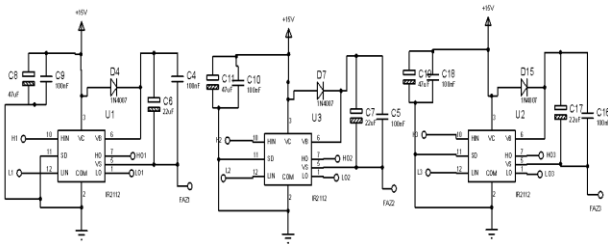
DsPic33fj32mc204 tip mikroişlemcisi kullanılarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemcinin en önemli özelliği mikroişlemcide Motor Kontrol biriminin bulunmasıdır. Bu birim sayesinde üç fazlı motorlara yönelik kontrol işlemleri gerçekleştirilerek istenilen PWM sinyalleri rahatlıkla üretilebilmektedir. Mikroişlemcide PWM1H, PWM1L, PWM2H, PWM2L, PWM3H, PWM3L olmak üzere üç fazlı kontrol uygulamaları için kullanılacak PWM çıkışları mevcuttur. Sürücünün High Side ve Low Side kısımlarının kontrolü bu çıkışlardan elde edilen sinyaller ile gerçekleştirilebilmektedir. PWM1H sinyali High Side için PWM1L ise Low Side için elde edilen sinyali ifade eder. Kontrol mantığında oluşturulan sisteme göre MOSFET çiftleri tetiklenir. High Side kısmında bulunan MOSFET’lere PWM sinyali uygulanırken Low Side tarafında bulunan MOSFET’ler sadece “0” veya “1” sinyalleri uygulanarak yani kesimde veya iletimde olacak şekilde anahtarlanır. Böylelikle Low Side tarafında sürekli anahtarlama kayıpların da önüne geçilmiş olunur. DsPic33fj32mc204 mikroişlemcisinin tercih edilmesindeki en önemli neden ise Proteus programında çalışabilecek simülasyon özelliğine sahip olmasıdır. Proteus programında birçok mikroişlemcinin bulunmasına karşın simülasyon özelliği bulunan mikroişlemci sayısı sınırlıdır. Bu nedenle seçilen mikroişlemci türünün simülasyon özelliğinin bulunması tasarım için önemli avantaj sağlamaktadır. Kontrol devresinin genel görünümü Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3 FDAM Sürücü Sisteminin Kontrol Devresi

### 2.2.3 3 fazlı Anahtarlama Devresi

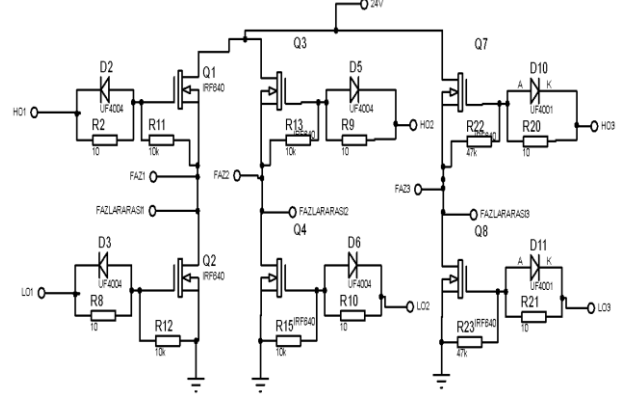
FDAM sürücü devresinde motorun dönmelerini sağlayacak olan sinyallerin oluşturduğu devredir. Sürücü devresi tasarlanırken MOSFET anahtarlama elemanları tercih edilmiştir. Bu kısımda iki temel devre bulunmaktadır. Bu devrelerden biri aşağıda görülen IR2112 MOSFET sürücü devresidir. IR2112 entegresi Boost-rapt mantığına dayalı olarak MOSFET'leri anahtarlama yapmaktadır. Sistemin üç fazlı olmasından dolayı sürücü devresi her bir faz kolunda ikişer tane olmak üzere toplam 6 adet IRF640 MOSFET elemanı ve 3 adet MOSFET sürücü entegresinden oluşmaktadır. Kullanılan MOSFET sürücü entegreleri aynı faz kolunda bulunan iki adet MOSFET çiftini kontrol edebilmektedir. Bu nedenle üç adet kullanılması yeterli olmuştur. MOSFET'lerin Gate pinlerinin anahtarlama için Vcc gerilimi olarak 15 V uygulandığı sürücü entegreleri Şekil 4'de görülmektedir. Sürücü devrelerinin çıkışlarından alınan High Output (HO1) ile Low Output (LO1) çıkışları sırasıyla her bir faz kolunda bulunan High ve Low Side'daki MOSFET'lerin Gate pinlerine verilmektedir.



Şekil 4. FDAM Sürücü Sisteminin IR2112 MOSFET Sürücü Devreleri

Üç fazlı sinyalin elde edildiği anahtarlama devresi aşağıdaki Şekil 5'de verilmiştir. Sürücülerden gelen

kontrol sinyallerine göre MOSFET'ler uygun kombinasyonlarda anahtarlama yaparak faz gerilimleri elde edilir. Bu elde edilen faz gerilimleri de FDAM'a uygulanarak dönmesi sağlanır. Üretilen sinyalin genliği MOSFET'lerin Drain ucuna bağlanan gerilime göre değişkenlik gösterir. Anahtarlama kullanılan MOSFET'ler ise gerilimin ve geçecek yük akımının büyüklüğüne göre seçilir.



Şekil 5 FDAM Sürücü Sisteminin Üç Fazlı H Köprü Devresi

## 3. Sürücü Devresinin Kontrolü

### 3.1 PWM Kontrol Sinyallerinin Oluşturulması

Kullanılan Dspic33fj serisi mikrokontrolörlerde motorların kontrolü için kullanılan önemli registerlardan biri de OVDCON registeridir. Bu register aracılığı ile PWM çıkış sinyalleri kontrol edilerek sürücü devresinde bulunan MOSFET'lerin hangilerinin iletime sokulacağı belirlenir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle sensörlerin durumlarına göre hangi MOSFET'lerin iletime olması gerektiği belirlenmelidir. Çizelge 1'de hangi MOSFET'lerin sensör durumlarına göre iletime olması gerektiği gösterilmiştir. Buradaki anahtar isimleri (SW1,...,SW6) ve iletime durumları Şekil 13'de verilen şemaya göre oluşturulmuştur. Şekilde 001 durumu için SW1 ve SW4 anahtarlarının iletime olduğu kırmızı renk ile gösterilmektedir. OVDCON registerına bu MOSFET'leri iletime sokabilecek sayı değeri girilmelidir. Kullanılan mikroişlemcide OVDCON registerı 16 bitlik bir yapıya sahiptir. Bu registerın hangi bitinin hangi PWM sinyallerinin çıkışını kontrol etmiş olduğu ayrıntılı olarak Çizelge 2'de gösterilmektedir. Hall sensörlerinin 001 durumu için SW1 ve SW4 anahtarlarının iletime olması gerektiği bilinmektedir. Çizelge 2'ye bakılırsa 001 durumunda SW1, registerdaki POVD1H biti ile

SW4’de registerda bulunan POUT2L biti ile kontrol edildiği görülmektedir. POVD ve POUT bitlerine yazılan “0” ve “1” değerleri aynı zamanda çıkış sinyallerinin PWM ya da doğrudan iletim ve kesim anlamına gelen “0”, “1” durumunda ayarlanabileceğini temsil eden değerlerdir. Bu özelliğinden de faydalanarak High Side konumunda bulunan SW1 anahtarı POVD1H bitine “1” değerinin yazılması ile PWM çıkışı elde edilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Low Side’da bulunan SW4 anahtarı da POUT2L bitine 1 yazılması neticesinde sürekli iletim durumunda yani “1” konumunda olacak şekilde bit değeri belirlenmiştir. Hangi anahtarın hangi bit değeri ile kontrol edileceği tasarım ve yazılıma göre değişiklik gösterebilmektedir. Çizelge 2’deki 001 durumunda SW1 ve SW4 anahtarları iletimde olacağı için “1” diğer bit değerleri ise “0” olarak ifade edildiğinde hexadecimal olarak ortaya çıkan sayı değeri 0X0204 olmaktadır. Bu değer OVDCON registerına yazıldığı durumda SW1 ve SW4 anahtarlarının iletime sokulacağı anlamını taşımaktadır. Diğer anahtarlama elemanlarının tetikleme durumlarını ifade eden sayı değerleri bu mantığa göre oluşturulmuştur. Motorun ters yöne dönmesi için gerekli olan hexadecimal değerler sırası ile Çizelge 2’de verilmiştir. Bu değerler aynı zamanda motorun hangi bobinlerinin enerjilendirildiğinin göstergesidir. Elde edilen bu hexadecimal değerler StateTableFwd[ ] dizisinin içerisine yazılarak mikroişlemcinin PWM çıkışlarının sırası ile bu dizide bulunan sayı değerlerine göre MOSFET anahtarları iletime veya kesime sokması sağlanır. Motorun sağdan sola dönme işlemi için StateTableFwd[ ] dizisi aşağıdaki gibi oluşturulmalıdır.

StateTableFwd[ ] = {0X0000, 0X0204, 0X2001, 0X2004, 0X0810, 0X0210, 0X0801, 0X0000}

**Çizelge-1** Hall Efekt Sensör Çıkışlarına Göre İletimde Olan H Köprü Anahtarlama Elemanları

a	b	c	SW2 1L	SW1 1H	SW4 2L	SW3 2H	SW6 3L	SW5 3H
0	0	1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	0	1

**Çizelge-2** Hall Efekt Sensör Çıkışlarına Göre PXOVDCON Register’ının Aldığı Değerler

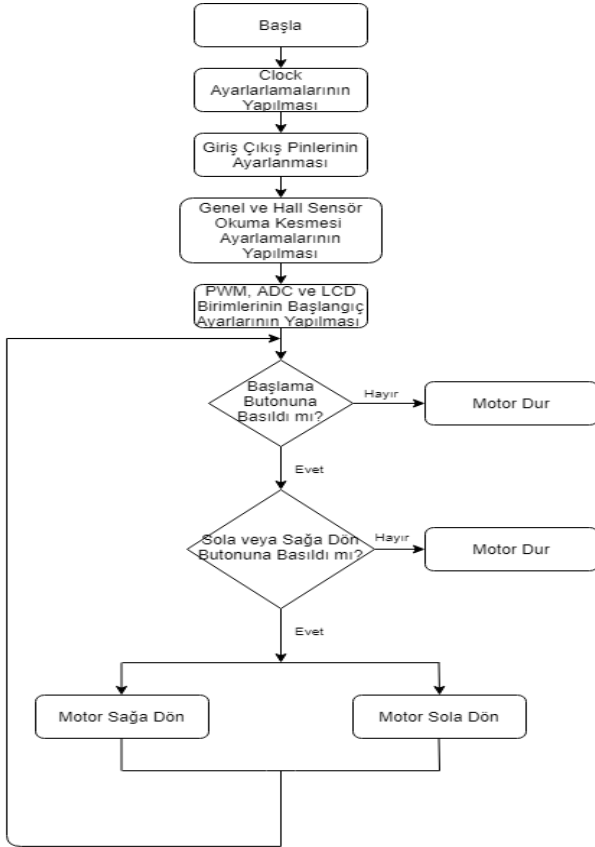
Hall Sensör Durumu	PXOVDCON Registerına Yüklenen Hexadecimal Sayı Değeri
001	0X0204
010	0X2001
011	0X2004
100	0X0810
101	0X0210
110	0X0801

PXOVDCON Register Bit Sıralaması 15-0 Bit																
POVD							POUT									
-	-	3	3	2	2	1	1	-	-	3	3	2	2	1	1	
		H	L	H	L	H	L			H	L	H	L	H	L	
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

### 3.2 Kontrol Algoritması

Sürücü devresindeki mikroişlemciye uygulanan FDAM sürücü kontrolü algoritma şeması Şekil 6’da görülmektedir. FDAM’ların kontrol sistemleri diğer sistemlerine göre daha karmaşık olduğundan dolayı kontrol işlemleri daha zor olabilmektedir. Sırası ile mikroişlemcinin dahili iç osilatörü kullanılarak 10 MHz’de çalışacak şekilde Clock ayarlamaları ve mikroişlemci portlarında bulunan pinlerin Giriş-Çıkış ayarlamaları yapılmıştır. Sensörlü FDAM kontrol sistemlerinde motorların bobinlerinin düzgün bir şekilde enerjilendirilmesi Hall sensörlerinden okunan sensör bilgilerinin doğru bir şekilde okunması ile mümkün olmaktadır. Bu kısım kontrol sisteminin en kritik noktalarından biridir. Hall sensörlerindeki verilerin doğru bir şekilde okunmadığı durumda motorun rotorunun konumu doğru saptanamadığı için rotor ya dönemeyecek ya da dönmesinde mekanik zorlanma, gürültü ve titreşimler olacaktır. Bu nedenle bu olumsuzlukların olmaması için sensör verileri “Change Notification” olarak isimlendirilen CN kesmeleri kullanılarak mikroişlemci tarafından okunmaktadır. Böylelikle dönen sistemdeki Hall sensörlerinin değişimi anlık olarak algılanmakta ve tetiklenecek MOSFET anahtarları bu mantığa göre OVDCON registerına aktarılmaktadır. Bu nedenle genel ve CN kesme işlemleri için gerekli register ayarlamaları gerçekleştirilir. Sonraki adımda PWM, LCD ekran ve

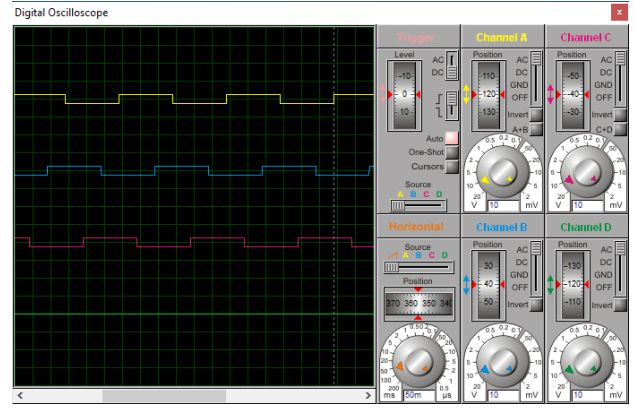
ADC işlemleri için gerekli başlangıç ayarları yapılır. Bu işlemlerden sonra motorun çalışabilmesi için gerekli olan çalışma senaryosu oluşturulur. Motorun çalışması için ilk etapta hem başlama butonuna hem de sağ veya sol döndürme butonlarına aynı anda basılması gerekmektedir ki motor hareket edebilsin. Bu yöntemle motorun ani veya kontrol dışı çalışması engellenmiş olur.



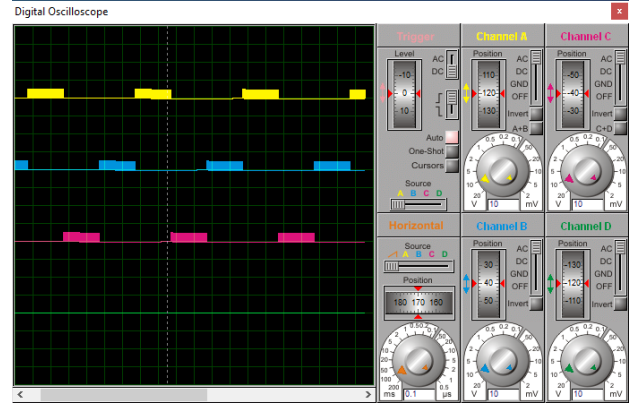
Şekil 6 FDAM'ın Kontrol Algoritması

#### 4. Bulgular

Simülasyon ortamında FDAM motorunun sensör çıkışlarından elde edilen sinyallerin osiloskop çıktısı Şekil 7'de ki gibidir. Sensörlerden elde edilen sensör değerlerine göre FDAM motorun bobinleri enerjilendirilmekte ve motorun dönmesi sağlanmaktadır. Sensörlerden elde edilen çıkış sinyalleri doğrultusunda mikroişlemcinin PWM pinlerinden tetikleme sinyalleri oluşturulmaktadır. Şekil 8'de mikroişlemcinin PWM1H1, PWM1H2 ve PWM1H3 pinlerinden elde edilen sinyaller görülmektedir. Oluşturulan sinyaller 5 V genliğinde olup 120'şer derece faz farkı olacak şekilde elde edilmiştir. Osiloskop sinyal çıktılarında da bu faz farkı açıkça görülmektedir.



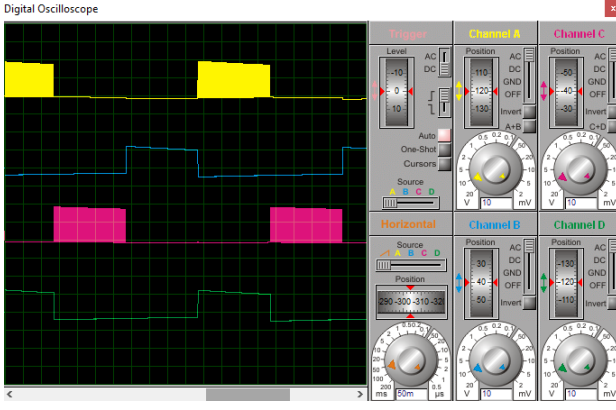
Şekil 7 Hall Sensörlerinin Çıkış Sinyalleri



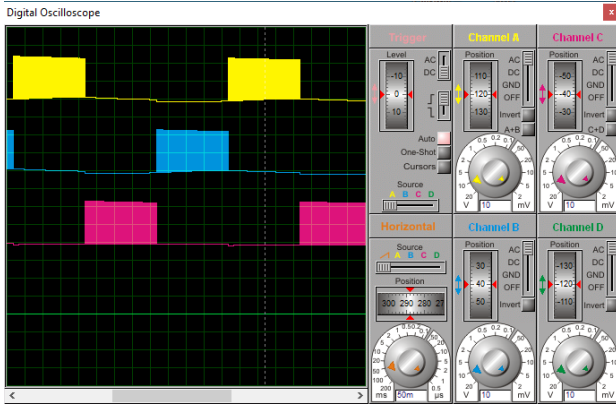
Şekil 8 Mikroişlemcinin PWM Pinlerinden Elde Edilen 3 faz PWM Kontrolü Çıkış Sinyalleri

IR2112 tip MOSFET sürücü entegre devresi osiloskop çıkış sinyalleri aşağıda Şekil 9'da gösterildiği gibidir. Sinyaller sırası ile HO1, LO1, HO2, LO2 sürücü entegresi çıkış pinlerinden elde edilmiştir. Burada sadece iki fazın High ve Low sinyal çıktıkları görülmektedir. Aynı şekilde sürücü çıkışlarından elde edilen sinyallerin arasında 120'lik faz farkı olduğu görülmektedir. MOSFET'ler 15 V gerilim genliğine sahip sinyaller ile tetiklendiği için sürücü devrelerinin besleme gerilimleri de 15 V olarak seçilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen sürücü çıkış sinyallerinin genlik değerleri de yaklaşık olarak 15 V seviyelerinde elde edilmiştir.

Üç fazlı H köprü devresinin faz sinyallerinin alındığı noktadan elde edilen fazlar arası sinyal şekilleri aşağıda gösterildiği gibi Şekil 10'da verilmiştir. Elde edilen osiloskop görüntüsünde 24 V genliğinde 120'şer derece faz farkına sahip olan sinyallerin dalga şekli görülmektedir.



Şekil 9. IR2112 Sürücüsü çıkışlarından elde edilen High ve Low Sinyalleri



Şekil 10. FDAM Sürücü Devresi Çıkışından Elde Edilen 3 Faz Kontrol Sinyalleri

Şekil 10'da ki sinyallerinin FDAM motorun faz uçlarına uygulanması sonucu döndüğü görülmektedir. Ancak Proteus programında bulunan FDAM modellerinin tam sağlıklı çalışmamasından kaynaklı olarak bazı problemler yaşanabilmektedir. Bu nedenle motor sürücü faz sinyallerinin dalga şekillerinin doğru olarak elde edilmesi sürücünün istenilen şekilde çalışabileceğinin göstergesidir. Önemli olan çıkış sinyallerinin dalga şekillerinin istenilen gibi olması ve 120'şer derece faz farkına sahip olmalarıdır. Proteus programında simülasyon yapılırken karşılaşılan diğer bir hata ise FDAM'ın Hall sensör bağlantılarının yapılacağı pinlerin belirlenmesi aşamasında yaşanmıştır. Normalde bütün pinlerin CN (Change Notification) kesmesi ile kullanılabilmesi gereklidir ancak simülasyondaki modelden kaynaklı olarak bütün pinler bu özelliği barındırmamaktadır. Bu nedenle Hall sensörleri sırası ile RB7, RB8 ve RB9 pinlerine bağlanarak sistemin sorunsuz bir şekilde çalışması gerçekleştirilmiştir. Mikroişlemciye bağlanan potansiyometre ile motorun hızı kontrol

edilebilirken sağ veya sol yöne dönecek şekilde simülasyondan dönüş yönü değiştirilebilmektedir. Proteus programında simülasyon yapılırken bazı hatalar ile karşılaşılrsa da mikroişlemci ile birlikte elektronik devrelerin simülasyonlarının yapılabildiği için elektronik devre tasarımlarında oldukça kullanışlıdır. Mikroişlemciye gömülen kodların simülasyonunun yapılabileceği başka bir simülasyon ortamı bulunmadığından dolayı mikroişlemci tabanlı elektronik sistemlerin tasarım projelerinde sıklıkla tercih edilmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Hall Sensörlü FDAM'un sürücü devresi ve simülasyon uygulaması Proteus programı kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Üç fazlı FDAM sürücü devresi temel olarak besleme, kontrol ve güç devrelerinden oluşturulmuştur. Sürücü sisteminin kontrol biriminde DsPic33fj32mc204 mikroişlemcisi kullanılmıştır. Mevcut mikroişlemcinin simülasyon özelliğinin olmasından faydalanarak sürücü sisteminin bütün birimlerinin elektronik devreleri oluşturulmuş simülasyon ortamında çalıştırılmıştır. Böylelikle mikroişlemci tarafından üretilen PWM kontrol sinyalleri, IR2112 MOSFET sürücülerinin çıkış sinyalleri ve fazlar arası sinyaller osiloskopa bağlanarak görüntülenmiştir. Elde edilen sinyallere göre istenilen gerilim seviyesinde bir sürücü çıkışı elde edilmiş olup simülasyonda bağlanan Hall etkili motor-kontrol edilmiştir. Böylelikle DsPic serisi bir mikroişlemci kullanılarak FDAM'un kontrol işleminin Proteus simülasyon ortamında gerçekleştirilmesi ile bu alandaki eksiklik giderilerek literatüre katkıda bulunulmuştur.

## 6. Kaynaklar

- Aslam, S., Hannan, S., Sajjad, U., Zafar, W., 2016. Implementation of PID on Pic24f Series Microcontroller for Speed Control of a Dc Motor Using Mplab and Proteus, *Advances in Science and Technology Research Journal*, **10**, 40–50.
- Aspalli, M. S., Munshi, F., M., Medegar, S., L., 2015. Speed control of BLDC motor with four switch three phase inverter using digital signal controller. *International Conference on Power and Advanced Control Engineering*, Bangalore, India



- Güneri, S., 2015. Kompresör Uygulaması İçin Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105.
- Hasanusta, K., 2016. Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Optimal Hall Sensör Konumunun Motor Parametrelerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- Karakulak, O., Yaz, O., Köybaşı, E., Bıçakçı, S., Candan, C., Akdaş, D., 2012. PIC Tabanlı Fırçasız DC Motor Sürücüsü Tasarımı, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye.
- Maher F., Ishak, D., 2009. Improved BLDC motor performance with digitally filtering back-EMF using dsPIC30F microcontroller. *IEEE Student Conference on Research and Development*, Serdang, Malaysia.
- Mukherjee, A., Ray, S., Das, A., 2014. Development of Microcontroller Based Speed Control Scheme of BLDC Motor Using Proteus VSM Software, *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, **2**, 14-21.
- Mukherjee, A., Ray, S., Das, A., 2018. Microcontroller Based Speed Control and Speed Regulation Scheme for Bldc Motor Under Variable Loading Conditions, *Acta Technica Corviniensis Bulletin of Engineering*, **11**, 47-55.
- Nasrul, M., Satar, A., Ishak, D., 2011. Application of Proteus VSM in Modelling Brushless DC Motor Drives, *4th International Conference on Mechatronics*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Sharma, P., K., Sindekar, A. S., 2016. Performance analysis and comparison of BLDC motor drive using PI and FOC. *International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication*, Jalgaon, India.
- Sheeba, J., C., Paranjothi, S. R., Kumar, J., S., 2011. Practical implementation of four quadrant operation of three phase Brushless DC motor using DsPIC. *International Conference on Recent Advancements In Electrical, Electronics and Control Engineering*, Sivakasi, India.
- Su, B., Wang, L., 2010. Application of Proteus virtual system modelling (VSM) in teaching of microcontroller. *International Conference on E-Health Networking Digital Ecosystems and Technologies*, Shenzhen, China.
- Sudip, M., 2017. Some Important Simulation Software Tools for a Student of Electronics Engineering. *Global Journal on Advancement in Engineering and Science*, **3**, 25-33.
- Tatar, G., 2017. Hafif Elektrikli Araçlar İçin Akıllı, FSDAM Sürücüsü ve Kontrolör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 120.
- Tetik, M., 2019. Harmonik Ekleme Yöntemi ile Fırçasız Dc Motorun (Bldc) Hız Denetimi, *Technological Applied Sciences*, **14**, 27-36.
- Yadamale, P., 2003. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Microchip Technology Inc., Application Notes, AN885, USA.
- Zambada, J., 2010. Sensorless Field Oriented Control of a PMSM. AN1078 Application Note, Microchip Technology Inc.
- Zhou, H., Xu, Z., Lin, Z., Wang, R., Dong, J., Huang, Y., 2009. Simulation Design of Inverter in Solar Photovoltaic System Based on MCU, *Symposium on Photonics and Optoelectronics*, Wuhan, China.
- Zhao, J., Yu, Y., 2014. Brushless DC Motor Fundamentals Application Note.



## Küçük Aile İşletmelerinde Üretilen Diyarbakır Örgü Peynirinin Bileşim ve Bazı Biyokimyasal Özellikleri

Abdulkerim HATİPOĞLU<sup>1\*</sup>, Şerafettin ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Mardin, Türkiye

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Sorumlu Yazar e-posta: [abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr](mailto:abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1487-1953>  
[scelik69@harran.edu.tr](mailto:scelik69@harran.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5605-5735>

Geliş Tarihi: 28.01.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Diyarbakır Örgü peyniri; Geleneksel peynirler; Bileşim; Biyokimyasal özellikler

Bu çalışmada, Diyarbakır yöresinde peynir üreten küçük aile işletmelerinden taze ve olgun Diyarbakır Örgü peyniri (DÖP) örnekleri alınmış ve bileşim ve bazı biyokimyasal özellikleri araştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmede, taze ve olgun peynirlerin yağ, kurumaddede (KM'de) yağ, kül, tuz ve KM'de tuz oranları ile titrasyon asitliği (TA)pH 4.6'da çözünen azot (ÇA), pH ve lipoliz değerleri arasındaki farklılık önemli bulunmuştur. Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği bağlamında, taze DÖP'ün yarı sert ve yarım yağlı, olgun peynirin ise sert ve az yağlı peynir sınıfında değerlendirilebileceği, KM' de tuz oranlarının ise anılan tebliğde izin verilen orandan yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Küçük aile işletmelerinde üretilen DÖP'ün bileşimi standardize edilmeli, özellikle peynirin tuz oranı ilgili tebliğde izin verilen düzeye düşürülmelidir.

## The Compositional and Some Biochemical Characteristics of Diyarbakır Örgü Cheese Produced in Small Family Plants

### Abstract

#### Keywords

Diyarbakır Örgü cheese; Traditional cheeses; Composition; Biochemical properties

In this study, the composition and some biochemical characteristics of fresh and mature Diyarbakır Örgü cheese samples obtained from small family plants producing cheese in Diyarbakır region were investigated. According to the statistical evaluation, the difference between the ratios of fat, fat in dry matter, ash, salt, dry matter, the titratable acidity, and soluble nitrogen values at pH 4.6, pH and lipolysis values of fresh and mature cheeses were found to be significant. In the context of the Turkish Food Codex Cheese Communiqué, it was concluded that fresh Diyarbakır Örgü cheese can be classified as semi-hard and semi-skimmed cheese, and mature cheese can be classified as hard and low-fat cheese, and that the salt content in dry matter is higher than the rate allowed in the aforementioned communiqué. The composition of Diyarbakır Örgü cheese produced in small family plants should be standardized, especially the salt content of cheese should be reduced to the level allowed in the relevant communiqué.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Türkiye'de çoğu çiğ sütten üretilen 130'dan fazla geleneksel peynir çeşidinin olduğu tahmin edilmektedir (Kamber 2005, İnt Kyn. 1). Bu peynirlerden biri olan Diyarbakır Örgü peyniri (DÖP), çoğunlukla çiğ koyun sütünden sıvı şirden mayası ile elde edilen, fermente telemesi yüksek sıcaklıkta (78-87 °C'lik, tuz içermeyen) suda haşlanan, taze iken plastik yapıda, kolayca liflere ayrılabilen,

olgunlaştıkça nem oranı artan ve yumuşayan, taze veya salamurada muhafaza edildikten sonra tüketilen yarım yağlı ve sert bir peynir çeşididir (Hatipoğlu ve Çelik 2020a).

DÖP, Diyarbakır ilinin güneybatısında yer alan Karacadağ'ın kuzeyini kapsayan havzada üretilmektedir. Havzanın tarıma elverişli alanlarının az olması ve geniş çayır-mera alanlarının varlığı nedeniyle, başta koyun yetiştiriciliği olmak üzere, yaygın bir şekilde hayvancılık yapılmaktadır

(Hatipoğlu ve Çelik 2020a). Bu havzada, ilkbahar aylarında (Mart-Mayıs) üretilen koyun sütü, küçük aile işletmeleri ve mandıralarda çoğunlukla DÖP'e işlenmektedir. Diğer taraftan, yaz aylarından başlamak üzere bir sonraki peynir üretim sezonuna kadar mandıralarda üretim dursa bile küçük aile işletmeleri tarafından genellikle inek sütü ile nadiren de olsa keçi sütü ile yapılan DÖP üretimleri devam etmektedir. Diyarbakır ilinde yılda yaklaşık 10 bin ton DÖP'ün pazarlandığı tahmin edilmektedir.

Bilindiği gibi peynirin bileşimindeki tuz, yağ ve diğer bileşenler peynirin muhafaza şartları ve sütün orijini hakkında bilgiler sunarken; pH 4.6'da çözünen azot (ÇA) ve triklor asetik asitte çözünen azot (TCA'da ÇA) oranlarındaki değişimler ise, olgunlaşmanın seyri hakkında bilgiler vermektedir (Fox *et al.* 2000). Diğer taraftan lipoliz değeri, peynir üretiminde uygulanan haşlama öncesi fermantasyon düzeyleri ile hijyen ve sanitasyon kurallarına ne kadar uygun üretim yapıldığı hususlarında fikir verebilmektedir (Hickey *et al.* 2007, Özmen Toğay ve Temiz 2011, Akan vd. 2014).

Bu çalışmada, söz konusu kalite kriterleri esas alınarak küçük aile işletmelerinde üretilen taze (1 günlük) ve olgun (90 günlük) DÖP'ün bileşim ve bazı biyokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca söz konusu peynirin Peynir Tebliği'nde (İnt Kyn. 4) bildirilen kriterlere uygunluğu tespit edilmiştir.

Şimdiye kadar aile işletmelerinde üretilen DÖP'ün karakteristik özelliklerine ait herhangi bir çalışmanın yapılmadığı literatür kayıtlarından anlaşılmaktadır. Bu çalışma ile yaklaşık yarım asırdan beri (Hatipoğlu 2014) bu işletmelerde üretilen DÖP'ün bazı kalite kriterleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Bu çalışmada Karacadağ havzasında geleneksel DÖP'ün üretildiği 10 adet küçük aile işletmesi tespit edilmiş ve her bir işletmeden 2'şer kg taze (1 günlük) ve olgun (90 günlük) peynir örneği alınmıştır (n=20). Peynir örneklerine ait tüm analizler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

### **2.2. Metot**

Peynir örneklerindeki kurumadde (KM), yağ, protein, kül ve tuz (İnt Kyn. 2) oranları tespit edilmiştir. Ayrıca, peynir örneklerinde titrasyon asitliği (TA) (Dağdemir vd. 2003), pH (Yazıcı ve Dervişoğlu 2003), pH 4.6'da ÇA (Gripon *et al.* 1975) ve TCA'da ÇA (Tavaria *et al.* 2003) analizleri ile lipoliz düzeyi (Ocak vd. 2015) analizleri yapılmıştır. Diğer taraftan görünen olgunlaşma indeksi ile olgunlaşma derinlik indeksleri hesaplanmıştır (Lavasanı *et al.* 2011, Moreira *et al.* 2018).

Araştırma verileri tek yönlü ANOVA ile analiz edilmiştir. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklılık Tukey testi ile tespit edilmiştir.

## **3. Bulgular ve Tartışma**

Geleneksel peynir üretiminin yapıldığı Karacadağ Havzası'ndaki küçük aile işletmelerinde, DÖP üretiminde çiğ koyun sütünün kullanıldığı, ihtiyaç olması halinde inek, keçi ve eser miktarda da manda sütünün kullanıldığı beyan edilmiştir. Her üreticiden eş zamanlı olarak hem taze (1 günlük) hem de olgun (90 günlük) peynirler temin edilmiştir.

Küçük aile işletmelerinde ilkbahar aylarında çiğ koyun sütünden üretilen taze ve olgun geleneksel DÖP'e ait bileşim ve bazı biyokimyasal özelliklerine ait değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Taze peynire oranla, olgun peynirde KM, tuz ve kül oranları daha yüksek, protein ve yağ oranları ise daha düşük bulunmuştur (P<0.01). Ancak KM oranındaki bu artış istatistiksel olarak önemli görülmemiştir (Çizelge 1). Hatipoğlu and Çelik (2020b) ile Celik and Turkoglu (2007) Örgü peynirinde, Uysal (2008) ise Örgü peyniri gibi fermente telemesi haşlanan taze Dil peynirinde KM, protein ve yağ değerlerinin olgunlaşma ile birlikte azaldığını rapor etmişlerdir (Çizelge 2). Aynı araştırmacılar olgun peynirlerdeki tuz ve kül oranlarının ise taze peynirlere göre arttığını bildirmişlerdir. Söz konusu araştırmacıların bulgularına göre, KM oranı olgunlaşma ile birlikte azalmıştır. Buna karşılık mevcut çalışmadaki KM oranı olgunlaşmayla birlikte azalmıştır. Olgun peynirde KM, tuz ve kül oranlarının taze olanlara göre yüksek bulunması peynire tuz geçişinden; protein ve yağ oranlarının düşük bulunması ise

olgunlaşma periyodu boyunca peynir matriksinde gerçekleşen proteoliz ve lipoliz düzeylerinin yükselmesinden kaynaklanmış olabilir. Ancak KM

oranının olgunlaşma ile birlikte azalması, protein ve yağdaki parçalanma düzeyinin daha fazla olması ile izah edilebilir.

**Çizelge 1.** Aile işletmelerinde üretilen taze ve olgun Diyarbakır Örgü peynirinin bileşim ve bazı biyokimyasal özelliklerine ait en düşük, en yüksek ve ortalama değerler ile oluşan gruplar (n=20)\*

	Taze peynir			Olgun peynir		
	En düşük	En yüksek	Ortalama	En düşük	En yüksek	Ortalama
KM (%)	44.41	61.29	52.78±4.01 <sup>a</sup>	47.68	56.10	53.17±1.96 <sup>a</sup>
Protein (%)	21.19	34.46	28.06±4.33 <sup>a</sup>	19.09	35.11	26.18±4.81 <sup>a</sup>
Yağ (%)	17.50	29.50	21.20±2.76 <sup>a</sup>	11.50	23.50	17.70±3.76 <sup>b</sup>
KM'de yağ (%)	32.83	53.15	40.33±5.57 <sup>a</sup>	21.14	43.91	33.33±7.10 <sup>b</sup>
Tuz (%)	0.85	4.85	2.66±1.30 <sup>b</sup>	7.10	9.85	8.29±0.87 <sup>a</sup>
KM'de tuz (%)	1.55	8.17	4.98±2.22 <sup>b</sup>	12.97	18.82	15.62±1.78 <sup>a</sup>
Kül (%)	1.58	5.67	3.52±1.34 <sup>b</sup>	8.06	10.76	9.29±0.87 <sup>a</sup>
pH**	5.10	5.50	5.29±0.11 <sup>b</sup>	5.11	5.60	5.40±0.15 <sup>a</sup>
Titrasyon asitliği (SH)	11.64	23.28	15.62±3.70 <sup>b</sup>	11.64	34.92	22.89±6.15 <sup>a</sup>
pH 4.6'da ÇA (%)	0.13	0.18	0.15±0.02 <sup>b</sup>	0.13	0.26	0.20±0.04 <sup>a</sup>
TCA' da ÇA (%)	0.10	0.15	0.14±0.02 <sup>a</sup>	0.11	0.16	0.13±0.01 <sup>a</sup>
Lipoliz düzeyi (mg KOH/g yağ)**	0.03	0.07	0.05±0.01 <sup>b</sup>	0.04	0.13	0.07±0.03 <sup>a</sup>
Görünen olgunlaşma indeksi	3.91	3.33	3.60±0.68 <sup>b</sup>	4.34	4.72	4.86±0.95 <sup>a</sup>
Olgunlaşma derinlik indeksi	3.01	2.78	3.17±0.79 <sup>a</sup>	3.34	2.91	3.34±0.54 <sup>a</sup>

\*Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

\*\*Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir (P<0.05).

**Çizelge 2.** Çiğ süttten üretilen Örgü ve Dil peynirlerinin olgunlaşma durumlarına göre bileşimleri

Peynir	Olgunlaşma durumu	KM (%)	Protein (%)	Yağ (%)	KM'de yağ (%)	Tuz (%)	KM'de tuz (%)	Kül (%)	Kaynaklar
Örgü	Taze	55.44	26.56	21.56	38.84	6.31	11.40	7.31	Hatipoğlu and Çelik 2020b
	Olgun (120 gün)	52.84	23.47	20.06	37.88	8.16	15.48	9.32	
	Taze	53.63	23.85	22.50	41.96	6.19	11.55	7.09	Çelik and Turkoglu 2007
	Olgun (90 gün)	51.43	21.28	21.08	40.99	7.15	13.90	8.18	
Dil	Taze	55.14	25.50	24.17	43.83	4.10	7.99	5.21	Uysal 2008
	Olgun (90 gün)	52.89	23.44	23.00	43.50	4.80	9.49	5.99	

Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği'ne göre taze DÖP yarı sert ( $57 \leq$  yağsız peynir kitlesindeki nem oranı  $< 64$ ), olgun DÖP ise sert ( $49 \leq$  yağsız peynir kitlesindeki nem oranı  $< 57$ ) peynir olarak değerlendirilebilir (İnt Kyn. 4).

Diyarbakır Valiliği'nin (Tarım ve Orman İl Müdürlüğü) girişimleriyle 2010 yılında DÖP için alınan Coğrafi İşaret Tescil Belgesine (CİTEB) göre, bu peynirin yarı sert bir peynir olduğu belirtilmektedir (İnt Kyn. 5). Çalışmadaki taze ve olgun DÖP'ün KM oranlarının, CİTEB'te belirtilen KM oranlarının (%42.70-47.75) üzerinde olduğu görülmektedir. Olgun DÖP için tespit edilen yağ oranı da söz konusu belgede belirtilen yağ oranları ile (%14.72-17.86) uyumlu olmuştur. Protein değerleri ise CİTEB'te belirtilen değerlerin (%15.83-21.69) üzerindedir (İnt Kyn. 5).

Varyans analiz sonuçlarına göre, taze ve olgun DÖP örneklerinin KM'de yağ oranları arasındaki farklılığın  $P < 0.01$  düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Taze peynire oranla olgun peynirin KM'de yağ oranı azalmıştır (Çizelge 1). Aynı şekilde olgun Örgü ve Dil peynirlerinin KM'de yağ değerlerinin taze peynirlere göre daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Çelik and Turkoglu 2007, Uysal 2008, Hatipoglu and Çelik 2020b) (Çizelge 2). Bu durum üretimde kullanılan sütün yağ oranı, fermente telemenin haşlama suyu sıcaklığı ve süresinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca peynir üretiminde kullanılan sütlerin elde edildiği hayvan türleri de bu yağ oranlarını etkilemektedir. Zira küçük ölçekli işletmeler sadece koyun sütünü değil, belli oranlarda (yaklaşık %20) inek ve keçi sütlerini de Örgü peyniri üretiminde kullanmaktadırlar (Hatipoglu and Çelik 2020b). Taze Örgü ve Dil peynirlerinin KM'de yağ oranları (%) sırasıyla 41.96, 38.84; 43.83 olarak bildirilmiştir. Aynı peynirlerin olgun olanları ise sırasıyla 40.99, 37.88; 43.50 olarak literatürlerde yer almıştır (Çelik and Turkoglu 2007, Uysal 2008, Hatipoglu and Çelik 2020b) (Çizelge 2).

DÖP, üretim tekniği ve bileşim özellikleri bakımından Dil ve Kaşar peynirlerine benzemektedir. Aile işletmelerinden temin edilen taze ve olgun DÖP, ortalama KM'de yağ oranları (% 40.33 ve % 33.33) açısından değerlendirildiğinde, Dil ve Kaşar Peyniri Standartlarına göre (en az % 30 süt yağı) yağlı peynir olarak sınıflandırılabilir (İnt Kyn. 3).

Ancak Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği esas alındığında ( $25 \leq$  KM'de süt yağı  $< 45$ ), hem taze hem de olgun DÖP yarı yağlı peynir olarak sınıflandırılabilir (İnt Kyn. 4). DÖP'ün tam yağlı bir peynir türü olması beklenmektedir. DÖP ve tereyağı Karacadağ bölgesinde aynı anda üretilmektedir. Bölgeden alınan bilgilere göre, süttten krema şeklinde elde edilen süt yağı tereyağı/sadeyağ üretiminde kullanılırken, kalan yağsız süt peynir üretiminde kullanılmaktadır (Hatipoglu and Çelik 2020b).

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, taze peynire oranla olgun peynirde KM'de tuz oranı yükselmiştir ( $P < 0.01$ ) (Çizelge 1). DÖP ile ilgili yapılan bir çalışmada taze Örgü peynirindeki KM'de tuz oranının %11.40, olgun (120 günlük) peynirdeki oranın ise %15.48 olduğu bildirilmiştir (Hatipoglu and Çelik 2020b). Ayrıca çiğ ve pastörize süttten üretilen taze Örgü peynirinin KM' de tuz oranının %11.55-12.26 arasında olduğu, 90 günlük depolama süresi sonunda ise bu oranın %13.90-15.72 arasında olduğu bildirilmiştir (Çelik and Turkoglu 2007). Diğer taraftan, çiğ, termize ve pastörize süttten yapılan taze Dil peynirlerinde KM'de tuz oranları sırasıyla %7.99, %7.44 ve %8.03; olgun (90. gün) Dil peynirlerinde ise sırasıyla % 9.49, %9.12 ve %9.72 olarak bildirilmiştir (Uysal 2008). Diğer araştırmacıların çalışmalarında da görüldüğü gibi, DÖP salamurada olgunlaştırılıp depolanan bir peynirdir. Depolama süresi boyunca taze peynirin tuz içeriği ile salamura arasındaki farkın çok yüksek olması nedeniyle, olgunlaşma ile birlikte peynire tuz geçişi olmuştur. Zira DÖP üretiminde kullanılan salamuranın 17-21 Bé düzeyinde tuz içerdiği bildirilmiştir (Hatipoglu and Çelik 2020b).

Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği esas alındığında, taze peynir en çok %4.5, olgun (salamurada olgunlaştırılan) peynir ise en çok %7.5 oranında tuz içermelidir (İnt Kyn. 4). Buna göre hem taze hem de olgun DÖP'ün KM'de tuz oranlarının yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Diğer taraftan CİTEB'te %5.32-6.03 olarak belirtilen tuz oranları, taze ve olgun DÖP tuz oranları arasında yer almıştır (İnt Kyn. 5). Günümüzde fermente telemesi yüksek sıcaklıkta haşlanan Örgü, Dil ve Lavaş gibi peynirlerin vakum altında paketlenen sonra taze tüketime sunulma eğilimi artmıştır. Aynı zamanda adı geçen tüm peynir

çeşitlerinin çoğunlukla salamurada olgunlaştırıldıktan sonra tüketime sunulduğu bilinmektedir. Bu peynirler, yüksek miktarda tuz içeren salamurada olgunlaştırıldığı için yüksek tuz içeriğine sahiptir.

Taze ve olgun DÖP'ün ortalama kül oranları arasındaki farklılığın  $P < 0.01$  düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Taze DÖP'ün ortalama kül değeri (%3.52), Hatipoğlu ve Çelik (2020b) (%7.31), Çelik and Türkoğlu (2007) (%7.09) ve Uysal (2008) (%5.21)' in bildirdiği sonuçlardan daha düşük; buna karşılık olgun peynirdeki ortalama kül değeri (% 9.29) ise Hatipoğlu ve Çelik (2020b) (%9.32) dışında diğer üç araştırmacının bildirdiği sonuçlardan (%7.43, %8.18, %8.11) daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Ayrıca CİTEB'te belirtilen minimum ve maksimum kül oranlarının (%7.43-8.01) çalışmadaki taze ve olgun DÖP'te tespit edilen kül oranlarının arasında olduğu görülmektedir (İnt Kyn. 5). Olgunlaşma ile birlikte tuz oranının artmasına paralel bir şekilde kül oranı da artmaktadır. Dolayısıyla yüksek tuz oranına sahip salamurada olgunlaştırılması nedeniyle, olgun DÖP'ün kül oranlarının diğer araştırmacıların bildirdiği verilerden yüksek olması beklenen bir durumdur.

Araştırmadaki sonuçlara göre, taze peynire oranla olgun peynirin pH değeri daha yüksek bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 1). Olgun peynirlerde proteoliz sonucu peynirin pH'sında artış olabildiği, buna karşılık lipoliz ile birlikte peynirin pH'sında azalma olabildiği farklı çalışmalarda gösterilmiştir (Celik and Turkoglu 2007, Uysal 2008, Arboatti *et al.* 2014, Pappa *et al.* 2019). Bu çalışmanın sonuçlarına göre, taze DÖP'ün pH değeri (5.29) Anar vd. (2000)'nin çalışması ile uyum arz etmiştir. KM'deki artışa paralel bir şekilde, olgun peynirin pH değeri taze peynire oranla artış göstermiştir. Benzer bir durum Hatipoğlu and Çelik (2020b)'in çalışmasında bildirilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre, taze ve olgun DÖP örneklerinin TA değerleri arasındaki farklılığın  $P < 0.01$  düzeyinde olduğu görülmüştür. Taze DÖP örneklerinde TA daha yüksek iken olgun olanlarda daha düşük olarak tespit edilmiştir (Çizelge 1). Zira peynirin olgunlaşma süresi boyunca TA'nın dalgalı bir seyir izlediği farklı çalışmalarla ortaya konmuştur (Tarakçı ve Küçüköner 2006, Calvo *et al.* 2007, Celik

and Turkoglu 2007, Uysal 2008, Fresno and Alvarez 2012, Hatipoglu and Çelik 2020b). Uysal (2008), çiğ sütten yapılan Dil peynirlerinin TA'nın (% laktik asit(LA):0.64) depolamanın 30. gününe kadar azaldığını (% LA:0.46); buna karşılık depolama periyodunun 60. gününe kadar bu değer tekrar arttığını (% LA:0.57) bildirmişlerdir. Çalışmadaki taze ve olgun DÖP örneklerine ait ortalama TA değerleri literatürde bildirilen peynirler ile benzerlik göstermiştir. Bilindiği gibi, proteoliz nedeniyle oluşan alkali ve nötral karakterli bileşikler ile lipoliz sonucu oluşan serbest asitlerin TA'nın düşmesine neden olabilmektedir (Güven ve Konar 1997, Uysal 2008). Diğer taraftan, peynirdeki asitliğin, laktozun fermantasyonu sonucu oluşan laktik asit, bütirik asit, asetik asit ve formik asit ile lipoliz ve proteoliz sonucu oluşan serbest yağ asitleri ve serbest aminoasitlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Yaşar 2007).

Dil peynirinin Standardı dikkate alındığında, Dil peynirinin TA değerinin en yüksek %1.0 LA (44.44 SH) olması gerektiği bildirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, taze ve olgun DÖP örneklerinin TA değerlerinin Dil peyniri standardı ile uygunluk arz ettikleri saptanmıştır (İnt. Kyn 3).

Araştırma verilerinin istatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre, DÖP örneklerinin pH 4.6'da ÇA oranları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur ( $P < 0.01$ ). Çalışmaya konu olan olgun peynirlerin pH 4.6'da ÇA ortalama değerlerinin taze olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. (Çizelge 1). pH 4.6'da ÇA ile suda ÇA arasında paralellik bulunmaktadır. Peynirde bu iki parametre oranındaki değişimlerin izlenmesi, olgunlaşmanın seyri hakkında bilgiler vermektedir (Fox *et al.* 2000, Uysal 2008). Çalışma sonuçlarına göre, taze veya olgun DÖP ortalama pH 4.6'da ÇA oranları, Hatipoğlu ve Çelik (2020b)'in DÖP'te bildirdiği değerlerden düşük; buna karşılık Uysal (2008)' in Dil peynirinde bildirdiği değerlerden yüksek bulunmuştur. Görülen bu farklılık, her işletmenin kullandığı sütün mikrofloralarının farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Her ne kadar istatistiki olarak önemli bulunmasa da ( $P > 0.05$ ), analize tabi tutulan olgun DÖP örneklerinin ortalama TCA'da ÇA oranının taze olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

(Çizelge 1). Örgü peyniri ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda olgun peynirlere ait TCA'da ÇA oranlarının taze peynirlerden daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Çelik and Turkoglu 2007, Hatipoğlu and Çelik 2020b). Diğer taraftan, çiğ süttten yapılan Dil peynirinde olgunlaşma periyodunun 30. gününe kadar TCA'da ÇA oranlarının değişmediği, takip eden günlerde ise nispi olarak yükseldiği rapor edilmiştir (Uysal 2008). Öte yandan olgun Kaşar ve Beyaz peynirlerin TCA'da ÇA oranlarının taze peynirlerden daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Uraz ve Şimşek 1998, Gürsoy vd. 2001, Sert vd. 2007). Kashkaval peynirinde ise, olgunlaşma periyodu boyunca TCA'da ÇA oranlarının dalgalı bir seyir izlediği ortaya konmuştur (Pappa *et al.* 2019).

Araştırma verilerinin varyans analizi sonuçlarına göre, lipoliz değerleri arasındaki farklılık  $P < 0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, olgun DÖP örneklerine ait ortalama lipoliz düzeyinin (mg KOH/ g-yağ) taze olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Benzer şekilde Hatipoğlu ve Çelik (2020b) ile Çelik and Türkoğlu (2007) Örgü peynirinde, Uysal (2008) Dil peynirinde olgunlaşma periyodu boyunca lipoliz düzeylerinin arttığını ortaya koymuşlardır. Aile işletmelerinden elde edilen taze ve olgun DÖP örneklerinin lipoliz düzeylerinin literatürdeki verilerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, salamurada olgunlaştırılan peynirlerin lipoliz düzeyi, üretimde kullanılan sütün kaynağı, sütün pastörizasyonu, süt lipazı, bakteriyel lipaz, salamura konsantrasyonu ve olgunlaşma sıcaklığından etkilenmektedir (Abd El-Salam 1987). Psikrotrof bakterilerin sentezledikleri proteinaz enzimlerinin çoğu suda çözünerek peyniraltı suyuyla uzaklaşmakta, ancak psikrotrof lipaz enzimlerinin ise büyük bir kısmı sıcaklığa dayanıklı ve depolama periyodu boyunca ransiditeye neden olmaktadır (Fox *et al.* 2000). Söz konusu olan bu enzimlerin aktiviteleri sonucu, olgun peynirlerin lipoliz değerinde artış gözlenmiştir (Çizelge 1). Lipoliz değerinin peynirin olgunluk durumuna göre farklılık arz etmesi, söz konusu işletmelerin peynir üretiminde uyguladıkları haşlama öncesi fermantasyon seviyelerinin farklı olması, hijyen ve sanitasyon kurallarına uygun üretim yapmamış olmaları ile izah edilebilir. Laktik

asit bakterilerinin sentezlediği lipolitik enzimler, LPL enziminin etkisiyle oluşan mono- ve di-gliseritlere etkili olmakta ve nötrale yakın pH'da maksimum aktivite göstermektedirler (Stadhouders and Veringa 1973). pH ve olgunlaşma sıcaklığının düşük, tuz oranının ise yüksek olması nedeniyle Örgü peynirinde lipolitik enzimlerin aktiviteleri azalmaktadır.

#### 4.Sonuç

Diyarbakır yöresinde çoğunlukla küçük aile işletmelerinde üretilen DÖP'te KM'de tuz oranları, ilgili tebliğde (İnt Kyn. 4) izin verilen orandan yüksek bulunmuştur. Anılan tebliğ bağlamında, taze ve olgun DÖP yarım yağlı peynir sınıfında yer almaktadır. Aynı tebliğe göre taze DÖP yarı-sert, olgun DÖP ise sert olarak sınıflandırılabilir. Diğer taraftan yarı sert olarak sınıflandırılan taze peynir CİTEB ile de uyum arz etmiştir (İnt Kyn. 5). Peynirin bileşimi ile peynirin depolanmasında kullanılan tuz oranının büyük ölçüde farklılık göstermesi nedeniyle, peynir üretim prosesinin optimize edilmesi ve endüstriyel üretim ile ilgili çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- Abd El-Salam, M.H., 1987. Domiati and Feta Type Cheeses. In P.F. Fox (Ed.), Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Elsevier Applied Science, Vol. 2, 277-309.
- Akan, E., Yerlikaya, O. ve Kınık, Ö., 2014. Psikrotrof Bakterilerin Çiğ Süt ve Süt Ürünleri Kalitesine Etkisi. *Akademik Gıda*, **12** (4), 68-78.
- Anar, S., Soyutemiz, E. ve Çetinkaya, F., 2000. Örgü Peynirin Üretim Aşamalarında Görülen Bazı Mikrobiyolojik ve Kimyasal Değişimler. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **19** (1-2), 81-85.
- Arboatti, A.S., Olivares, M.L., Sabbag, N.G., Costa, S. C., Zorrilla, S.E. and Sihufe, G.A., 2014. The influence of sodium chloride reduction on physicochemical, biochemical, rheological and sensory characteristics of Mozzarella cheese. *Dairy Science and Technology*, **94**, 373-386.
- Calvo, M.V., Castillo, I., Diaz-Barcos, V., Requena T. and Fontecha, J., 2007. Effect of a Hygienized Rennet and

- a Defined Strain Starter on Proteolysis, Texture and Sensory Properties of Semi-Hard Goat Cheese. *Food Chemistry*, **102**, 917-924.
- Celik, S. and Turkoglu, H., 2007. Ripening of Örgü Cheese Manufactured with Raw or Pasteurized Milk: Composition and Biochemical Properties. *International Journal of Dairy Technology*, **60** (4), 253-258.
- Dağdemir, E., Celik, S. and Ozdemir, S., 2003. The effects of some starter cultures on the properties of Turkish White cheese. *International Journal of Dairy Technology*, **56** (4), 215-218.
- Fresno, M and Alvarez, S., 2012 Chemical, Textural and Sensorial Changes during the Ripening of Majorero Goat Cheese. *International Journal of Dairy Technology*, **65** (3), 393-400.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. and Mcsweeney, P.L.H., 2000. Fundamentals of Cheese Science. Aspen Publishers, 333-442.
- Gripon, J.C., Desmazeaud, M.J., Le Bars, D. and Bergere, J.L., 1975. Etude du role des micro-organismes et des enzymes au cours de la maturation des fromages. *Le Lait*, **548**, 502-516.
- Gürsoy, A., Gürsel, A., Şenel, E., Devci, O. ve Karademir, E., 2001. Yağ içeriği azaltılmış Beyaz peynir üretiminde *Lactobacillus helveticus* ve *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* kültürlerinin kullanımı. GAP II. Tarım Kongresi, Şanlıurfa, 24-26 Ekim 2001, 269-278.
- Güven, M. and Konar, A., 1997. Effects of Cumin Usage and Ripening Periods on the Chemical and Organoleptical Quality of Altenburger Cheese. *Journal of Çukurova University Faculty of Agriculture*, **12**, 69-78.
- Hatipoğlu, 2014. Geleneksel Diyarbakır Örgü Peynirinin Karakteristik Özelliklerinin Tespit Edilmesi ve Gıda Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 130.
- Hatipoğlu, A. ve Çelik, Ş., 2020a. Geleneksel Diyarbakır Örgü Peynirinin Tekstürel Özellikleri ve Mikrobiyal Florasının Depolama Periyodu Boyunca Değişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **24** (3), 609-617.
- Hatipoğlu, A. and Çelik, S., 2020b. The compositional and biochemical characteristics of traditional Diyarbakır Örgü cheese during the ripening period. *Indian Journal of Dairy Science*, **73** (4), 312-320.
- Hickey, D.K., Kilcawley, K.N., Beresford, T.P. and Wilkinson, M.G., Lipolysis in Cheddar Cheese Made from Raw, Thermized, and Pasteurized Milks. *Journal of Dairy Science*, **90** (1), 47-56.
- Kamber, U., 2005. Geleneksel Anadolu Peynirleri. Miki Matbaacılık, 27-201.
- Lavasani, A.R.S., Ehsani, M.R. Mirdamadi, S., Mousavi, M.A.E.Z., 2011. Changes in physicochemical and organoleptic properties of traditional Iranian cheese Lighvan during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, **65** (1), 64-70.
- Moreira, G.M.M., Costa, R.G.B., Teodoro, V.A.M., Paula, J.C.J., Sobral, D., Fernandes, C. and Gloria, M.B.A., 2018. Effect of ripening time on proteolysis, free amino acids, bioactive amines and texture profile of Gorgonzola-type cheese, *LWT*, **98**, 583-590.
- Ocak, E., Tunçtürk, Y., Javidipour, I. ve Köse, S., 2015. Farklı Tür Sütlerinden Üretilen Van Otlu Peynirlerinde Olgunlaşma Boyunca Meydana Gelen Değişiklikler: II. Mikrobiyolojik Değişiklikler, Lipoliz ve Serbest Yağ Asitleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, **25** (2), 164-173.
- Özmen Toğay, S. ve Temiz, A., 2011. Gıda Kaynaklı Enterokokların Gıda ve İnsan Sağlığı Yönünden Önemi. *Gıda*, **36** (5), 303-310.
- Pappa, E. C., Kondyli, E. and Samelis, J., 2019. Microbiological and biochemical characteristics of Kashkaval cheese produced using pasteurised or raw milk. *International Dairy Journal*, **89**, 60-67.
- Sert, D., Ayar, A. and Akın, N., 2007. The effects of starter culture on chemical composition, microbiological and sensory characteristics of Turkish Kaşar Cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, **60** (4), 245-252.
- Stadhouders, J. and Veringa, H.A., 1973. Fat Hydrolysis by Lactic Acid Bacteria in Cheese. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, **27**, 77-91.

Tarakçı, Z and Küçüköner, E., 2006. Changes on Physicochemical and Proteolysis of Vacuum-Packed Turkish Kasar Cheese during Ripening. *Journal Central European Agriculture*, **7** (3), 459-464.

Tavaria, F., Franco, I., Carballo, F. J. and Malcata, F. X., 2003. Amino acid and soluble nitrogen evolution throughout ripening of Serra da Estrela cheese. *International Dairy Journal*, **13** (7), 537-545.

Uraz, T. ve Şimşek, B., 1998. Ankara piyasasında satılan Beyaz peynirlerin proteoliz düzeylerinin belirlenmesi. *Gıda*, **23**, 371-375.

Uysal, Ş., 2008. Dil Peyniri Üretiminde Doğal Termofilik Peynir Altı Suyu (PAS) Kültürünün Kullanım Olanığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 83.

Yaşar, K., 2007. Farklı Pıhtılaştırıcı Enzim Kullanımının ve Olgunlaşma Süresinin Kaşar Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana, 134.

Yazıcı, F. and Dervişoğlu, M., 2003. Effect of pH adjustment on some chemical, biochemical, and sensory properties of Civil cheese during storage. *Journal of Food Engineering*, **56** (4), 361-369.

#### **İnternet kaynakları**

1-[http://online.turkpatent.gov.tr/trademark-search/pub/#trademark\\_result](http://online.turkpatent.gov.tr/trademark-search/pub/#trademark_result), (19.11.2020)

2-  
<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073099079118067120113075075119106115>, (25.11. 2020)

3-  
<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?05310710611106506711511304911609010710005605205510808109007108607506908504711067109075073081116103090081086073108065117084119102069065102114114065086100047122120087074065069069100079079121056> (22.12.2020)

4-  
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150208-16.htm> (30.11.2020)

5-  
<https://www.ci.gov.tr/Files/GeographicalSigns/170.pdf>



## Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Hidrografik Çalışmalardaki Kinematik Çözüm Performansının Araştırılması

Nedim Onur AYKUT<sup>1\*</sup>, Burak AKPINAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Sorumlu yazar e-posta: oaykut@yildiz.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5052-6217>  
e-posta: bakpinar@yildiz.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3076-1578>

Geliş Tarihi: 01.05.2021 Kabul Tarihi: 08.08.2021

### Öz

GPS teknolojisinin gelişmesiyle hidrografik çalışmalardaki konum belirleme doğruluğu bu alanda geliştirilen yeni yöntemlerle daha da iyileşmektedir. Gerçek zamanlı kinematik (RTK) ile ölçü sonrası kinematik değerlendirme (PPK) yöntemleri hidrografik çalışmaların çoğunda kullanılmaktadır. Hidrografi bilim dalında yapılan çoğu çalışmada Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemi tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nda Çubuklu semti açıklarında yapılan bir hidrografik çalışmada Thales Z-Max alıcıları kullanılarak 1 saniye kayıt aralığında sadece GPS verisi toplanmıştır. Çözümler için literatürde en çok kullanılan servislerden CSRS-PPP ve APPS-PPP servisleri tercih edilmiştir. Leica Infinity yazılımı ile gerçekleştirilen PPK çözümleri referans alınarak, her iki PPP servisine ilişkin çözümler ile epok epok karşılaştırılmıştır. Hesaplanan farklar analiz edilerek sadece GPS verisi toplanarak yapılan hidrografik çalışmalarda elde edilen doğruluk değerlerinin Uluslararası Hidrografik Ölçme Standartları (IHO-S44.6.baskı) kapsamında yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Hidrografi;  
Batimetri; GNSS;  
Hassas Nokta  
Konumlama; PPP

## A Research on Kinematic Processing Performance of Precise Point Positioning Method in Hydrographic Surveys

### Abstract

With the development of GPS technology, the accuracy of positioning in hydrographic studies is getting better with new techniques developed in this area. Real-time kinematics (RTK) and post processing kinematic (PPK) methods are used in most of the hydrographic surveys. The Precise Point Positioning (PPP) method has become a preferred method in most applications in the field of hydrography. In this study, only GPS data were collected at 1 second recording interval using Thales Z-Max receivers in a hydrographic survey carried out in the Bosphorus, in Çubuklu district. CSRS-PPP and APPS-PPP services, which are the most used services in the literature, were preferred for analysis. Using the PPK solutions realized with Leica Infinity software as a reference, the solutions for both PPP services were compared with each epoch by epoch. By analyzing the calculated differences, it was examined whether the accuracy values obtained in hydrographic surveys by collecting only GPS data are sufficient within the scope of International Hydrographic Survey Standards (IHO-S44.6. Edition).

### Keywords

Hydrography;  
Bathymetry; GNSS;  
Precise Point  
Positioning; PPP

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), bireysel kullanım taleplerinin de artmasıyla hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahip oldu. Günümüzde GNSS, cep telefonlarından otonom araçlara, gemilerin seyirinden mühendislik uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır.

Kod ölçüleri kullanılarak yapılan hidrografik çalışmalarda diferansiyel GPS ölçmeleri (DGPS) ile ulaşılan konum belirleme doğruluğu metre altı iken, sonraki yıllarda RTK yönteminin kullanılmasıyla birlikte doğruluk cm/dm seviyelerine yükselmiştir. En az iki alıcıyla yapılan diferansiyel GPS veya RTK GPS ölçmelerinde çalışma bölgesine yakın bir yerde koordinatı bilinen bir nokta referans olarak seçiliyor

ve hidrografik ölçüm teknesindeki alıcı gezici olarak veri topluyordu. Alıcılar arasındaki iletişim kullanılan yöntemlere göre VHF veya UHF bantlarından kuruluyordu. 10-20 km' den daha uzun mesafelerde ise iletişim internet/GSM şebekeleri yardımıyla kurulmaktaydı (El-Mowafy 2012). Tek baz RTK ölçümünde GSM şebekeleri üzerinden şehir içinde 50 km'ye kadar düzeltmeler alınabilmektedir (Aykut vd. 2015). Referans ve gezici alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişen uydu efemeris hatası, uydu saat hataları, iyonosfer hatası ve troposfer hatası gibi hata kaynakları en aza indirmek ve iletişim kısıtlarını ortadan kaldırmak için Dünyada GNSS Referans Ağları kurulmuştur (Farah 2015, Rizos and Han 2003). Türkiye'de kurulan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemiyle birlikte hidrografik çalışmalarda da referans istasyonu kurma zorunluluğu bir nevi ortadan kalmıştır. Bu sayede deniz ekiplerine destek için kurulan kara ekipleri gereksinimi de ortadan kaldırılmıştır. Ancak yakın kıyı çalışmaları dışındaki ölçmelerde, kıydan uzaklaştıkça GSM şebekesindeki iletişim kesikliği sebebiyle bazen Ağ RTK yönteminin de yetersiz kaldığı durumlar olmaktadır. Her ne kadar Omnistar gibi uydu düzeltmesi sağlayan sistemler kullanılsa da bunların ücretli olmaları nedeniyle çoğu çalışmada GSM iletişimi tercih edilmektedir.

GNSS yöntemleri kullanılarak ulaşılabilecek konum doğruluğu, kullanılacak ölçme yöntemine, ölçme aletlerine ve toplanan verilerin değerlendirme yöntemine bağlıdır. Günümüzde GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden Hassas Nokta Konumlama Yöntemi (PPP), sahip olduğu pek çok önemli avantajıyla klasik rölatif (bağıl) konum belirleme yöntemlerine karşı güçlü bir alternatif oluşturmuştur (Erol vd. 2020).

Alkan ve Öcalan (2013), İstanbul Haliç koyunda çift frekanslı Ashtech Z-Xtreme GNSS alıcısı ile toplanılan verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların rölatif çözüm sonuçları ile karşılaştırılması ile yatayda 0 ile 10 cm aralığında, düşeyde ise -20 ile +20 cm aralığında doğruluk elde etmişlerdir.

Anquela *et al.* (2013), şehir içinde araç ve yürüme stratejileri ile 5 saniye kayıt aralığı ile kinematik

olarak toplanan çift frekanslı GNSS verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen GPS/GLONASS sonuçlarının sadece GPS sonuçlarına göre az daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Farah (2015) yılındaki makalesinde çift frekanslı ölçülerin CSRS-PPP web servisi kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda enlem, boylam ve yükseklik koordinat hatalarını sırayla 2.2 cm, 2.1 cm ve 5.3 cm olarak 0.4 cm, 0.2 cm ve 0.5 cm standart sapma ile belirlemiştir.

Abdallah and Schwieger (2015), Almanya'da Rhine nehrinde Leica GX1230 GNSS alıcısı ile 1 saniye kayıt aralığında iki farklı stratejide veri toplanarak Bernese yazılımında değerlendirilmiştir. Birinci stratejide elde edilen standart sapmalarının Doğu yönünde 6 cm, Kuzey yönünde 2.1 cm ve yükseklik yönünde 6.8 cm olduğu anlaşılmaktadır. Verilerden %5'i kaba hatalı olarak kabul edilip, elemine edildiğinde standart sapma değerlerinin sırasıyla 5 cm, 1.2 cm ve 5 cm olarak hesaplandığı görülmektedir. İkinci stratejide ise ölçüme başladıktan sonra 40 dakika boyunca hareketsiz beklenmiş ve bu verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların 1.stratejiye göre daha iyi olduğu ve standart sapma değerlerinin sırasıyla 1.7 cm, 2.6 cm ve 4.9 cm olduğu görülmektedir.

Akpınar ve Aykut (2017) yılında hidrografik ölçmelerde kullanılan referans noktalarının koordinatlarının PPP yöntemiyle statik olarak belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada Türkiye kıyılarında yer alan 7 TUSAGA-Aktif noktasının ölçüleri kullanılmıştır. Verilerin değerlendirme aşamasında APPS servisi seçilmiş ve 1 saatlik GPS ölçülerinin değerlendirilmesiyle IHO Hidrografik Ölçme Standartlarının öngördüğü 10 cm konum doğruluğu değerini sağladığını ifade etmişlerdir.

Alkan vd. (2017) Çorum ilinde baraj gölünde Spectra Precision Epoch50 çok frekanslı GNSS alıcısı kullanarak yapılan çalışmadan sadece GPS ile GPS/GLONASS çözümlerinden elde edilen sonuçlarda GLONASS verisinin konum doğruluğuna çok da etkisinin olmadığını belirlemiştir. Bu

çalışma sonucunda yatayda  $\leq 1$  dm, düşeyde ise  $\leq 2$  dm doğruluklara ulaşılmıştır.

Farah (2018) Mısır'da Nil nehrinde GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS ölçümleri yaparak hem tek frekanslı hem de çift frekanslı verilerin değerlendirilmesiyle kinematik PPP çözüm performansını araştırmıştır. Ölçüler Leica Viva GS15 alıcısı ile 1 saniye kayıt aralığında, 10 derece yükseklik açısıyla toplanarak, 27.5 km uzunluğundaki hatta ölçüm 4 saat sürmüştür. CSRS-PPP web servisi veri değerlendirmeleri için seçilmiştir. Sadece GPS verilerinin değerlendirmesi sonucunda standart sapmaların ortalama değerleri enlem yönünde 1.9 cm, boylam yönünde 1.8 cm ve yükseklik yönünde 4.9 cm olarak belirlenmiştir. Maksimum değerlerin sırasıyla 3.6 cm, 2.7 cm ve 10.6 cm oldukları anlaşılmaktadır. GPS ve GLONASS ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde ise 1.3 cm, 1.4 cm ve 3.7 cm ortalama değerlere ulaşıldığı sadece GPS değerlendirmelerine yükseklikte 1.2 cm'lik bir iyileşme olduğunu ifade etmektedir.

Bezicioğlu vd. (2019), Antarktika Yarımadasında deniz ölçmelerinde çift frekanslı Topcon Hiper Pro GNSS alıcıları kullanılmış, bir alıcı kıyıda referans istasyonu olarak veri toplarken diğer alıcı da ölçme botunda 1 Hz aralıklarla kinematik GNSS verisi toplamıştır. Ölçümlere başlamadan önce başlangıç tamsayı belirsizliğinin çözülebilmesi için yaklaşık 25 dakika ölçme botu durağan şekilde veri toplamıştır. Bu çalışmada GNSS verileri hem PPP-AR hem de Geleneksel PPP yöntemiyle değerlendirilerek yöntemlerin konum belirleme performansı bağlı GNSS çözümleri referans alınarak incelenmiştir. CSRS-PPP servisinin Geleneksel PPP ve PPP-AR sürümleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, PPP-AR çözümlerinin standart sapmalarının Geleneksel PPP yönteminden biraz daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Rölatif, CSRS-PPP ve PPP-AR çözümleri sonucunda ortalama koordinat değerlerinden farklar alınarak standart sapmalar hesaplanmıştır. Standart sapmalar, rölatif çözüm için Kuzeyde 1.1 cm, Doğuda 6.0 cm ve yükseklikte 1.1 cm'dir. CSRS-PPP çözümü için sırasıyla 1.2 cm, 5.8 cm ve 2.4 cm'dir. PPP-AR yöntemi için ise 1.2 cm, 5.9 cm ve 2.9 cm'dir.

Bu çalışmada hidrografik ölçüm teknesinin konumunun sadece GPS gözlemleri kullanılarak hassas nokta konumlama yöntemi (PPP) ile belirlenmesi amaçlanmaktadır. PPP çözümleri için, literatürde yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen CSRS-PPP ile APPS-PPP web servisleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar referans olarak alınan Leica Infinity yazılımı ile belirlenen PPK sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yatay ve düşey yönlerde hesaplanan hataların IHO Hidrografik Ölçme Standartlarını sağlayıp sağlamadığı belirlenmiştir.

## 2. Uluslararası Hidrografik Ölçme Standartları

Özel Yayın (S-44) 6.baskısı hidrografik ölçmeler için geçerli standartları tanımlayarak, deniz ortamının seyir güvenliğini, bilgisini ve korunmasını artırmak için tasarlanmış diğer Uluslararası Hidrografik Organizasyonu (IHO) yayınları arasında yer almaktadır. İlk baskı 1968 yılında "Hidrografik Ölçmeler için Önerilen Doğruluk Standartları" ismiyle yayınlanmıştı. Sonrasında 1982 yılında 2.Baskı, 1987 yılında 3.Baskı, 1998 yılında 4.Baskı ve 2008 yılında ise 5.Baskısı yayınlamıştı (IHO 2020).

Bu baskıda hidrografik ölçmelerin yapılacağı sahalar için Ayrıcalıklı Derece, Özel Derece, 1a Derece, 1b Derece ve 2. Derece olmak üzere 5 farklı sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 1). 6.Baskıda tablolardaki standartların daha iyi anlaşılabilmesi için matris tanımlamaları yapılmış ve doğruluk değerleri bütüncül olarak bu matrislerde belirtilmiştir.

Toplam düşey belirsizlik (TVU) aşağıdaki eşitlik yardımıyla Çizelge 1'de verilen sahalar için a ve b parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada "a" derinlikle değişmeyen belirsizlik payı, "b" bir katsayı olmak üzere derinlik ile değişen belirsizlik payı ve "d" ise derinliktir. Buradaki değerler %95 güvenilirlik seviyesine göre hesaplanmaktadır (IHO 2020):

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (1)$$

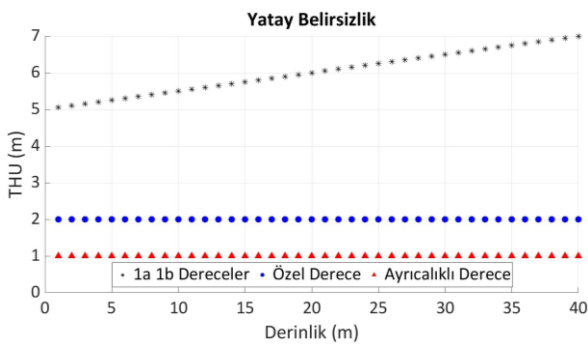
Toplam yatay belirsizlik (THU) Çizelge 1’de ilgili alanlar için verilmiş maksimum yatay belirsizlik değerleri toplamıdır. IHO Hidrografik Ölçme Standartlarına (6.Baskı) göre 0-40 metre derinlik aralığında tablodaki a ve b parametreleri ile (1) eşitliği kullanılarak hesaplanan TVU değerleri Şekil 1’de görülmektedir. Bu baskıyla kullanılmaya başlanan ayrıcalıklı derece alanlar için 40 metre

derinlikte hesaplanan TVU değeri 33 cm iken özel derece alanlar için bu değer 39 cm’dir. 1a ve 1b derece alanlarda ise bu değer 72 cm civarındadır.

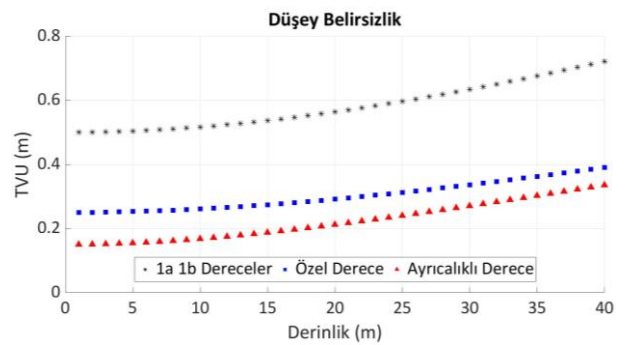
Ayrıcalıklı alanlarda toplam yatay belirsizlik (THU) 1 metre iken, özel derece alanlarda asgari 2 metredir. 1a ve 1b derece alanlarda ise bu değer derinliğe göre değişiklik göstermekle birlikte  $\geq 5$  metredir (Şekil 2).

**Çizelge 1.** Hidrografik ölçmelerin güvenliği için asgari batimetrik standartlar (IHO 2020)

Kriter	2.Derece	1b Derece	1a Derece	Özel Derece	Ayrıcalıklı Derece
Alan Tanımı	200 metreden derin deniz tabanının genel tanımının yeterli olduğu alanlar, açık denizler.	Gemi taşımacılığı için omurga altı geçiş derinliğinin (UKC) kritik olmadığı alanlar.	Gemi taşımacılığı için UKC’ nin kritik olmadığı ancak deniz tabanındaki özelliklerin etkili olacağı alanlar. Limanlar, demirleme sahaları, kanallar, kıyı alanları.	UKC’ nin kritik olduğu sahalar. Demirleme sahaları, limanlar, kritik geçiş sahaları, kanallar.	UKC ve manevra kabiliyetinin daha katı olduğu alanlar
Derinlik THU (m)+ Derinliğin %’si	20 m + Derinliğin %10’u	5 m + Derinliğin %5’i	5 m + Derinliğin %5’i	2 m	1 m
Derinlik TVU (a) m ve (b)	a = 1.0 m b = 0.023	a = 0.5 m b = 0.013	a = 0.5 m b = 0.013	a = 0.25 m b = 0.0075	a = 0.15 m b = 0.0075
Obje Yakalama (m) veya Derinliğin %’si	-	-	40 m’ye kadar derinliklerde kübik cisimler > 2 m, 40 m’den derinde derinliğin % 10’u	Kübik cisimler > 1 m	Kübik cisimler > 0.5 m
Obje Arama	Önerilir ancak gerekli değil	Önerilir ancak gerekli değil	%100	%100	%200
Batimetrik Kaplama (%)	%5	%5	$\leq$ %100	%100	%200



**Şekil 1.** Yatay belirsizlik değeri (0-40 metre)



**Şekil 2.** Düşey belirsizlik değeri (0-40 metre)

### 3. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Türkiye’de hidrografik çalışmalar kıyıya yakın yerlerde yapılıyor ise konumlandırma TUSAGA-Aktif sistemi yardımıyla gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK) yöntemiyle yapılmaktadır. Ham GPS verisinin kaydedildiği durumlarda çalışma sonrasında da PPK yöntemiyle konum bilgisi hesaplanmaktadır.

PPP çözümleri için, literatürde yapılan çalışmalarda en çok kullanılan CSRS-PPP ile APPS PPP web servisleri tercih edilmiştir. CSRS-PPP servisi Natural Resources Canada-NRCan tarafından işletilen, veri yükleme ve değerlendirme aşamaları açısından kullanıcı dostu bir web servisi olup e-posta ile üyelik gerektirmektedir. Hem GPS hem de GLONASS uydularıyla toplanan verilerin değerlendirilmelerinde kullanılabilir. Bu servisle statik ve kinematik verilerin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. APPS-PPP, JPL laboratuvarı tarafından işletilen, sadece GPS uydularının değerlendirilmesini sağlayan, altyapısında GIPSY-OASIS yazılımı yardımıyla hem statik hem de kinematik çözümlene yapabilen, e-posta üyeliği gerektiren bir web servisidir (Alçay vd. 2013).

PPP yöntemiyle statik veya kinematik olarak, kestirimi yapılan parametreler, üç boyutlu konum koordinatları, alıcı saat hatası, yerel troposferik zenit gecikmeleri ve taşıyıcı faz belirsizlikleridir. En iyi konum doğrulukları, çift frekanslı GNSS alıcısı ve hassas uydu yörünge ve saat hata ürünleri kullanılarak elde edilmektedir (Yiğit vd. 2016). Hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini IGS, CODE, JPL, GFZ, IGU, NGS, vb. merkezlerden temin etmek mümkün olabilmektedir. CSRS-PPP ve APPS-PPP web servisleri yardımıyla, ölçünün yapıldığı tarihe göre otomatik olarak çok hızlı, hızlı ve sonuç hassas yörüngeler kullanılarak çözüm elde edilmektedir. Her iki serviste güncel verilerin değerlendirilmesinde küresel olarak ITRF2014 datumunu kullanmaktadır. CSRS-PPP servisi ayrıca bölgesel olarak NAD83 sisteminde değerlendirme olanağı da sunmaktadır.

### 3.1 Veri toplama

Çalışma sahası olarak, İstanbul Boğazi Çubuklu semti açıkları seçilmiştir (Şekil 3). Ölçümlerde iki adet Thales Z-Max GPS alıcısı kullanılmıştır.



Şekil 3. Ölçme sahası (Google Earth)

Alıcılardan biri referans alıcı olarak hidrografi dairesinin eski yerleşim binasının terasına kurulmuş, diğeri ise ölçümlerin yapıldığı hidrografik ölçüm teknesine yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Referans alıcı ve ölçüm teknesindeki gezici alıcı

Thales Z-Max alıcısı çift frekanslı veri toplayabilme özelliğine sahip olup ancak sadece GPS sinyallerini toplayabilen, kinematik çözümde yatayda 0.010 m + 1.0 ppm düzeyde ise 0.020 m + 1.0 ppm konum duyarlılığına sahip alıcılardır (Aykut 2009).

Hidrografik ölçüm teknesinin hareketinden önce, iskeleye bağlı durağan bir şekilde yaklaşık 30 dakika süresince GPS verisi toplanmıştır. Ölçüm teknesi ile yaklaşık 1 saat süresince hidrografik ölçümler yapılmıştır. Hem referans alıcı da hem de gezici alıcıda 1 saniyelik kayıt aralığında GPS verisi toplanmıştır. Ölçmelerde 7.5 derece yükseklik açısıyla ortalama 8 adet uydu görüşü sağlanmış olup,

değerler ortalama olmak üzere, GDOP değeri 2.1, PDOP değeri 1.8, HDOP değeri 1.0 ve VDOP değeri 1.5 olarak hesaplanmıştır.

### 3.2 Veri değerlendirme

Hidrografi dairesinin eski yerleşim binasının terasında yer alan referans noktasının koordinatları, hidrografik ölçüm süresince bu noktada yaklaşık 4 saat boyunca toplanan GPS verilerinin AUSPOS servisi tarafından statik yöntemle değerlendirilmesiyle hesaplanmıştır (Çizelge 2). Değerlendirmede konum belirsizliği Kuzeyde 1.2 cm, Doğuda 1.3 cm ve yükseklikte 4.8 cm'dir.

Çizelge 2. Referans noktasının koordinat değerleri

X (m)	Y (m)	Z (m)
4206302.784	2338912.579	4171390.971

PPK çözümleri ise Leica Infinity 8.0 programında IGS sonuç hassas yörünge bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmede referans alıcının ITRF2014 ölçü epoğundaki koordinat değerleri sabit alınarak, PPK yöntemine göre referans-gezici bazları çözülmüş ve 1 saniyelik epoklarla gezici alıcının koordinatları hesaplanmıştır. Çözüm standart

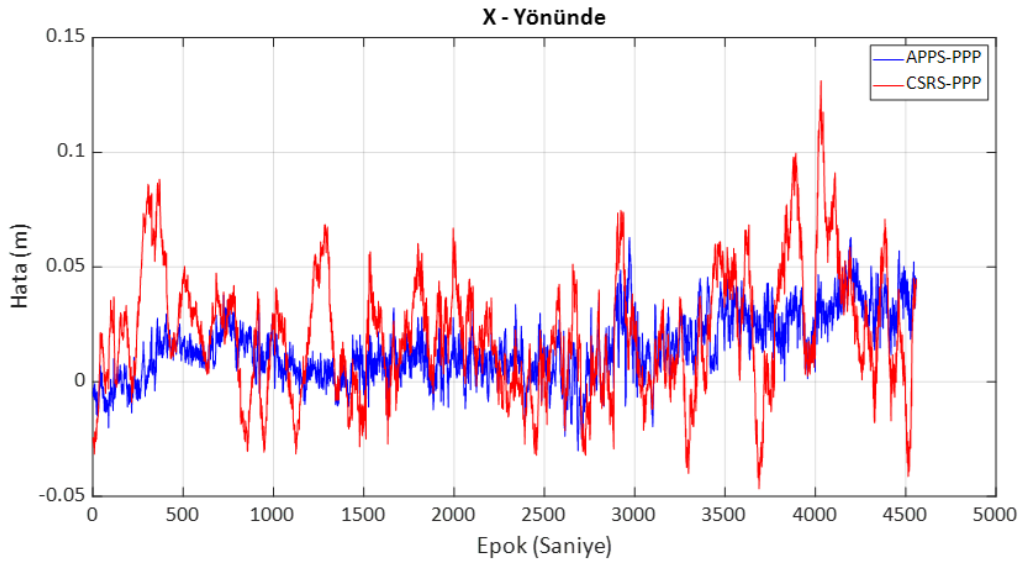
sapması ortalaması yukarı (X) yönde 0.4 cm, sağa (Y) yönde 0.3 cm ve yükseklikte 2.3 cm'dir.

CSRS-PPP servisi ile yapılan değerlendirme sonrasında elde edilen sonuçlar IGS05 (ITRF2005) sisteminde ölçü epoğunda hesaplanmıştır. APPS-PPP servisi ile yapılan değerlendirmeler ITRF2014 datumunda ölçü epoğunda hesaplanmıştır. Her iki servis kullanılarak yapılan değerlendirmelerde anten yükseklik açısı 7.5 derece olarak alınmıştır. Tüm sonuçlar karşılaştırmaların yapıldığı ITRF2014 datumuna NRCan TRX masaüstü yazılımından yararlanılarak dönüştürülmüştür. PPK yöntemiyle yapılan değerlendirmeler referans (bilinen) olarak kabul edilmiş ve  $\varepsilon_X$  ve  $\varepsilon_Y$  hataları koordinat farklarından aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\varepsilon_{X(i)} = X_{PPP(i)} - X_{PPK(i)} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{Y(i)} = Y_{PPP(i)} - Y_{PPK(i)} \quad (3)$$

Burada  $\varepsilon_X$ , yukarı (X) yöndeki koordinat hatası,  $\varepsilon_Y$  ise sağa (Y) yöndeki koordinat hatasıdır. Hata miktarları CSRS-PPP ve APPS-PPP servisleri için ayrı ayrı hesaplanmış olup, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. X yönündeki hatalar

Hidrografik ölçme standartlarına göre yatay ve düşey konumlandırma hataları ayrı ayrı incelenmektedir. Düşey yöndeki değişimlere ait hata miktarı (4) eşitliği ile belirlenebilir. Burada  $\varepsilon_h$  ölçüm sonuçlarını düşey yönde etkileyen elipsoidal

yükseklik farkı hatasıdır. Düşey yöndeki hatalar Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$\varepsilon_{h(i)} = h_{PPP(i)} - h_{PPK(i)} \quad (4)$$



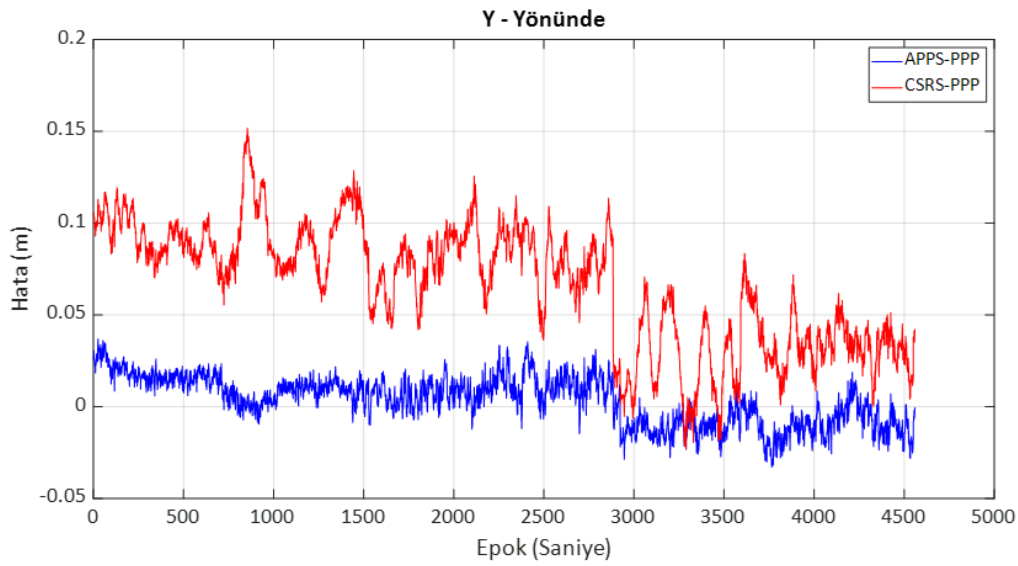
APPS-PPP servisi kullanılarak hesaplanan hata miktarlarının daha az olduğu, ortalama değer olarak X yönünde 0.3 cm, Y yönünde 1.5 cm ve düşey yönde -10.6 cm olduğu belirlenmiştir. Standart sapma değerleri sırasıyla 1.3 cm, 1.4 cm ve 5.3 cm'dir.

CSRS-PPP servisi çözümleri sonrasında hesaplanan hatalar ortalama değer olarak X yönünde 6.6 cm, Y

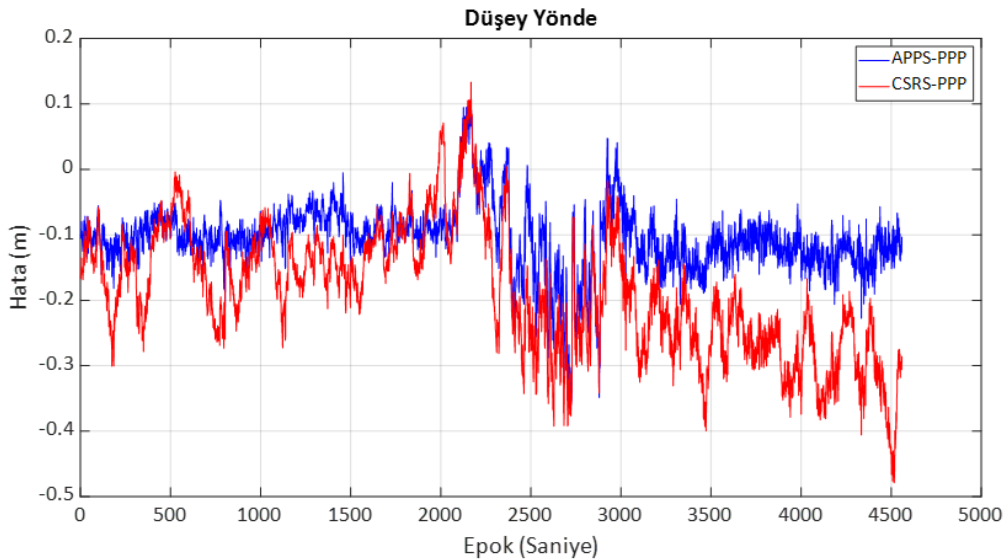
yönünde 2.1 cm ve düşey yönde -18.7 cm'dir. Standart sapma değerleri sırasıyla 3.3 cm, 2.7 cm ve 9.7 cm'dir. Çözüm sonuçlarında hesaplanan ortalama hata değerleri, minimum ve maksimum hata miktarları ve standart sapma değerleri Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. PPP çözümlerinin yatay ve düşey yöndeki hata miktarları

Web Servisi	APPS-PPP			CSRS-PPP			
	Yön	X (m)	Y (m)	h (m)	X (m)	Y (m)	h (m)
Ortalama		0.0034	0.0145	-0.1058	0.0662	0.0205	-0.1869
Standart Sapma		0.0129	0.0143	0.0525	0.0330	0.0268	0.0969
Maksimum		0.0370	0.0629	0.1093	0.1518	0.1312	0.1335
Minimum		-0.0330	-0.0301	-0.3683	-0.0231	-0.0467	-0.4790



Şekil 6. Y yönündeki hatalar



Şekil 7. Düşey yöndeki hatalar

### 3.3. Sonuçların IHO standartları açısından analizi

Hassas nokta konumlama yöntemi ile ulaşılan sonuçların, IHO Hidrografik Ölçme Standartlarını sağlayıp sağlamadıklarını belirlemek için öncelikle iki boyutlu (2D) konum belirsizliğinin hesaplanması gerekmektedir. X ve Y yönündeki hatalardan Eşitlik 5'e göre belirlenen karesel ortalama hata PPP çözümlerinin iki boyutlu konum doğruluğuna (2D) ilişkin uygun bir istatistiktir (Aydın vd. 2018):

$$RMS_{(2D)} = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]_X + [\varepsilon\varepsilon]_Y}{n}} \quad (5)$$

APPS-PPP çözümleri ile elde edilen yatay konum doğruluğu 2.4 cm ( $1\sigma$ ) ve CSRS-PPP çözümleri ile hesaplanan değer ise 8.1 cm'dir. Düşey yöndeki değişimlerin (1D) doğruluğuna ilişkin n sayıda ölçü için karesel ortalama hata 6 no.lu eşitlik ile hesaplanabilir (Aydın vd. 2018).

$$RMS_{(1D)} = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]_h}{n}} \quad (6)$$

Bu çalışmada APPS-PPP çözümleri ile elde edilen düşey doğruluk değeri 11.8 cm ( $1\sigma$ ) iken, CSRS-PPP çözümleri ile elde edilen değer 21.0 cm'dir.

Düşey konum doğruluğu açısından incelendiğinde öngörülen toplam düşey belirsizlik değerleri Şekil 2'de verilmektedir. 40 metre derinlikte yapılan bir çalışmada, ayrıcalıklı sahalar için 33 cm olan bu değer, özel derece için 39 cm iken 1a ve 1b dereceler için 72 cm'dir. Diğer bir deyişle düşey yöndeki maksimum hata miktarları olarak ifade edilen bu değerler düşey yöndeki tüm hata kaynaklarını içermekte ve (7) no.lu eşitlik ile ifade edilebilir:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{ses\ hızı}^2 + \sigma_{hareket}^2 + \sigma_{draft}^2 + \sigma_{gel-git}^2 + \sigma_{tespit}^2} \quad (7)$$

Düşey yöndeki toplam hata miktarı, sırasıyla ses hızı profilindeki eğim değişimine bağlı hata, ölçme teknesinin hareketine bağlı hata, teknenin su çekimine bağlı hata, gel-git ölçümüne bağlı hata ve obje tespit hatalarının toplamıdır (Aykut, 2009). (7)

no.lu eşitlikteki  $\sigma_{hareket}^2$ ,  $\sigma_{draft}^2$ ,  $\sigma_{gel-git}^2$  hataları teknenin hareketine, çökmesine, inip kalkmasına, su seviyesinin değişimine bağlı hatalar olup, zaten PPP yöntemiyle belirlenen düşey konumlandırma hataları içerisinde de yer almaktadır.

### 4. Sonuç ve Öneriler

Sadece GPS uyduları ile yapılan PPP çözümlerinde yatay konum doğruluklarının %95 güvenilirlik seviyesinde sırasıyla APPS-PPP için 4.9 cm ( $2\sigma$ ) ve CSRS-PPP için 16.2 cm olduğu ve bu değerlerin Şekil 1'de verilen IHO Hidrografik Ölçme Standartları kapsamında tüm saha tanımlamaları için öngörülen maksimum değerlerin altında olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, hidrografik çalışmalarda yatay konumlandırmanın (2D) hassas nokta konumlama yöntemi kullanılarak sadece GPS gözlemleri ile hem APPS-PPP ve hem de CSRS-PPP servisleri ile belirlenebilir olduğu yapılan analizlerden anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, PPP yöntemiyle hesaplanan düşey konumlandırma hatası %95 güvenilirlik seviyesinde APPS-PPP çözümleri için 23.6 cm ( $2\sigma$ ), CSRS-PPP çözümleri için ise 42.1 cm'dir. Sadece GPS gözlemleri kullanılarak yapılan bu çalışmada, düşey belirsizlik değerleri açısından ayrıcalıklı ve özel derece alanlar için IHO standartlarının öngördüğü asgari standartları sağlamadığı görülmektedir. APPS-PPP çözümlerindeki hata miktarlarının CSRS-PPP'ye göre daha az olduğu ve omurga-altı geçiş derinliğinin (UKC) kritik olmadığı 1a, 1b ve 2.derece alanlar için tercih edilebilir olduğu anlaşılmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışmada ölçümlerin yapılmasında destek veren Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na, PPK çözümlerinde kullanılan Leica Infinity 8.0 yazılımı için SİSTEM A.Ş' ye ve CSRS-PPP, APPS-PPP ve AUSPOS web servislerine teşekkür ederiz.



## 5. Kaynaklar

- Abdallah, A. and Schwieger, V., 2015. Kinematic Precise Point Positioning (PPP) Solution for Hydrographic Applications. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World, *FIG Working Week 2015*, Bulgaria, 1-18.
- Akçay, S., Yiğit, C.Ö. ve Ayhan, C., 2013. CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS Web Tabanlı Yazılımların Statik PPP Modüllerinin Karşılaştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **5(1)**, 1-12.
- Akpınar, B. and Aykut, N.O., 2017. Determining the Coordinates of Control Points in Hydrographic Surveying by the Precise Point Positioning Method. *The Journal of Navigation*, **70(2)**, 1241-1252.
- Alkan, R.M., Saka, M.H., Ozulu, İ.M. and İlçi, V., 2017. Kinematic Precise Point Positioning Using GPS and GLONASS Measurements In Marine Environments. *Measurement*, **109**, 36-43.
- Alkan, R.M. and Öcalan, T., 2013. Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications. *Journal of Navigation*, **66(4)**, 579-588.
- Anquela, A.B., Martin, A., Berne, J.L. and Padin, J., 2013. GPS and GLONASS Static and Kinematic PPP Results. *Journal of Surveying Engineering*, **139(1)**, 47-58.
- Aydın, C., Aykut, N.O. ve Akpınar, B., 2018. GNSS-PPP ile Elde Edilen Düşey Yerdeğiştirmenin Doğruluğu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **18(2)**, 605-615.
- Aykut, N.O., Gülal, E., and Akpınar, B., 2015. Performance of Single Base RTK GNSS Method versus Network RTK. *Earth Sciences Research Journal*, **19(2)**, 135-139.
- Aykut, N.O., 2009. Sığ Sulardaki Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanımı ve Hata Analizi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 135.
- Beziçioğlu, M., Yiğit, C.Ö. ve Bodur, M.N., 2019. Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19(1)**, 162-169.
- El-Mowafy, A., 2012. Global Navigation Satellite Systems -Signal, Theory and Applications, Chapter 7, Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, Shuanggen Jin (Editor), IntechOpen, 161-164.
- Erol, S., Mutlu, B., Erol, B., Katıgöz, S. ve Alkan, R.M., 2020. Antarktika Kıtasında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) Tekniğinin Performansının İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **20(5)**, 844-856.
- Farah, A., 2018. Kinematic-PPP using Single/Dual Frequency Observations from (GPS, GLONASS and GPS/GLONASS) Constellations for Hydrography. *Artificial Satellites*, **53(1)**, 37-46.
- Farah, A., 2015. Accuracy Assessment Study for Kinematic GPS-PPP Using Single- and Dual-Frequency Observations with Various Software Packages. *Arab J Sci Eng*, **40**, 2013-2019.
- International Hydrographic Organization (IHO), 2020. IHO Standards for Hydrographic Surveys S-44 Edition 6.0.0., *IHO Publication No.44*, Monaco, 1-49.
- Rizos C. and Han, S., 2003. Reference Station Network Based RTK Systems-Concepts and Progress, *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. **8(2B)**, 566-574.
- Yiğit, C.Ö., Özdemir, B.N., Akçay, S. ve Ceylan, A., 2016. CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği. *Harita Dergisi*, **155**, 23-31.

# Nominal Değerleme Yöntemi ile CBS Destekli Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması: Avanos/Nevşehir Örneği

Müberra DOLDUR\*<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: \*doldurm@itu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5259-5494>  
alkanr@itu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1981-9783>

Geliş Tarihi: 01.03.2021

Kabul Tarihi: 26.07.2021

## Öz

**Anahtar kelimeler**  
Taşınmaz Değerleme;  
Nominal Değerleme;  
Coğrafi Bilgi Sistemleri  
(CBS);  
Taşınmaz Değer  
Haritası;  
Analitik Hiyerarşi  
Süreci (AHP)

Bu çalışmada, Nevşehir ili Avanos ilçesinde, CBS tabanlı 2 farklı nominal taşınmaz değer modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan taşınmaz değer modellerinden ilkinde (Model-1) literatürde genel kabul görmüş faktör puanlamaları ve ağırlıklar kullanılmıştır. Buna karşılık 2. taşınmaz değer modelinde (Model-2) ise, puanlama olarak literatüre tamamen bağlı kalınmamış, çalışma alanına has özellikler de göz önünde bulundurularak, tecrübelerimizden yararlanarak puanlama kısmen değiştirilmiştir. Ayrıca, Model-2'de ağırlıkların belirlenmesinde yine literatürden bazı farklılıklarla çalışma alanının yerel özellikleri de göz önünde bulundurularak Analitik Hiyerarşi Süreci ile bir ağırlıklandırma yapılmıştır. Nominal taşınmaz değer modelleri oluşturulduktan sonra, üretilen iki taşınmaz değer modelinin parsellere dönüşümü yapılmış ve rayiç değerlerden elde edilen birim değerlere göre endeksleme yapıp TL'ye çevrilmiştir. Oluşturulan modeller, rayiç değerlerle sokak bazında karşılaştırıldığında, literatüre göre üretilmiş olan Model-1'in yaklaşık %79 uyumluluk oranında, yerel özelliklerin de hesaba katılarak üretilen Model-2'nin ise yaklaşık %88 uyumluluk oranına sahip olduğu görülmüştür. Son olarak, ilgili belediyeden alınan vergi değerleri ile rayiç değerler sokak bazında karşılaştırılmış ve vergi değerlerinin, rayiç değerlerden anlamlı miktarda farklı olduğu sonucuna varılmıştır.

## Producing GIS-based Land Value Maps by Using Nominal Valuation Method: Case Study in Avanos/Nevşehir

### Abstract

In this study, two different GIS-based nominal land value maps have been created in Avanos district of Nevşehir province. One of the land value maps (Model-1) was created using factor scoring and weights that accepted in the literature. On the other hand, for the 2nd land value map (Model-2), factor scoring was not performed based on the literature entirely; instead, it was partially changed by taking the local characteristics of the study area into consideration, and by using our expert experiences in the region. In addition, for Model-2, weighting was made via the Analytical Hierarchy Process (AHP), by taking the local characteristics of the study area into account. After the nominal land value maps were created, they were converted into parcels and indexed according to the unit values obtained from the current values and converted to TL. When the nominal values were compared with the current values on a street basis, it has been observed that Model-1 which was produced according to the literature has a compatibility rate (approximately) of 79%, and Model-2 which was produced by considering the local features has a compatibility rate of (approximately) 88%. Finally, the tax values collected from the relevant municipality and the current values were compared on a street basis and it was concluded that the tax values were found significantly different than the current values.

### Keywords

Real Estate Valuation;  
Nominal Valuation;  
Geographic  
Information Systems  
(GIS);  
Land Value Map;  
Analytical Hierarchy  
Process (AHP)

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

İnsanoğlu var olduğu günden beri çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla taşınmaz mallara ihtiyaç duymuştur. Bu durum, mülkiyet kavramının ortaya

çıkmasına neden olmuştur. Mülkiyet hakkı ile güvence altına alınan haklar, karışıklıkların ortadan giderilmesini sağlamış, insanlara güvence vermiştir. Zira insanlar sahip oldukları arazi, arsa ve yapılardan gelir-fayda elde etmektedir. Dolayısıyla, taşınmaz

mal olarak nitelendirilen arazi, arsa ve yapılar bir değere sahiptir. Bu değer belirlenmesi "Taşınmaz (Mal) Değerlemesi" olarak adlandırılmakta olup, "bir taşınmazın veya bu taşınmazın mevcut özelliklerinin ve sahip olduğu hak ve faydaların saptanması ve bu özellikler ışığında taşınmazın belirli bir tarihteki olası değerinin tarafsız ve bağımsız kişi, kurum ve kurumlarca belirlenmesi işlemi" olarak tanımlanmaktadır. Taşınmaz değerlendirme işlemine, başta emlak vergisi, kamulaştırma, tescile esas işlemler, arazi-arsa düzenlemeleri, irtifak hakkı tesisi gibi kamusal uygulamalar ile sermaye piyasası, bankacılık, sigortacılık ve kredilendirme gibi özel sektör uygulamaları olmak üzere pek çok farklı alanda ihtiyaç duyulmaktadır (Yomralıoğlu 2019).

Ülkemizde taşınmaz değerlendirme çalışmaları her geçen gün önem kazanmış ve hükümet politikaları haline gelmiştir. Bu bağlamda ülkemizde atılan önemli adımlardan birisi, 3 Ağustos 2018 tarihinde açıklanan "100 Günlük İcraat" programında Taşınmaz Değerleme Sistemi'ne işaret edilmesidir. Daha sonrasında, "2019 yılı Yeni Ekonomik Programı" kapsamında yine Taşınmaz Değerleme Sistemi'nden bahsedilmiştir. Bu süreçte 5 Şubat 2019'da Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü bünyesinde "Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı"'nın kurulması, Resmî Gazete'de yayımlanan 30 no.lu Kararname'ye göre kararlaştırılmıştır. Kurulacak olan Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı'nın görevleri arasında; toplu değerlendirme yöntemleri ile taşınmaz değerlerinin belirlenmesi, değer bilgi merkezinin kurulması, yönetilmesi ve değer haritalarının üretilmesi ile güncelliğinin sağlanması bulunmaktadır. Ayrıca, Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı, gerekirse toplu değerlendirme çalışmalarında kullanılmak maksadıyla tekil değerlendirme çalışmalarının yaptırılmasından veya talep edilmesinden de sorumludur. Bunun yanında, Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı'nın diğer görevleri; toplu değerlendirme çalışmalarına ilişkin faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, taşınmaz değerlendirme ve toplu değerlendirme konularıyla ilgili ihtiyaç analizlerinin yapılması, uluslararası gelişmelerin takip edilmesi, toplu değerlendirme standartları üzerine çalışmalar yapılması ve toplu değerlendirme faaliyetleri

sonucunda elde edilen verilere dayalı olarak raporların ve istatistiklerin yayımlanması olarak ifade edilmektedir (Int. Kyn. 1).

Türkiye'de taşınmaz değerlemenin mevcut yapısı incelendiğinde, taşınmaz değerlendirme sisteminin bütüncül bir bakış açısına ve ortak değerlendirme standartlarına sahip olmadığı dikkat çekmektedir. Zira Türkiye'de taşınmaz değerlemesi yoğunluklu olarak Kamulaştırma Kanunu, Emlak Vergisi Kanunu, SPK tebliğleri vb. çeşitli yasal düzenlemelere göre farklı kişi ve kurumlar tarafından yapılmaktadır. Bu durum, ülkemizde değerlendirme alanında subjektifliğe neden olmaktadır. Bu sorunun ortadan giderilmesi amacıyla ivedilikle taşınmaz değer haritalarının üretimine ihtiyaç duyulmaktadır (Ülger vd. 2019).

Gerçekten de taşınmaz değer haritaları çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olup, önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bunlardan birisi de emlak vergisi uygulamalarıdır. Emlak Vergisi Kanunu'nun 23. ve 37. maddelerine göre vergi amaçlı taşınmaz değerlerinin belirlenmesinden ilgili belediyeler sorumludur. Belediyeler tarafından vergi amaçlı belirlenen rayiç değerler bir sokaktaki bütün taşınmazların aynı değerinde olduğunu kabul etmektedir. Fakat, aynı sokakta hatta aynı yapıda bile olsa taşınmazların birbirlerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri vardır. Örneğin, bir binada bakılan manzara ve cephe, bulunduğu kat gibi faktörler, aynı binadaki dairelerin şerefiyeleri nedeniyle rayiç değerlerinin farklı olmasına yol açmaktadır. Rayiç bedellerindeki fark, aynı yapı üzerinde bile bu kadar farklıyken, bütün sokaktaki rayiç değerlerin eşit olduğu kabulünün adil bir vergilendirme için uygun olmadığı açıktır (Int. Kyn. 2). Hiç şüphesiz bu kapsamda üretilecek olan değer haritaları sayesinde, aynı sokaktaki parsellerin dahi birbirlerine göre değer farkları kolaylıkla görülebilecektir.

Diğer yandan, Harçlar Kanunu'nun 63. maddesine göre taşınmazların devir ve iktisaplarında alınacak olan tapu ve kadastro harçları, ilgili taşınmazın emlak vergi değerinden az olmamak üzere mükelleflerce beyan edilen devir ve iktisap bedeli üzerinden hesaplanmaktadır. Bununla birlikte,

taşınmaz el değiştirmelerinde ödenecek olan harç ve vergi nedeniyle gerçek değer beyanında eksiklikler olabilmektedir. Vergi değerinin taşınmazın gerçek değerini yansıtmadığı veya gerçek değer her zaman beyan edilmediği durumlarda, çok ciddi miktarlarda kamusal kayıplar ortaya çıkmaktadır. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı verilerine göre 2019 yılında ülkemizde yaklaşık 2.4 milyon taşınmazın el değiştirdiği ve bunlardan yaklaşık 10.3 milyar TL'lik bir harç geliri elde edildiği ifade edilmektedir (Int. Kyn. 3). Yine Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı verilerine göre 2020 yılında ise yaklaşık 2.7 milyon taşınmazın el değiştirdiği ve bu taşınmazlardan elde edilen tapu harcının yaklaşık 18.2 milyar lira ile tüm zamanların en yüksek yıllık değeri olduğu görülmektedir (Int. Kyn. 4). Yukarıda ifade edildiği üzere, Ülkemizde her yıl milyonlarca taşınmazın el değiştirdiği, bunların alım-satımlarından milyarlarca liralık harç geliri elde edildiği göz önüne alındığında, bu işlemlerin taşınmazların gerçek değerlerine göre yapılacağı bir sisteme geçilmesinin ülkemiz kamu maliyesi açısından ne denli büyük bir öneme sahip olduğu çok net bir şekilde görülmektedir. Bu konuda en önemli adımlardan birisini TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı atmıştır. Bakanlık, ülkemizdeki tüm taşınmazların "gerçek değer haritasını" çıkarmak üzere çalışmalara başlamış olup, sistemin 2022 yılında da faaliyete geçmesi beklenmektedir (Int. Kyn. 5). Böylelikle tapuda gerçekleşecek alım-satım işlemlerinde bu haritalarda yer alan değerler esas alınacak, bunun altındaki değerlerin dikkate alınmaması nedeniyle 6-7 milyar Amerikan dolarına ulaştığı tahmin edilen vergi kayıplarının önüne geçilmesi mümkün olacaktır (Int. Kyn. 6).

Bunlara ek olarak, taşınmaz değer haritaları kamulaştırma, arsa ve arazi düzenlemelerinde de sıklıkla kullanılabilir. Örneğin İmar Yasası kapsamındaki 18. madde uygulamalarında parsellerin yeniden dağıtımlarında bu altlıklar kullanılarak parsel değerleri dikkate alınarak dağıtım yapılması mümkün olabilecektir (Int. Kyn. 2). Ayrıca, 16/05/2012 tarihinde yürürlüğe giren 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun"un 6. maddesinde katılım

değerinden bahsedilmekte ve bu maddenin (c) fıkrasında *bakanlığın aynı alanlara ilişkin taşınmaz mal mülkiyetini anlaşma sağlamak kaydı ile menkul değere dönüştürmeye yetkili olduğundan* bahsedilmektedir. Aynı kanunun 6. maddesinin 7. paragrafında, "Bu kanun çerçevesinde dönüştürmeye tabi tutulan taşınmazların, üzerindeki köhnemiş yapılar da dâhil olmak üzere, muhdesatı ile birlikte değer tespiti işlemleri ve dönüşüm ile oluşacak taşınmazların değerlemeleri Bakanlık, TOKİ veya İdarece yapılır veya yaptırılır" ifadesi yer almaktadır (Ülger vd. 2019). Yani, kentsel dönüşüm ve kamulaştırma uygulamalarında da değerlendirme işlemine ve taşınmaz değer haritalarının üretilmesine ihtiyaç olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, Taşınmaz Değer Haritaları'nın üretimiyle taşınmaz değer değişimleri de izlenebilmektedir. On birinci kalkınma planında (2019-2023), taşınmaz değer artışlarının etkili bir şekilde yönetimiyle hem kentsel mekânın ve kalitesinin artırılması hem de kentsel hizmetlerin yaygınlaştırılması ve geliştirilmesine yönelik faaliyetler için kaynak oluşturulmasının sağlanacağından söz edilmektedir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2019). Dolayısıyla, şehirleşme alanında da taşınmaz değer haritalarının üretimine ciddi bir ihtiyaç bulunmaktadır.

Tüm bunların neticesi olarak, ülkemizde toplu taşınmaz değerlendirme çalışmaları giderek yoğunlaşmış ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli taşınmaz değer haritalarının oluşturulması büyük önem arz etmeye başlamıştır. CBS, konumsal-mekansal verinin toplanması, saklanması, işlenmesi, görselleştirilmesi, analizi, sorgulanması ve çıktısının alınması işlemlerine olanak tanıyan bir sistemdir. Taşınmazların coğrafi bir niteliği olduğundan, taşınmazın değerini olumlu ya da olumsuz etkileyen çevresel faktörlerin değere katkısı ancak CBS ile optimum bir şekilde belirlenebilir (Ülger vd. 2019). Bu nedenle, taşınmaz değerlendirme çalışmalarında kullanılmak üzere, CBS destekli taşınmaz değer haritalarının oluşturulması gündeme gelmiştir. Bu bağlamda, bir "Taşınmaz Değerleme Sistemi"nin kurulması son derece önemli hale gelmektedir. Taşınmaz Değerleme Sistemi'nin kurulmasıyla ve taşınmaz değer haritalarının oluşturulup, yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, taşınmaz geliştirme

alanındaki pek çok uygulamada yararlanılacak önemli bir araç olarak karar-destek mekanizmalarına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu sayede örneğin adil bir vergilendirme sisteminin oluşturulması, kamu yatırımları yapılırken gereken kamulaştırma işlemlerinde daha uygun alternatiflerin bulunması mümkün olabilecektir.

Yukarıda ana hatlarıyla verilen konular başta olmak üzere taşınmaz geliştirme ile ilgili hemen her alanda taşınmaz değer haritalarının üretilmesi büyük bir öneme sahip olacak olup, üretilmeleri, güncel tutulmaları ve geliştirilmeleri için çalışmalar hiç şüphesiz artan bir ivmeyle devam edecektir.

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli taşınmaz değer haritalarının üretilmesi amaçlanmış ve bu kapsamda Avanos/Nevşehir çalışma alanında 2 farklı yaklaşımla taşınmaz değer modeli üretilmiştir. Üretilen modellere ait sonuçlar, rayiç değerlerine ulaşılabilen parseller ve ilgili belediyeden alınan vergi değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu bağlamda, yapılan çalışmalara ve elde edilen bulgulara çalışmada detaylıca yer verilmiştir.

## **2. Taşınmaz Değerleme Yöntemleri**

### **2.1. Nominal Değerleme Yöntemi**

Taşınmaz değerlemesi için pek çok farklı yöntem ve yaklaşım bulunmaktadır. Klasik yöntemler olarak adlandırılan emsal, gelir, maliyet ve karma yöntemler daha çok tekil değerlendirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bunun yanında, son yıllarda modern/istatistikî yöntemler olarak anılan yapay sinir ağları, hedonik, bulanık mantık, çoklu regresyon, nominal yöntem gibi çeşitli yöntemler toplu değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Taşınmaz değerlendirme, her ne kadar standartlara göre yapılırsa da değerlendirme sonucu kişiden kişiye göre değişebilmektedir. Yapılan değerlendirme çalışmaları incelendiğinde benimsenen sübjektif yaklaşımlardan dolayı aynı taşınmaz için birbirinden farklı değerler takdir edilebilmektedir.

Tekil taşınmaz değerlendirme çalışmalarında genellikle emsal (karşılaştırma) yöntemi kullanılır. Emsal (karşılaştırma) yöntemiyle fiziksel, yasal ve piyasa faktörleri doğrudan kıyaslanabilmektedir. Ancak, her taşınmazın sahip olduğu konum, mekânsal olarak benzersizdir. Bundan dolayı; bazı durumlarda tekil değerlendirme, taşınmazın değerini olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen mekânsal faktörlerin değere objektif olarak yansıtılmasında yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, alternatif değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Wyatt 1995, Yomralıoğlu ve Nişancı 2004).

Geniş alanlarda yapılacak "toplular taşınmaz değerlendirme"leri, taşınmazların sayıca fazla olmasından ve çalışma alanının geniş olmasından dolayı oldukça zorlu bir işlem olmakta ve taşınmaz değerlendirme için harcanan zamanın uzamasına sebep olmaktadır. Örneğin emlak vergisi amaçlı yapılan değerlendirme çalışmalarında tüm taşınmazların değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu işlem özellikle büyük yerleşim yerlerinde çok zaman alacaktır. Pratikte yukarıda da ifade edildiği üzere belediyeler cadde/sokak bazında bir vergi değeri belirleyip, aynı cadde/sokaktaki aynı alanlı tüm taşınmazların değerlerini eşit (aynı) kabul etmekte ve aynı oranda vergi almaktadır. Oysa, her bir taşınmaz, diğer komşu taşınmazlara göre çeşitli faktörlere bağlı olarak değerini etkileyen birtakım olumlu veya olumsuz özellikler taşıyabilmektedir. Bunun sonucunda parseller/birimler arasındaki farklılıklar, değere (tam olarak) yansıtılmamakta ve aynı sokaktaki taşınmazların eş değerde olduğunun kabul edilmesi, vergi adaletsizliklerine sebebiyet vermektedir. Diğer yandan idareler açısından da vergi kayıpları oluşmaktadır. Dolayısıyla, fazla sayıda taşınmazın olduğu bir bölgede, taşınmazların değerlendirilmesi yapılırken taşınmazların birbirlerine göre değer dağılımının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Değer dağılımının belirlenmesinde rayiç değerler kullanılabileceği gibi puanlama ile üretilmiş parametrik değerler de kullanılabilmektedir. Parametrik değerlerin üretilmesi için değeri etkileyen faktörler formüle edilip taban ve tavan puanları tespit edilir ve her bir taşınmaz için bir katsayı hesaplanır. Taşınmazların birbirlerine göre değerini gösteren bu

katsayılar gerekirse rayiç değere hızlıca dönüştürülebilmektedir. Bu şekilde, yapılan taşınmaz değerlendirme diğer klasik yöntemlerden farklı bir yaklaşım olup, literatürde nominal değerlendirme olarak adlandırılmaktadır (Yomralıoğlu 1997.a). İstatistikî değerlendirme yöntemlerinden olan nominal yöntem ile, vergi amaçlı değerlemede olduğu gibi çok sayıda taşınmazın değerlemesinin yapılacağı durumlarda taşınmazların değerlendirilmesi bilimsel yaklaşımlarla, oldukça pratik bir şekilde, olabildiğince objektif şekilde yapılabilmektedir. Bu yüzden bu çalışmamızda da nominal yöntem kullanılmıştır.

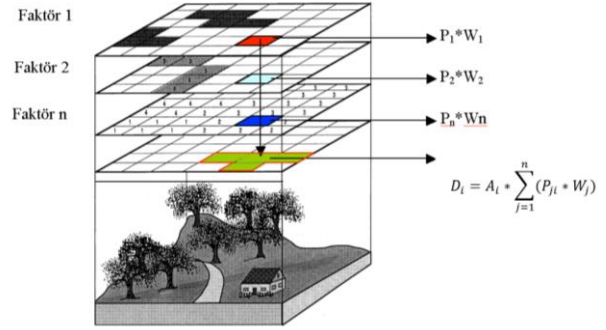
Nominal değerlendirme yönteminde en önemli işlem adımlarından biri değeri etkileyen faktörlere karar verilmesidir. Zira taşınmazların değerlerini etkileyen faktörler bölge bazında hatta il bazında dahi farklılık gösterebilmektedir. Örnek verilecek olursa, turizm ile kalkınan bir bölge ile tarım ile kalkınan bir bölgede aynı değer faktörlerinin kullanılması beklenemez. Ayrıca, ülkedeki ve yerel yönetimdeki değişen şartlar da taşınmaz değerlerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle, değerlendirme yapılacak bölgeye uygun faktörler belirlenmelidir (Yomralıoğlu vd. 2011). Değerlendirme yapılacak alana ait yerel özelliklerin dikkate alınması, gerçeğe daha yakın sonuçların üretilmesini sağlar.

Geniş alanlarda yapılan taşınmaz değerlendirme uygulamalarında, taşınmaz değerine etki eden faktörlerin ağırlıkları oranında kombinasyonu tüm taşınmazlar için nominal anlamda sayısal bir değişken olarak "nominal değer" üretilmektedir (Yomralıoğlu vd. 2011, Derinpınar 2014).

Bu yöntemde değerlemeye konu olan en küçük birim parsel ya da belli bir boyuttaki pikseller de olabilir. Bu şekilde CBS ile piksel tabanlı kitlesel taşınmaz değer haritası üretilmesi mümkündür. Piksel tabanlı taşınmaz değer haritası üretilmesi amacıyla, her bir pikselin toplam değeri parametrik olarak (1) nolu formül yardımıyla hesaplanır (Mete 2019):

$$D_i = A_i * \sum_{j=1}^n (P_{ji} * W_j) \quad (1)$$

Formülde  $D_i$ ,  $i$  numaralı pikselin (parselin) toplam nominal değerini,  $A_i$ , bir pikselin (parselin) alanını,  $P_{ji}$  ve  $W_j$ , ilgili faktörün sırasıyla faktör puanını (değerini) ve ağırlığını ve  $n$ , toplam faktör sayısını göstermektedir. Burada faktör puanı ile ilgili ağırlık çarpılarak her bir faktör için "ağırlıklı değer katmanı" hesaplanır. Hesaplanan ağırlık değer katmanları toplanıp, piksel alanlarıyla çarpılmak suretiyle de toplam nominal değer hesaplanır (Şekil 1).



Şekil 1. Piksel Bazında Nominal Taşınmaz Değer Hesabı (Yomralıoğlu vd. 2012).

Görüldüğü gibi faktör puanlarının belirlenmesi, bu yöntemde taşınmazın yaklaşık değerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bir faktörün puanlanmasında en iyi koşullara sahip sınıf, 100 tam puan verilerek yeniden sınıflandırılır. Buna bağlı olarak her faktör, iyilik derecesine göre yeniden sınıflandırılarak puanlandırılır (Yomralıoğlu 1997.b). Ağırlıklandırma ise, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), anket verileri, literatürde kabul görmüş ağırlıklar vb. çeşitli yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Ağırlıklandırma, tüm faktörlerin ağırlıkları toplamının %100 olması esasına dayanır.

Piksel tabanlı nominal değerlendirme çalışmalarında, konumsal veritabanının oluşturulması ve raster formatına dönüştürülmesi, işin temelini oluşturmaktadır. Bu işlem, çoğunlukla CBS yazılımları ile yapılmaktadır. Seçilecek olan piksel boyutu için hassasiyetini ve harcanan süreyi etkilemektedir. Daha küçük pikseller kullanılırsa modelin doğruluğu daha yüksek olurken, işlem süresi artmaktadır. Mete (2019) yaptığı çalışmada, 1 metre ve 10 metre çözünürlüklü nominal değer haritalarının benzer sonuçları

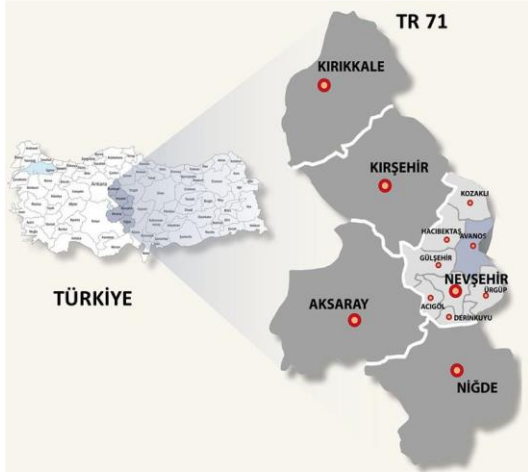


ürettiğini, geniş çalışma alanlarında 10 m çözünürlüğün yeterli olacağını belirtmiştir.

### 3. Uygulama

#### 3.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Neveşehir iline bağlı Avanos ilçesi seçilmiştir. Avanos, Neveşehir'in 18 km kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 2). Batısında Gülşehir, kuzeyinde Hacıbektaş, güneyinde Ürgüp ilçeleri ve doğusunda Kayseri ili yer alır. Avanos, 1045 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle Neveşehir ilinin en fazla alana sahip ilçesidir.



Şekil 2. Çalışmanın yapıldığı Avanos ilçesinin konumu

Kentsel sit alanındaki özgün bina tipolojileri, çok katmanlı yerleşimleri ve yakın çevresindeki yeraltı şehirleri ile Avanos, yalnızca kültürel turizm için bir kaynak değil; bunun yanında Ürgüp ve Göreme'ye yakınlığı, Zelve Açık Hava Müzesi'nin varlığı sayesinde balon ve doğa turizmine; farklı kültürlerin tarihte kesişim noktası olduğu için de inanç turizmine ev sahipliği yapmaktadır. Bu nedenle Avanos, dört mevsim yerli ve yabancı turist çekebilme potansiyeline sahiptir. Ayrıca Avanos, çömllekleriyle de meşhurdur. Kızılırmak tarafından taşınan kil kullanılarak eşzamanlı olarak yapılan çömllek atölyeleri de bölgede turizmin gelişmesini desteklemektedir. Turizmin gelişmesi ile Avanos'un gelişmesi ve kalkınması gün geçtikçe artmakta ve bu durum da Avanos merkezde nüfusun artmasına sebep olmaktadır. 2018 yılı TÜİK verilerine göre, Avanos merkez nüfusu 13,482'dir. "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılarak nüfus projeksiyonu yapıldığında, merkez nüfusun 2040 yılında 23,667

kişi olacağı öngörülmektedir. İlçe güneyinde mutlak tarım arazileri ve milli park ile, doğusunda taşlık ve kayalık alanlarla ve batısında da doğal sit alanları, marjinal ve mutlak tarım arazileri gibi doğal eşiklerle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, mevcut durumdan başka genişleyecek alanı çok kısıtlıdır. Dolayısıyla, ilçe merkezi genişlemeden nüfus artışı olacağı için nüfus yoğunluğu da hızla artacaktır. Bu durum, merkezdeki taşınmazlar üzerindeki cazibeyi ve ilgiyi artırmaktadır.

Bu çalışmada, nominal taşınmaz değer haritası üretilirken, yalnızca arazi ve arsa değerleri dikkate alınmış olup, arazi ve arsalar üzerindeki yapılar dikkate alınmamıştır. Hiç şüphesiz, arazi ve arsalar üzerindeki yapılar da dikkate alınarak daha doğru, güvenilir ve bütüncül bir taşınmaz değer modeli elde edilecektir.

#### 3.2 Değere Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi

Bölgede daha önce yapılan proje ve saha çalışmaları kapsamında çalışma alanıyla ilgili detaylı bilgi sahibi olunmuştur. Buna göre çalışma kapsamında değere etki eden 19 faktör belirlenmiştir. Bu faktörler ve bu faktörlerin belirlenmesinde dikkate alınan unsurlar Çizelge 1'de verilmiştir.

#### 3.3 Faktörlerin Puanlanması

Değere etki eden faktörlerin puanlanması ve ağırlıklandırılması için çoğunlukla literatürde kabul görmüş yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak taşınmaz değerleme sürecinde bölgeye özgü yerel özelliklerin de dikkate alınması çalışmanın doğruluğu açısından büyük bir öneme sahip olacaktır. Bu kapsamda bu çalışmada 2 farklı taşınmaz değer modeli oluşturulmuştur. 1. taşınmaz değer modeli (Model-1) literatürdeki (Nişancı 2005; Erbil 2014; Mete 2019) puanlama ve ağırlıklandırma kullanılarak üretilirken; 2. taşınmaz değer modeli (Model-2) bölgeye özgü yerel özellikler de göz önüne alınarak yeni bir puanlama ve ağırlıklandırma yaklaşımı geliştirilerek üretilmiştir. Model-2'de ağırlıklandırma için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır.

**Çizelge 1. Çalışma Bölgesinde Taşınmaz Değerini Etkileyen Faktörler**

FAKTÖRLER	AÇIKLAMA
1. Anayola Yakınlık	-
2. Bakı	-
3. Dere Yatağına Yakınlık	-
4. Eğitim	-
5. Eğitim Merkezlerine Yakınlık	Anaokulu, ilkokul, ortaokul ve liselere yakınlık
6. Gürültü	Neveşehir-Ürgüp otoyoluna yakınlık
7. İbadet Merkezlerine Yakınlık	Camilere yakınlık
8. İlçe Merkezine Yakınlık	-
9. Jeolojik Durum	-
10. Kamu Hizmetlerinden Yararlanma	Doğalgaz, su vb. altyapı hizmetlerinden yararlanma
11. Mevcut Kullanım Türü	Mevcut arazi kullanımı
12. Sağlık Kurumlarına Yakınlık	Sağlık ocakları ve hastanelere yakınlık
13. Sit Alanı İçerisinde Olma	Kentsel ve doğal sit alanları içerisinde yer alma
14. Sokaklara Yakınlık	-
15. Tarihi Yerlere Yakınlık	Tarihi Anıtlara Yakınlık
16. Ticaret Alanlarına Yakınlık	-
17. Turizm Tesislerine Yakınlık	Balon ve kültürel turizmi destekleyen konaklama tesisleri
18. Yeşil Alanlara Yakınlık	Rekreasyon alanları ve parklara yakınlık
19. Zararlı Bölgelere Yakınlık	TEİAŞ ve sanayi tesislerine yakınlık

Çizelge 1’de verilen faktörlerin puanlanmasının nasıl yapıldığı, izleyen kısımda ana hatlarıyla açıklanmıştır.

**1- Anayola yakınlık faktörü:** Çalışma alanındaki önemli caddeler de dahil olmak üzere üst kademe yollar dikkate alınmış ve buna göre Mete (2019)’un çalışmasında verildiği gibi bir kademelendirme ve puanlama yapılmıştır. Model-1 ve Model-2’de anayola 50 m yakınlıktaki piksellere 100 puan verilirken, 51-100 m arasına 90 puan verilmiş ve puan her 100m’de bir 10 puan azaltılarak puanlama yapılmıştır (Mete 2019).

**2- Bakı faktörü:** Model-1 ve Model-2’de Çizelge 2’deki gibi güneye bakan yamaçlara yüksek puanlar verilmiş, kuzeye bakan yamaçlara daha düşük puanlar verilmiştir (Nişancı 2005).

**Çizelge 2. Bakı Puanlaması**

Bakı		
Yön		Puan
Kuzey	Kuzeydoğu	50
Kuzeydoğu	Doğu	50
Doğu	Güneydoğu	90
Güneydoğu	Güney	100
Güney	Güneybatı	80
Güneybatı	Batı	70
Batı	Kuzeybatı	50
Kuzeybatı	Kuzey	50

**3- Dere yatağına yakınlık faktörü:** Model-1 ve Model-2’de dere yatağından itibaren 150 m’lik bir

bölge oluşturulmuş, bu bölge içerisinde kalan taşınmazlara 0 ; diğerlerine de 100 puan verilmiştir.

**4- Eğitim faktörü:** Model-1 ve Model-2’de eğimin %(0-10) arasında olduğu yerlere 100 puan, %(11-20) arasında olduğu yerlere 70 puan, %(21-30) arasında olduğu yerlere 50 puan, %(31-40) arasında olduğu yerlere 20 puan, %(41-50) arasında olduğu yerlere 10 puan, %50 ve üzeri olan yerlere de 0 puan verilmiştir.

Model-1 ve Model2’de eğitim merkezlerine yakınlık (5), gürültü (6), ibadet merkezlerine yakınlık (7), sağlık kurumlarına yakınlık (12), tarihi yerlere yakınlık (15), ticaret alanlarına yakınlık (16), turizm tesislerine yakınlık (17), yeşil alanlara yakınlık (18) ve zararlı bölgelere yakınlık (19) faktörleri Çizelge 3’teki gibi puanlanmıştır (Erbil 2014).

**Çizelge 3. Yakınlık Faktörlerinin Puanlaması**

Yakınlık Faktörlerinin Puanlaması		
Mesafe (m)	Yakınlık Puanı	Gürültü, Zararlı Alanlara Yakınlık Puanı
0-24	100	1
25-49	90	5
50-74	80	10
75-99	70	20
100-124	60	30
125-149	50	40
150-174	40	50
175-199	30	60
200-249	20	70
250-299	10	80
300-400	5	90
400+	1	100



Gürültü faktörü puanlanırken, otoyoldaki hızla giden araçların sesleri sebebiyle, Nevşehir-Ürgüp otoyoluna yakınlığa göre Erbil (2014)'ün çalışmasında verilen kademelendirme ve puanlama yapılmıştır.

**8- İlçe merkezine yakınlık faktörü:** Model-1 için Çizelge 4'teki puanlama yapılırken, Model-2 için Çizelge 5'teki gibi puanlama yapılmıştır.

**Çizelge 4.** İlçe Merkezine Yakınlık Puanlaması (Model-1)

İlçe Merkezine Yakınlık Puanlaması (Model-1)	
Mesafe (m)	Puan
0-100	100
101-250	90
251-500	80
501-750	70
751-1000	60
1001-1500	50
1501-2000	40
2001-2500	30
2501-3000	20
3000+	10

**Çizelge 5.** İlçe Merkezine Yakınlık Puanlaması (Model-2)

İlçe Merkezine Yakınlık Puanlaması (Model-2)	
Mesafe (m)	Puan
0-200	100
201-400	90
401-600	80
601-800	70
801-1000	60
1001-1200	50
1201-1400	40
1401-1600	30
1601-1800	20
1800+	10

**9- Jeolojik durum faktörü:** Tuzköy Formasyonu'nun Z2 zemin sınıfında olduğu ve Alüvyon'un Z3 zemin sınıfında olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Tuzköy Formasyonu'nda yer alan taşınmazlara 70 puan, alüvyon zeminde yer alan taşınmazlara ise 40 puan verilmiştir.

**10- Kamu hizmetlerinden yararlanma faktörü:** Altyapı hizmetlerinden yararlanabilen alanlara 100 puan verilirken, yararlanamayan alanlara 0 puan verilmiştir.

**11- Mevcut kullanım türü faktörü:** Ticari amaçlı kullanılan taşınmazların en değerli olduğu dikkate alınarak 100 puan verilmiş, Sanayi, Konut ve Tarım

amaçlı kullanılan taşınmazlara sırasıyla 90, 80 ve 50 puan verilmiştir.

**13- Sit alanı sınırları içerisinde olma faktörü:** İmar planındaki yasal kısıtlamalar nedeniyle sit alanı içerisinde yer alan alanlara 0 puan verilirken, sit alanı sınırları içerisinde olmayan alanlara 100 puan verilmiştir.

**14-) Sokaklara yakınlık faktörü:** 0-10 m arasındaki uzaklıklar için 100 puan verilirken, her 10 metrede bir, verilecek puanlar 10 puan azaltılmıştır (Mete 2019).

### 3.4 Faktörlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Taşınmaz değerlemede ağırlıkların belirlenmesi, olayın subjektifliğinden dolayı zor bir işlemdir. Kimine göre daha önemli bir faktör, bir başkasına göre daha az önemli olabilmektedir. Bu nedenle, taşınmaz değerlemede ağırlıkların belirlenmesinde, genellikle literatürde yer alan bilgi birikiminden yararlanılmaktadır. Fakat, her bölgenin eşsiz özellikleri vardır ve bazı durumlarda literatürde yer alan ağırlıklandırmalar yeterli olmamaktadır.

Bu durumun irdelenmesi amacıyla bu çalışmada Model-1 için ağırlıklandırma yapılırken literatürde kabul görmüş ağırlıklandırmalar (Nişancı 2005; Erbil 2014; Mete 2019) kullanılmış ve Çizelge 6'da görülen faktör ağırlıkları elde edilmiştir.

**Çizelge 6.** Model-1 Ağırlık Tablosu

Model-1 Ağırlık Tablosu	
Faktörler	Ağırlık (%)
Mevcut Kullanım Türü	19.77717
Sokaklara Yakınlık	8.04957
Sit Alanı İçerisinde Olma	7.68499
Kamu Hizmetlerinden Yararlanma	6.37223
Anayollara Yakınlık	5.36596
İlçe Merkezine Yakınlık	5.36596
Gürültü	4.77927
Jeolojik Durum	4.27201
Ticaret Alanlarına Yakınlık	4.02479
Tarihi Yerlere Yakınlık	4.02479
Turizm Alanlarına Yakınlık	4.02479
Dere Yatağına Yakınlık	3.75835
Yeşil Alanlara Yakınlık	3.21906
Eğitim	3.21906
Bakı	3.21906
Eğitim Merkezlerine Yakınlık	3.21906
Sağlık Kurumlarına Yakınlık	3.21906
Zararlı Bölgelere Yakınlık	3.21906
İbadet Merkezlerine Yakınlık	3.18576
$\Sigma = 100$	

Buna karşılık, Model-2 faktör ağırlıklandırmasında ise, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Taşınmaz değerlendirilmede farklı faktörlerin göz önünde bulundurulması durumunda ve bütünleşik bir çerçevede birbirlerine göre önemlerinin belirlenmesinde AHP kullanılabilir. AHP, analitik yöntemle faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin ölçülebilir ve tartışılabilir bir biçimde önceliklendirilmesidir (Koramaz 2014). Yöntem, bir karar probleminin çözülmesi amacıyla karar verici tarafından mevcut tüm alternatiflerin ve bu alternatiflere bağlı tüm kriterlerin ele alınarak, göreceli kriterlerin önem derecelerine göre ikili karşılaştırılması temeline dayanmaktadır (Bozdağ ve Ertunç 2020). Çoklu kriterlerin yer aldığı problemlerin çözümünde kullanılan bu yöntemle, farklı faktörlerin birbirlerine göre önem derecesi bütünleşik bir çerçevede belirlenebilmektedir. Bu yöntemin öne çıkan en önemli özelliği, karar vericinin sadece objektif değil, subjektif kriterlerini de karar oluşturma sürecine dahil edebilmesidir (Kuruüzüm ve Atsan 2001). AHP temel olarak; “problemi parçalara ayırma (decomposition)”, “karşılaştırmalı olarak karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement)”

ve “önem derecesine göre önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities)” olmak üzere 3 ana prensibe dayanmaktadır (Saaty 1977, Saaty 1980, Harker ve Vargas 1987). Buna göre öncelikle karar problemi için bir hiyerarşi modeli oluşturulur. Karar problemi için amaçlar, ölçütler ve alt ölçütler belirlenir. Bu şekilde karar problemi, hiyerarşik olarak parçalara bölünmüş olur. Karşılaştırmalı olarak karar verme aşamasında ise faktörler, ikili şekilde seçilmekte ve her ikilinin birbirine göre önem derecesi karşılaştırılmaktadır. Son olarak, bütün hiyerarşi düzeyinde belirlenen faktör ağırlıkları tek bir ölçekte toplanarak sentezlenir ve seçeneklerin önceliklendirilmesi adımıyla kullanılır (Erden 2019).

Bu çalışmada, bu bilgiler ışığında yapılan işlem adımları şu şekildedir:

- Faktörlerin önem derecesi birbirlerine göre karşılaştırılmış ve Çizelge 7’de görüldüğü gibi bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi, uygulama alanında daha önce çalışmalar yapmış olan teknik ekiplerde yer alan uzmanların görüşlerinin alınmasıyla üretilmiştir.

**Çizelge 7.** İkili Karşılaştırma Matrisi

Faktör No	Anayollara Yakınlık (1)	Bakı (2)	Dere Yatağına Yakınlık (3)	Eğim (4)	Eğitim Merkezlerine Yakınlık (5)	Gürültü (6)	İbadet Merkezlerine Yakınlık (7)	İlçe Merkezine Yakınlık (8)	Jeolojik Durum (9)	Kamu Hizmetlerinden Yararlanma (10)	Mevcut Kullanım Türü (11)	Sağlık Kurumlarına Yakınlık (12)	Sit Alanı İçerisinde Olma (13)	Sokaklara Yakınlık (14)	Tarihi Yerlere Yakınlık (15)	Ticaret Alanlarına Yakınlık (16)	Turizm Alanlarına Yakınlık (17)	Yeşil Alanlara Yakınlık (18)	Zararlı Bölgelere Yakınlık (19)
1	1.000	2.317	2.596	2.317	2.416	2.596	2.692	0.609	2.500	0.878	0.481	2.416	1.201	1.728	1.526	1.526	1.526	2.416	1.644
2	0.432	1.000	1.120	1.000	1.043	1.120	1.162	0.263	1.079	0.379	0.207	1.043	0.540	0.748	0.692	0.692	0.692	1.043	0.710
3	0.385	0.893	1.000	0.893	0.933	1.000	1.036	0.234	0.964	0.338	0.185	0.933	0.482	0.668	0.618	0.618	0.618	0.933	0.634
4	0.432	1.000	1.120	1.000	1.043	1.120	1.162	0.263	1.079	0.379	0.207	1.043	0.540	0.748	0.692	0.692	0.692	1.043	0.710
5	0.414	0.959	1.072	0.959	1.000	1.072	1.112	0.252	1.033	0.363	0.199	1.000	0.518	0.717	0.664	0.664	0.664	1.000	0.681
6	0.385	0.893	1.000	0.893	0.933	1.000	1.036	0.234	0.964	0.338	0.185	0.933	0.482	0.668	0.618	0.618	0.618	0.933	0.634
7	0.371	0.861	0.966	0.861	0.899	0.966	1.000	0.226	0.930	0.326	0.179	0.899	0.465	0.644	0.596	0.596	0.596	0.899	0.611
8	1.643	3.808	4.266	3.808	3.971	4.266	4.424	1.000	4.108	1.442	0.794	3.971	1.973	2.840	2.508	2.508	2.508	3.971	2.702
9	0.400	0.927	1.037	0.927	0.968	1.037	1.076	0.243	1.000	0.351	0.192	0.968	0.501	0.693	0.641	0.641	0.641	0.968	0.658
10	1.139	2.640	2.958	2.640	2.753	2.958	3.067	0.693	2.848	1.000	0.550	2.753	1.368	1.969	1.739	1.739	1.739	2.753	1.873
11	2.080	4.820	5.400	4.820	5.027	5.400	5.600	1.260	5.200	1.817	1.000	5.027	2.498	3.595	3.175	3.175	3.175	5.027	3.420
12	0.414	0.959	1.072	0.959	1.000	1.072	1.112	0.252	1.033	0.363	0.199	1.000	0.518	0.717	0.664	0.664	0.664	1.000	0.681
13	0.833	1.852	2.074	1.852	1.931	2.074	2.151	0.507	1.998	0.731	0.400	1.931	1.000	1.381	1.220	1.220	1.220	1.931	1.314
14	0.579	1.337	1.498	1.337	1.394	1.498	1.554	0.352	1.443	0.508	0.278	1.394	0.724	1.000	0.928	0.928	0.928	1.394	0.952
15	0.655	1.445	1.619	1.445	1.507	1.619	1.679	0.399	1.559	0.575	0.315	1.507	0.820	1.078	1.000	1.000	1.000	1.507	1.025
16	0.655	1.445	1.619	1.445	1.507	1.619	1.679	0.399	1.559	0.575	0.315	1.507	0.820	1.078	1.000	1.000	1.000	1.507	1.025
17	0.655	1.445	1.619	1.445	1.507	1.619	1.679	0.399	1.559	0.575	0.315	1.507	0.820	1.078	1.000	1.000	1.000	1.507	1.025
18	0.414	0.959	1.072	0.959	1.000	1.072	1.112	0.252	1.033	0.363	0.199	1.000	0.518	0.717	0.664	0.664	0.664	1.000	0.681
19	0.608	1.409	1.578	1.409	1.469	1.578	1.636	0.370	1.520	0.534	0.292	1.469	0.761	1.051	0.975	0.975	0.975	1.469	1.000

- Çizelge 7’de oluşturulan ikili karşılaştırma matrisindeki her değer, ilgili sütun toplamına bölünerek Çizelge 8’de görülen normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.
- Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisinde her faktörün olduğu satırların ortalaması alınarak, Çizelge 9’da görülen Model-2 için ağırlık matrisi oluşturulmuştur.

**Çizelge 8.** Normalize Edilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi

Faktör No	Anayollara Yakınlık (1)	Bakı (2)	Dere Yatağına Yakınlık (3)	Eğim (4)	Eğitim Merkezlerine Yakınlık (5)	Gürültü (6)	İbadet Merkezlerine Yakınlık (7)	İlçe Merkezine Yakınlık (8)	Jeolojik Durum (9)	Kamu Hizmetlerinden Yararlanma (10)	Mevcut Kullanım Türü (11)	Sağlık Kurumlarına Yakınlık (12)	Sit Alanı İçerisinde Olma (13)	Sokaklara Yakınlık (14)	Tarihi Yerlere Yakınlık (15)	Ticaret Alanlarına Yakınlık (16)	Turizm Alanlarına Yakınlık (17)	Yeşil Alanlara Yakınlık (18)	Zararlı Bölgelere Yakınlık (19)
1	0.074	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.074	0.075	0.074	0.074	0.075	0.073	0.075	0.073	0.073	0.073	0.075	0.075
2	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.033	0.032	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032
3	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029
4	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.033	0.032	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032
5	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031
6	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029
7	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
8	0.122	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.122	0.123	0.122	0.122	0.123	0.119	0.123	0.120	0.120	0.120	0.123	0.123
9	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031	0.030	0.030
10	0.084	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.084	0.085	0.084	0.085	0.085	0.083	0.085	0.083	0.083	0.083	0.085	0.085
11	0.154	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156	0.154	0.156	0.154	0.154	0.156	0.151	0.156	0.152	0.152	0.152	0.156	0.156
12	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031
13	0.062	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.062	0.060	0.062	0.062	0.060	0.060	0.060	0.058	0.058	0.058	0.060	0.060
14	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.044	0.043	0.044	0.044	0.044	0.043	0.043
15	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.049	0.047	0.049	0.049	0.047	0.050	0.047	0.048	0.048	0.048	0.047	0.047
16	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.049	0.047	0.049	0.049	0.047	0.050	0.047	0.048	0.048	0.048	0.047	0.047
17	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.049	0.047	0.049	0.049	0.047	0.050	0.047	0.048	0.048	0.048	0.047	0.047
18	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031
19	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.046	0.045	0.047	0.047	0.047	0.045	0.045

**Çizelge 9.** Model-2 Ağırlık Tablosu

Model-2 Ağırlık Tablosu	
Faktörler	Ağırlık (%)
Mevcut Kullanım Türü	15.43929
İlçe Merkezine Yakınlık	12.20605
Kamu Hizmetlerinden Yararlanma	8.46314
Anayollara Yakınlık	7.42600
Sit Alanı İçerisinde Olma	5.99938
Turizm Alanlarına Yakınlık	4.73904
Tarihi Yerlere Yakınlık	4.73904
Ticaret Alanlarına Yakınlık	4.73903
Zararlı Bölgelere Yakınlık	4.56057
Sokaklara Yakınlık	4.33424
Eğim	3.23725
Bakı	3.23725
Yeşil Alanlara Yakınlık	3.10323
Eğitim Merkezlerine Yakınlık	3.10323
Sağlık Kurumlarına Yakınlık	3.10323
Jeolojik Durum	3.00120
Gürültü	2.89048
Dere Yatağına Yakınlık	2.89048
İbadet Merkezlerine Yakınlık	2.78787
$\Sigma = 100$	

Faktörlerin sayısal olarak önceliklerini gösteren özdeğer vektörü hesaplanırken yapılan sayısal işlemlerin geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir (Vaidya & Kumar 2006). Bu testin yapılabilmesi için Tutarlılık İndeksi'nin (Consistency Index) ve Tutarlılık Oranı'nın (Consistency Ratio) hesaplanması gerekmektedir (Saaty 1990).

Tutarlılık İndeksi'nin hesabında kullanılan  $\lambda_{max}$ , ikili karşılaştırma matrisinin maksimum temel özdeğeri olup AHP'de önemli bir doğrulama parametresi olarak kullanılmaktadır (Bozdağ ve Ertunç 2020). Zira  $\lambda_{max}$ , tahmin edilmiş olan vektörün Tutarlılık Oranı'nın hesaplanmasında referans indeksi olarak kullanılmaktadır (Chen 2006).  $\lambda_{max}$  şu işlem adımları takip edilerek hesaplanır:

- Çizelge 9'da görülen ağırlık vektörü ile Çizelge 7'de görülen ikili karşılaştırma vektörü arasında matris çarpımı yapılır.
- Elde edilen matristeki her bir eleman, bulunduğu matris konumundaki ağırlık vektöründeki (Çizelge 9) ilgili elemana bölünür.
- Elde edilen matrisin tüm elemanlarının ortalaması alınır ve bu değer  $\lambda_{max}$  değeridir (Koramaz 2014).

Bundan sonrasında ise *Tutarlık İndeksi* (2) no.lu eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$Tutarlık\ İndeksi = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (2)$$

Formülde  $n$  faktör sayısı olmak üzere,  $\lambda_{max}$  ikili karşılaştırma matrisinin maksimum temel özdeğeridir.

Yapılan çalışmanın tutarlı olarak nitelendirilebilmesi için  $\lambda_{max}$  değerinin,  $n$  faktör sayısına, *Tutarlık İndeksi*'nin de 0'a yakın olması gerekmektedir (Koramaz 2014). Bu çalışmada,  $\lambda_{max}$  19.00139 olarak, *Tutarlık İndeksi* ise 0.00008 olarak hesaplanmıştır.

Diğer yandan *Tutarlık Oranı*'nın da hesaplanması için *Rastlantısal Katsayı*'ya ihtiyaç duyulmaktadır.  $n$  faktör sayısına göre değişen *Rastlantısal Katsayı*, 1'den 9'a kadar ölçeklendirilmiş rastlantısal ters matristen türetilmektedir (Saaty 1980). Bu değer:

$$Rastlantısal\ Katsayı = 1.98 \frac{n-2}{n} \\ = 1.98 \left( 1 - \frac{n-1}{\frac{n(n-1)}{2}} \right) \quad (3)$$

formülü yardımıyla hesaplanır (Saaty 1994). Bu formülden  $n = 19$  değeri için *Rastlantısal Katsayı* 1.77158 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanarak *Tutarlılık Oranı* değeri izleyen formül yardımıyla hesaplanmıştır:

$$Tutarlılık\ Oranı = \frac{Tutarlılık\ İndeksi}{Rastlantısal\ Katsayı} \quad (4)$$

Buradan *Tutarlılık Oranı* 0.00004 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.10'dan küçük olması, matrisin tutarlı olduğunu göstermektedir.

### 3.5 Mekânsal Analizler

Nominal yöntemle taşınmaz değer haritası oluşturmak amacıyla belirlenen 19 faktör, ArcGIS yazılımında mekânsal analizler yapılarak sayısallaştırılmıştır. Bu kapsamda üç farklı mekânsal analiz yapılmıştır. Bunlar:

- i-) Yüzey Analizleri,
- ii-) Yakınlık Analizleri,
- iii-) Alansal Analizler.

#### i-) Yüzey Analizleri

Topografik yapı, parsellerin değerini etkileyen önemli bir faktördür ve parseller için ekonomik bir anlam taşımaktadır (Yomralıoğlu 1997.b). Bu çalışmada topografik yapı olarak eğim ve bakı analizleri kullanılmıştır.

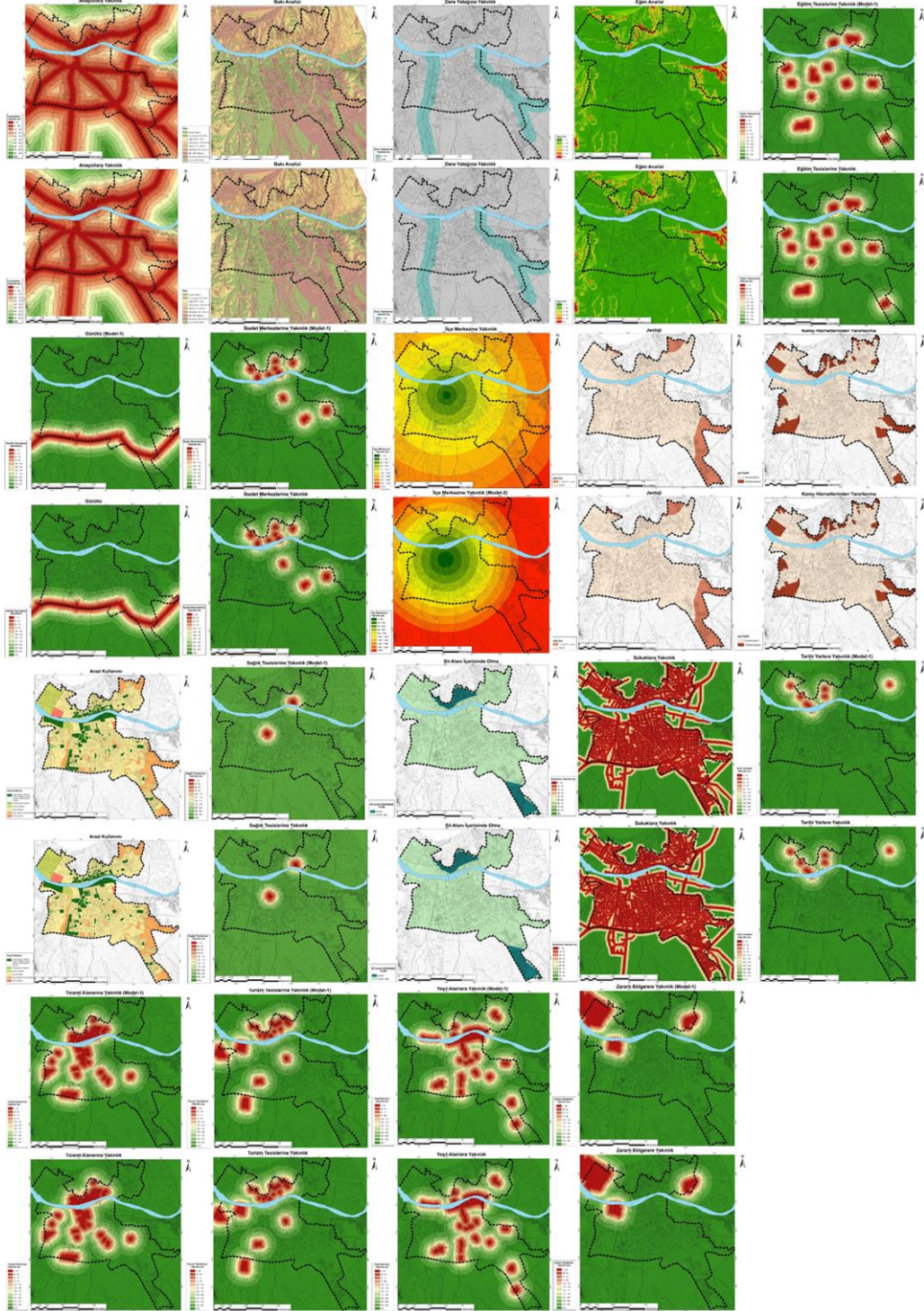
#### ii-) Yakınlık Analizleri

Değere etki eden bir faktöre yakınlık, taşınmaz değerini etkiler. Bu çalışmada, 13 faktör yakınlık analizi ile üretilmiştir. Yakınlık analizleri, ArcGIS yazılımında "Euclidean Distance (Öklid Uzaklığı)" kullanılarak oluşturulmuştur.

#### iii-) Alansal Analizler

Avanos Belediyesi'nden alınan haritaların sayısallaştırılmasıyla ve arazi çalışmalarıyla da bazı analizler yapılmıştır. Bu analizler jeolojik durum, kamu hizmetlerinden yararlanma, mevcut arazi kullanımı ve sit alanı içerisinde olma analizleridir.

Yapılan tüm analizler Model-1 ve Model-2 için Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Faktör Analizleri (üst) Model-1; (alt) Model-2

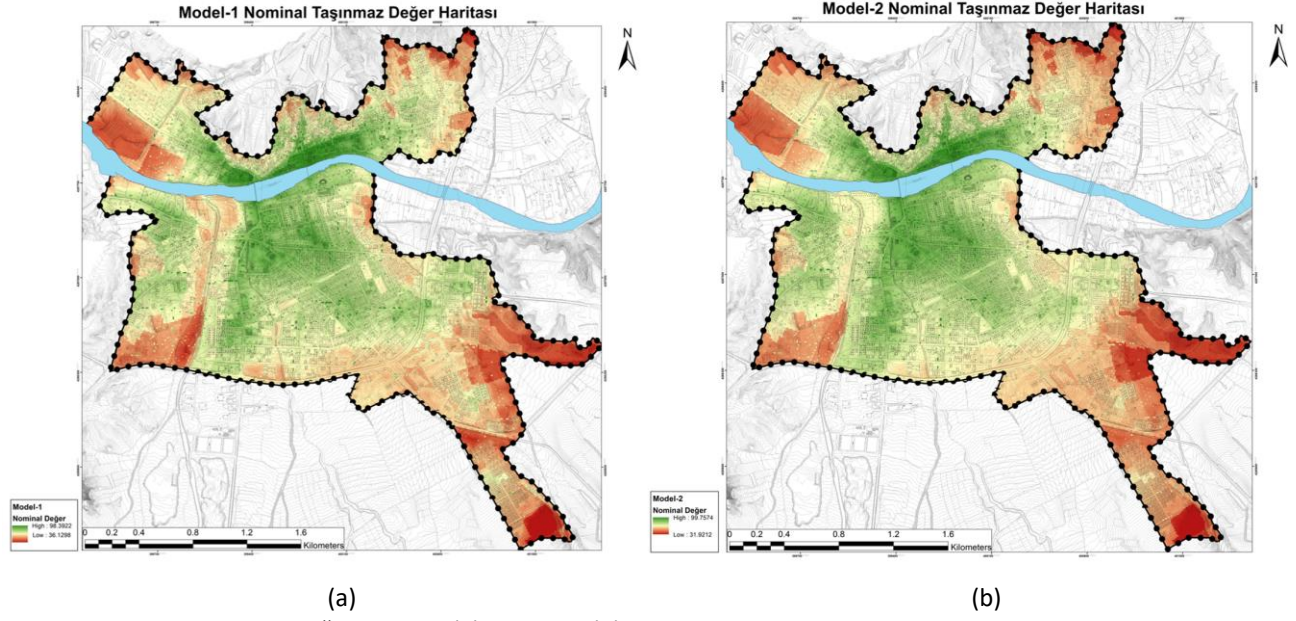
### 3.6 Nominal Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması

#### i-) Piksel Bazında Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması

ArcGIS yazılımında yapılan yüzey, yakınlık ve alansal analizler; "Weighted Sum (Ağırlıklı Toplam)" aracı ile

belirlenen ağırlıklara göre toplanarak 2 farklı nominal taşınmaz değer modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.a ve Şekil 4.b).





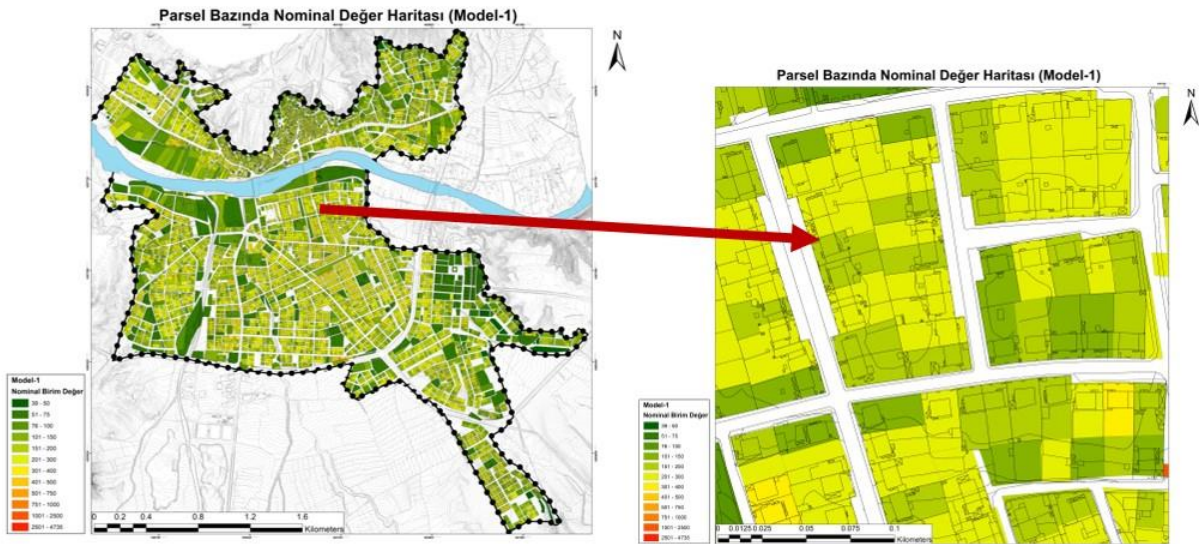
Şekil 4. Nominal Taşınmaz Değer Modeli; (a) Model-1, (b) Model-2

#### ii-) Parsel Bazında Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması

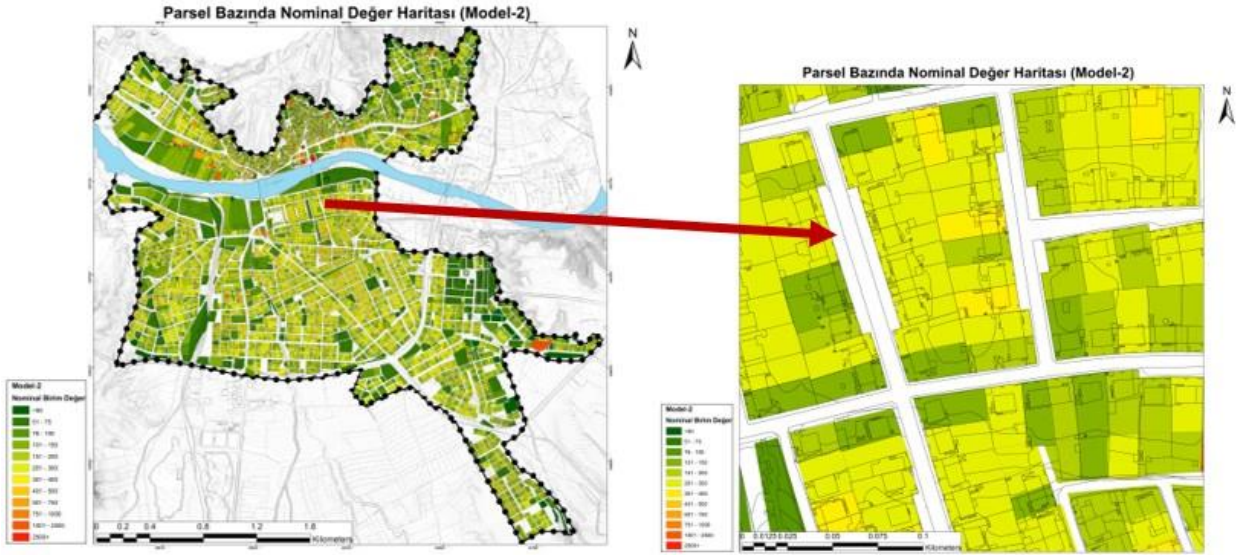
“Weighted Sum (Ağırlıklı Toplam)” aracı kullanılarak üretilen nominal taşınmaz değer haritası, piksel tabanlıdır ve herhangi bir parselin nominal değeri bu haliyle net olarak ifade edilemez. Bu nedenle, piksellerin parsel verisiyle bütünleştirilmesi gerekir.

Bu işlem için, piksel tabanlı nominal taşınmaz değer haritası, raster veri modelinden vektör veri modeline dönüştürülmüştür. Oluşturulan nominal

değeri içeren vektör veri katmanı ile parsel verisi, “Intersect” aracıyla bindirme analizi yapılarak kesştirilmiştir. Bu şekilde, her bir parsel içindeki pikselin alanı ile ilgili piksel değeri çarpılarak, her parselin içindeki piksellerin değeri tek tek hesaplanmıştır. Son olarak, “Spatial Join (Mekansal Birleştirme)” aracıyla, parsellerdeki toplam piksel değerleri toplanmış ve her bir parselin nominal taşınmaz değeri hesaplanarak Şekil 5’de ve Şekil 6’da görüldüğü gibi parsel bazında nominal taşınmaz değer modelleri oluşturulmuştur.



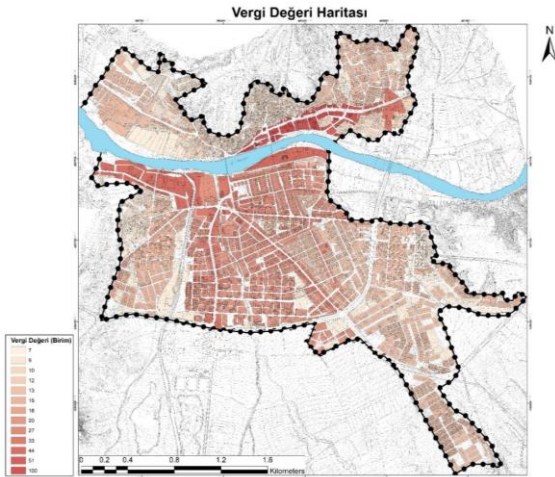
Şekil 5. Parsel Bazında Nominal Değer Haritası (Model-1)



Şekil 6. Parsel Bazında Nominal Değer Haritası (Model-2)

Avanos Belediyesi'nden alınan "2020 Yılı Arazi ve Arsa Birim m<sup>2</sup> Fiyatları" incelenerek çalışma alanına giren sokak ve caddeler tespit edilmiştir. ArcGIS yazılımında bu sokak ve caddelerin halihazır harita üzerindeki konumu belirlenmiştir. Daha sonra, ilgili sokaklardaki tüm binalar seçilerek bu binalara öznitelik verisi olarak ilgili birim m<sup>2</sup> fiyatı girilerek Şekil 7'de görülen vergi değeri haritası oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmanın doğruluğunun analiz edilmesi için rayiç değerine ulaşılabilen belirli sayıda parseller baz alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca "2020 Yılı Arazi ve Arsa Birim m<sup>2</sup> Fiyatları" kullanılarak hazırlanan "Vergi Değeri Haritası"ndan türetilen vergi değerleri ile rayiç değerler kıyaslanmıştır.



Şekil 7. Vergi Değeri Haritası

Üretilen taşınmaz değer modellerinin rayiç değerlerle karşılaştırılması için, yerel emlak danışmanlarından ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan web-tabanlı emlak alım-satım platformlarından yararlanılarak farklı mahallelerde yer alan belirli sayıda taşınmaza ait rayiç değerler elde edilmiştir. Rayiç değerine ulaşılan emsal nitelikteki taşınmazların mevcut kullanımının, genel olarak sokaktaki/caddedeki yaygın kullanım olmasına dikkat edilmiştir. Rayiç değeri bilinen parsel için birim rayiç değer (1 m<sup>2</sup> için) hesaplanmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen ilçenin küçük bir ilçe olmasından dolayı aynı sokaktaki parsellerin birim değerlerinin birbirinin aynı olduğu varsayılmıştır. Son olarak, sokaktaki her parsel için birim rayiç değer ve parsel alanı çarpılmış ve toplanmıştır. Bu şekilde, bir sokaktaki olası toplam rayiç değer hesaplanmıştır. Ancak şu hususun da altının çizilmesinde yarar bulunmaktadır. Covid-19 pandemisi nedeniyle saha çalışmalarımız oldukça kısıtlanmıştır. Elde edilen örnekler çalışmamızın gerçekleşmesi için yeterli sayıda ve güvenilirlikle olmakla birlikte, her bir mahallede ele alınacak örneklem sayısının artırılmasının, sonuçlar üzerinde iyileştirici bir etki yapacağı değerlendirilmektedir.

Nominal taşınmaz değer modellerinin, TL'ye dönüştürülmesi amacıyla rayiç değerlere endekslenmiştir. Bu işlem için öncelikle rayiç değeri bilinen parsel için, rayiç değer nominal değere

bölünmesiyle bir katsayı hesaplanmıştır. Bu katsayı ile sokaktaki diğer parsellerin nominal değerleri tek tek çarpılıp toplanarak bir sokaktaki toplam nominal TL değeri elde edilmiştir.

Son olarak, modellerin ve rayiç değerlerin, emlak vergi değerleriyle karşılaştırılması için Avanos Belediyesi'nden alınan "2020 yılı Arazi ve Arsa Birim m<sup>2</sup> Fiyatları" kullanılarak, çalışmada ele alınan her bir sokaktaki parsellerin vergi değerleri

hesaplanmıştır. Bunun için, tüm parseller için parsel alanı ile belediye tarafından belirlenen birim vergi değerleri tek tek çarpılarak toplanmıştır. Belirlenen sokaklardaki parsellerin vergi değerleri, nominal TL değerleri ve rayiç değerleri ayrı ayrı toplanmış ve Çizelge 10 oluşturulmuştur. Çalışma alanında çok sayıda sokak ve cadde olmasına karşın, karşılaştırma yalnızca rayiç değerine ulaşılabilen parsellerin bulunduğu sokak ve caddelerde yapılabilmektedir.

**Çizelge 10.** Sokak Bazında Nominal Değer, Vergi Değeri ve Rayiç Değer Karşılaştırması

Sokak/Cadde Adı	Model-1 Nominal Değer (TL)	Model-2 Nominal Değer (TL)	Vergi Değeri (TL)	Rayiç Değer (TL)	Rayiç Değer ile Model-1 Uyumluluk Oranı	Rayiç Değer ile Model-2 Uyumluluk Oranı
115. Sokak	4,358,413.72	5,907,445.47	1,044,843.35	5,927,845.73	%73.52	%99.66
117. Sokak	4,961,952.56	6,358,887.01	1,340,924.96	5,415,943.08	%91.62	%82.59
138. Sokak	2,965,503.45	2,363,312.64	619,872.08	3,185,628.92	%93.09	%74.19
638. Sokak	9,722,177.67	9,240,256.94	1,783,051.04	9,090,364.36	%93.05	%98.35
617. Sokak	5,742,988.63	6,525,438.95	1,057,210.90	7,604,574.78	%75.52	%85.81
614. Sokak	3,921,250.94	3,614,249.34	963,081.31	3,114,389.16	%74.09	%83.95
641. Sokak	9,880,357.81	9,944,908.59	1,386,205.38	9,635,821.03	%97.46	%96.79
643. Sokak	18,698,260.91	13,446,278.15	2,445,114.13	16,696,239.03	%88.01	%80.53
527. Sokak	9,423,358.88	10,519,131.72	1,375,188.25	9,567,523.72	%98.49	%90.05
554. Sokak	3,929,352.74	6,230,804.38	885,701.30	6,210,050.66	%63.27	%99.67
537. Sokak	12,688,402.84	13,391,631.91	5,505,942.08	12,354,484.36	%97.30	%91.61
<i>Kayseri-Neveşehir Yolu</i>	8,352,823.45	9,394,450.08	1,196,764.93	8,498,660.56	%98.28	%89.46
797. Sokak	7,058,222.55	5,706,412.73	2,546,763.86	5,747,168.24	%77.19	%99.29
<i>Karadağ Caddesi</i>	9,864,453.86	8,512,929.45	1,414,180.85	9,927,245.49	%99.37	%85.75
<i>Dereyamanlı Caddesi</i>	88,376,030.82	38,510,480.25	15,599,460.04	45,880,710.23	%7.38	%83.94
417. Sokak	4,419,521.44	5,868,884.36	614,448.64	6,638,836.03	%66.57	%88.40
403. Sokak	1,787,619.54	2,395,144.55	338,950.63	2,854,068.36	%62.63	%83.92
410. Sokak	2,954,854.52	3,945,926.28	355,047.04	3,129,869.41	%94.41	%73.93
435. Sokak	4,615,182.82	5,612,160.88	929,936.39	7,754,484.81	%59.52	%72.37
419. Sokak	1,610,920.67	1,900,393.35	481,329.79	1,939,001.39	%83.08	%98.01
<i>Alaaddin Keykubat Caddesi</i>	18,599,930.15	13,766,650.11	2,649,754.67	14,142,928.21	%68.49	%97.34
				<b>ORTALAMA</b>	<b>%79.16</b>	<b>%88.36</b>

Çizelge 10'da görüldüğü gibi, Model-1'in rayiç değerler ile uyumluluk oranı %79.16 iken, bu oranın Model-2'de %88.36 olduğu görülmektedir. Buradan, üretilen 2 modelin de birbirine yakın sonuçlar verdiği, fakat literatüre ek olarak çalışma bölgesinin yerel özelliklerinin de dikkate alındığı bir modelde (Model-2) rayiç değerlerle uyumluluğun arttığı sonucuna varılabilir. Ayrıca, vergi değerleri ve rayiç değerler karşılaştırıldığında, vergi değerlerinin rayiç değerlerden farklı olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Neveşehir ili Avanos ilçesinde 2 farklı yaklaşımla nominal taşınmaz değerleme yöntemi kullanılarak taşınmaz değer haritası üretilmiştir. Bunlardan ilkinde, Model-1'de, literatürdeki puanlama ve ağırlıklandırma esas alınmıştır. Model-2'de ise puanlamada ve ağırlıklandırmada literatüre tamamen bağlı kalınmamış, puanlama ve ağırlıklandırma çalışma bölgesinin reel durumuna göre nispeten farklılaştırılmıştır. Üretilen nominal



değer haritaları parsel verisiyle bütünleştirilmiş ve parsel bazında nominal değer modelleri oluşturulmuştur. Üretilen bu her iki nominal değer modelinin doğruluğunu analiz edilebilmek amacıyla rayiç değerlerine ulaşılabilen parseller kullanılarak modeller TL'ye endekslenmiş ve bir karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma neticesinde literatüre bağlı kalınarak üretilen 1. taşınmaz değer modelinin (Model 1) yaklaşık %79 oranında rayiç değerlerle uyumlu olduğu, ağırlıklandırmada yerel özelliklerin ve çalışma alanının özgün niteliklerinin dikkate alınarak üretildiği 2. taşınmaz değer modelinin ise (Model 2) yaklaşık %88 oranında rayiç değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Buradan hareketle, bu tür taşınmaz değerlendirme çalışmalarında bölgenin çok iyi tanınması gerektiği ve bölgeye özgü niteliklerin de mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Taşınmaz değerlendirme, çeşitli kamusal uygulamalar ve özel sektör uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir kıymet takdir işlemidir. Tekil değerlemenin yapılmasının güç ve zaman alıcı olduğu veya yetersiz kaldığı büyük alanlarda toplu değerlendirme yapılabilmektedir. İstatistiksel toplu değerlendirme yöntemlerinden biri olan nominal değerlendirme, CBS ile objektif, hızlı ve güvenilir olarak taşınmaz değer haritalarının üretilmesine olanak tanımaktadır. Burada taşınmaz değer modeli üzerinde aynı sokaktaki parsellerin birbirlerine göre değer farklılıkları rahatlıkla görülebilmektedir. Nominal taşınmaz değer modelleri üretilerek hem yakın parsellerdeki değer farklılığının görülmesi ve adil bir vergilendirmenin sağlanması, hem de piyasa koşullarından bağımsız rayiç değerlerin hesaplanması gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca, nominal değerlendirme, çalışma alanında değeri etkileyen birçok faktörü ağırlıkları oranında toplayarak spekülasyon olmayan gerçek değere yakın bir değerlendirme yapılmasına fırsat tanımaktadır.

Nominal taşınmaz değer haritaları çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. Emlak vergisi amaçlı değerlemede, tüm parsellerin değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemin tekil değerlendirme ile yapılması zaman alıcı ve yüksek maliyetli olmaktadır. Nominal taşınmaz değer haritası ile bu işlem hızlı bir

şekilde ve düşük maliyetli olarak yapılabilmektedir. Ayrıca, Harçlar Kanunu kapsamında taşınmazların devir ve iktisabında alınan tapu ve kadastro harcı taşınmaz değer haritaları sayesinde parsellerin değeri ölçüsünde adil bir şekilde alınabilmektedir. Bunlara ek olarak kamulaştırma, arazi ve arsa düzenlemeleri ve imar yasası kapsamındaki 18. madde uygulamalarında parsellerin yeniden dağıtımında değer esaslı bir dağıtım yapılabilmesi için taşınmaz değer haritalarından faydalanılabilmektedir.

Nominal taşınmaz değer haritasına girdi olarak kullanılacak değeri etkileyen faktörlerin isabetli seçilmesi gerekmektedir. Zira faktörlerin çalışma alanına uygunluğu, faktör puanları ve ağırlıkları sonuç ürünün doğruluğunu yakından etkilemektedir. Bu nedenle, nominal değerlemede faktörlerin seçimi, nominal taşınmaz değer haritasının oluşturulmasındaki en önemli adımlardan biridir. Literatürde kabul görmüş taşınmaz değerini etkileyen faktörler, puanlama ve ağırlıklandırma her çalışma bölgesi için standart olarak yeterli olamamakta ve rayiç değerlerden uzak sonuçların türetilmesine sebep olabilmektedir. Hiç şüphesiz her çalışma alanında değeri etkileyen faktörler, az veya çok farklılıklar gösterebilmektedir. Bu yüzden çalışma sahasının özgün karakteristiklerine göre faktörler belirlenmeli, faktör puanlamaları ile faktör ağırlıkları detaylı incelemeler ve analizlerle yapılmalıdır.

Faktör ağırlıklandırması konusunda çeşitli yaklaşımlar olsa da bu çalışmada, Model-2'de ağırlıkların belirlenmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. AHP, karar verme probleminde karar vericiye yardımcı olmaktadır. AHP yönteminin kullanılmasıyla, objektif olan matematiksel modeller ve istatistikten yararlanılmıştır. Bu şekilde, güvenilir bir ağırlıklandırma yapılmıştır. Ağırlıklandırmanın tutarlılık oranı 0.00004 olarak hesaplanmış, yapılan karşılaştırma matrisinin de tutarlı olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modellerin test edilmesi aşamasında yararlandığımız "2020 Yılı Avanos Arazi ve Arsa Değerleri"nin ve diğer verilerin temin edilmesinden ve çalışmamıza yardımlarından dolayı Avanos Belediyesi'ne ve Engin ÖZTÜRK'e içtenlikle teşekkür ederiz.

## 6. Kaynaklar

Bozdağ, A. & Ertunç, E., 2020. CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Niğde Kenti Örneğinde Taşınmaz Değerleme. *Geomatik*, 5(3), 228-240. <https://doi.org/10.29128/geomatik.648900>.

Chen, C., 2006. Applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach to Convention Site Selection. *Journal of Travel Research*, 45(2), 167-174, <https://doi.org/10.1177/0047287506291593>.

Derinpınar, M. A., 2014. Bulanık Mantık ile Coğrafi Bilgi Teknolojilerini Kullanarak Taşınmaz Değerlemesi: Sarıyer-İstanbul Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı, İstanbul, 113.

Erbil, E. H., 2014. Taşınmaz Mal Değerleme Amaçlı Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*. 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Erden, T., 2019. CBS Destekli Çok Ölçütlü Karar Analizi Yayınlanmamış Lisansüstü Ders Notları. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü.

Harker, P.T. & Vargas, L.G., 1987. The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 33(11), 1383-1403, <https://doi.org/10.1287/mnsc.33.11.1383>.

Koramaz, T. K., 2014. Analitik Hiyerarşi Süreci. E. Alkay (Ed.) içinde, *Şehir Planlamada Analiz ve Değerlendirme Teknikleri*, İstanbul: Literatür Yayıncılık, 141-149.

Kuruüzüm, A. & Atsan, N., 2001. Analitik Hiyerarşi Yöntemi Ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 1(1), 83-105.

Mete, M. O., 2019. Coğrafi Bilgi Sistemleri İle İstanbul İli Nominal Taşınmaz Değer Haritasının Oluşturulması.

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 113.

Nişancı, R., 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Pksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Trabzon, 229.

Saaty, T.L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281, [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

Saaty, T. L., 1980. The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill International Book Co., New York.

Saaty, T. L., 1990. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-l](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-l).

Saaty, T. L., 1994. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill Publishers, 80-85.

Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019. *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*.

Ülger, B. C., Ülger, N. E. & Yıldız, Ş. N., 2019. Taşınmaz Mal Değerlemesi. İstanbul: Yem Yayın, 103-167, 201-203.

Vaidya, O. S. & Kumar, S., 2006. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>.

Wyatt, P.J., 1995. Using a Geographical Information System for Property Valuation. *Journal of Property Valuation and Investment*, 14(1), 67-79.

Yomralıoğlu, T., 1997.a. Eşdeğer İlkesine Dayalı Arsa ve Arazi Düzenlemesi Modeli. T. Yomralıoğlu içinde, *Kentsel Alan Düzenlemelerinde İmar Planı Uygulama Teknikleri*, Trabzon: JEFOD Yayın, 139-152.

Yomralıoğlu, T., 1997.b. Taşınmazların Değerlendirilmesi ve Kat Mülkiyeti Mevzuatı. T. Yomralıoğlu içinde, *Kentsel Alan Düzenlemelerinde İmar Planı Uygulama Teknikleri*, Trabzon: JEFOD Yayın, 153-169.

Yomraloğlu, T., 2019. Taşınmaz Mal Değerleme Ders Notları. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yomraloğlu, T. & Nişancı, R., 2004. Nominal Asset Land Valuation Technique by GIS. FIG Working Week 2004, May 22-27, Athens, Greece.

Yomraloğlu, T., Nişancı, R., Çete, M. & Candaş, E., 2011. Dünyada ve Türkiye’de Taşınmaz Değerlemesi. Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı, 26-27 Mayıs 2011, Okan Üniversitesi, İstanbul.

Yomraloğlu, T., Nişancı, R., Çete, M. & Candaş, E., 2012. Dünya’da ve Türkiye’de Taşınmaz Değerlemesi. II. Arazi Yönetimi Çalıştayı, İTÜ, İstanbul.

### **Internet kaynakları**

Kyn. 1. Taşınmaz Değerleme Sistemi ve Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı Kuruldu. <https://www.morogluarseven.com/tr/news-and-publications/tasinmaz-degerleme-sistemi-ve-tasinmaz-degerleme-dairesi-baskanligi-kuruldu> (27.02.2021).

Kyn. 2. Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı'nın Kurulması Neler Getirecek? LinkedIn: [https://www.linkedin.com/pulse/ta%C5%9F%C4%B1nmaz-de%C4%9Ferleme-dairesi-ba%C5%9Fkanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1n-kurulmas%C4%B1-berk?trk=public\\_profile\\_article\\_view](https://www.linkedin.com/pulse/ta%C5%9F%C4%B1nmaz-de%C4%9Ferleme-dairesi-ba%C5%9Fkanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1n-kurulmas%C4%B1-berk?trk=public_profile_article_view) (27.02.2021).

Kyn. 3. 2019 Yılında 389 Milyar Liralık Gayrimenkul Satıldı. <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/2019-yilinda-389-milyar-liralik-gayrimenkul-satildi-41443899> (27.02.2021).

Kyn. 4. Geçen Yıl 2.7 Milyon Adet Gayrimenkul Satıldı, 18.2 Milyar Liralık Tapu Harcı Elde Edildi. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/gecen-yil-2-7-milyon-adet-gayrimenkul-satildi-18-2-milyar-liralik-tapu-harci-elde-edildi/2113565> (27.02.2021).

Kyn. 5. Tapu Harcı Geliri 11 Milyar Lirayı Aştı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/tapu-harci-geliri-11-milyar-lirayi-asti/1464439> (27.02.2021).

Kyn. 6. 2018’de 341 Milyar Liralık Gayrimenkul Satıldı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/2018de-341-milyar-liralik-gayrimenkul-satildi/1474007> (27.02.2021).

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045503 (864-874)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045503 (864-874)

DOI: 10.35414/akufemubid.933675

Araştırma Makalesi / Research Article

# Metro İstasyonları ve Metro Hatları Çevrelerinin Konut Alt Piyasasına Etkisi: İstanbul Kadıköy-Tavşantepe Metro Hattı

Birol ALAS<sup>1</sup>*İstanbul Okan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, İstanbul.*e-posta: birol.alas@okan.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0012-2820>

Geliş Tarihi: 06.05.2021

Kabul Tarihi: 20.08.2021

## Öz

Bu çalışmada taşınmaz alt piyasalarını metro istasyon bölgeleri ve metro istasyon aralarındaki bölgeler olarak ayrıntılı olarak hem satılık konut fiyatları hem de konut kiralık bedelleri açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; metro istasyonlarına yakın apartman dairelerinin (konutların) fiyatları ile metro hatlarına aynı yakınlıkta bulunan konutların fiyatları arasında bir fark olup olmadığı sorusunun cevabı aranmıştır. Bu amaçla İstanbul Anadolu yakasında 26,5 kilometre uzunluktaki Kadıköy-Tavşantepe Metro hattı üzerinde bulunan konutların fiyatları incelenmiştir. Öncelikle metro istasyonları çevresinde olan konutlar ile iki metro durağı arasında bulunan konutların fiyatları karşılıklı olarak, hat boyunca toplanan bütün verilerle hem satılık hem de kiralık konut fiyatları için karşılaştırılmıştır. Sonra bütün hat boyu, iki istasyon ve bu istasyonların arası olarak toplam 17 bölgeye ayrılmıştır. 17 bölgenin her birinde, iki istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede hem satılık hem de kiralık konut fiyatları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tüm istasyon bölge verileri ile istasyon arası bölge verilerinin karşılaştırmasında hem satılık konut fiyatlarında hem de konut kiralık bedellerinde bir farklılık bulunamamıştır. Artarda gelen iki metro istasyonu ve bu istasyonlar arasında kalan bölgelerin hepsinde ayrı ayrı yapılan incelemede ise, satılık konut fiyatlarında %24, kiralık konut fiyatlarında %18 oranında fiyat farkları görülmüştür. Bu farklar, komşu istasyon ve istasyon aralarına göre satılık ve kiralık konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde ortaya çıkmıştır. Satılık ve kiralık konut fiyatlarının çevresindeki bölgelere göre yüksek olduğu bölgelerde bulunan metro istasyon çevreleri ile metro hatları çevrelerinin ayrı konut alt piyasası olarak dikkate alınabileceği görülmüştür.

## Anahtar kelimeler

İstanbul; İstatistiksel  
Analiz; Taşınmaz  
Değerleme; Metro  
Hattı

## The Impact of Subway Stations and Subway Lines Environment on the Housing Sub-Market: Istanbul Kadıköy-Tavşantepe Metro Line

### Abstract

In this study, it is aimed to examine the sub-markets of real estate in terms of both metro station regions and regions between the metro stations in terms of both residential prices for sale and rental prices. Therefore; the answer to the question of whether there is a difference between the prices of the apartments (houses) close to metro stations and prices of the houses located in the same proximity to the metro lines. For this purpose, the prices of the houses on 26.5 kilometers long Kadıköy-Tavşantepe Metro line on the Anatolian side of Istanbul were examined. The prices of the houses located around the metro stations and those between the two metro stations are mutually compared with all the data collected along the line for both sale and rental housing prices. Then the whole line is divided into a total of 17 regions as two stations and between these stations. In each of 17 zones, two station zones and the zone between these stations were compared for both sale and rental housing prices. As a result, in the comparison of all station region data and inter-station region data, no difference was found in both the prices for sale and rental prices. In the examination of two successive metro stations and each of regions between these stations, the price differences of 24% in prices of houses for sale and 18% in the prices of rental houses were observed. These differences occurred in regions where the prices for sale and rental housing are higher compared to neighboring stations and stations. It has been observed that metro station surroundings and subway lines in regions where the prices for sale and rental housing are higher than the surrounding regions can be considered as separate housing sub-markets.

### Keywords

İstanbul; Statistical  
Analysis; Real Estate  
Valuation; Subway Line

## 1. Giriş

Şehir ve büyükşehirlerde yapılan alt yapı çalışmaları yapıldıkları bölgede taşınmaz fiyatlarını olumlu yönde etkilemektedir. Şehrsel altyapı, sosyal donatıları ve bağlantı tesislerini kapsamaktadır. İçe ve dışa bağlantı olarak ikiye ayrılan bağlantı tesisleri içerisinde içe bağlantı, yolları, ulaşımı ve toplu taşıma tesislerini kapsamaktadır (Açlar ve Çağdaş 2008). Taşınmaz değerini etkileyen değişkenler üzerine yapılan çalışmalarda okula, işe ve alışverişe gidiş süreleri de değişken olarak değerlendirilmiştir (Keskin 2008). Bu konuda yapılan başka bir çalışmada ise şehir merkezinden olan uzaklık değişkeni olarak kullanılmıştır (Bourassa *et al.* 2003). Alkay (2008) tarafından yürütülen çalışmada ise, mahallelerdeki trafik problemlerinin gelecekte olabilecek yer değiştirme, taşınma hareketlerini artıracığı görülmüş ve yaşam merkezlerine uzaklık bir değişken olarak incelenmiştir. Ayrıca kiracıların konut sahiplerine göre daha çok taşındıkları tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde, taşınmaz fiyatlarının belirlenmesinde hem satılık hem de kiralık verilerle çalışmanın farklı sonuçlar üretme olasılığı olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, büyükşehir ölçeğinde ulaşım hatlarına yakınlık ile ulaşım istasyonlarına yakınlığın konut fiyatlarını etkilemesinde bir fark olup olmadığı konusu incelenmiştir. Bu inceleme yalnız satılık konut verileriyle yapılmamış aynı zamanda kiralık konut verileri de çalışmaya katılarak, satılık ve kiralık konut fiyatları üzerindeki ulaşım etkisi beraber incelenmiştir. Yapılan istatistiksel analiz, İstanbul ilinin Anadolu yakasında bulunan Kadıköy-Tavşantepe metro güzergahının tamamını içeren hat boyunca toplanan verilerle yapılmıştır. İncelemede yaklaşık 26,5 kilometre uzunluktaki hat üzerinde toplam 999 adet satılık ve 903 adet kiralık konut fiyatları analize katılmıştır. 19 adet metro istasyonu ile 17 adet metro istasyonu arası bölgelerde bulunan hem satılık hem de kiralık konutların fiyatları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada komşu istasyon ve istasyon aralarına göre satılık ve kiralık konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde yapılan karşılaştırmalarda, metro istasyonları çevresi ile metro hattı çevresinde bulunan konutların fiyatlarında farklılıklar çıkmıştır. Dolayısıyla satılık ve

kiralık konut fiyatlarının çevresindeki bölgelere göre yüksek olduğu yerlerde bulunan metro istasyon çevreleri ile metro hatları çevrelerinin, ayrı konut alt piyasası olarak dikkate alınabileceği görülmüştür.

## 2. Taşınmaz Değerleme Çalışmaları

Taşınmaz fiyatlarını belirleme çalışmalarında konut alt pazarlarının bulunması için model tasarımı ve değişken tespit analizleri yapılmaktadır. Operasyonel bir konut piyasasının bir dizi birbirine bağlı ve yarı bağımsız alt pazar olarak çalıştığı çoğu araştırmacı tarafından desteklenmektedir (Kiel and Zabel 1996, Olmo 1995, Vandell 1995). Yerel konut stokunun homojenliği, hedonik tahminin doğruluğunu etkileme potansiyeline sahip olduğundan, hedonik teknikler, benzer hanelerin mahallelerinde ayrışık konut stokuna sahip mahallelere göre daha doğru değer tahminleri geliştirmektedir (Thibodeau 2003). Alt pazarlar, idari sınırlar gruplandırılarak, kümeleme analizi uygulanarak veya emlak uzmanları tarafından belirlenen sınırlar kullanılarak tanımlanabilir (Adair *et al.* 1996; Bourassa *et al.* 1999, Watkins 2001, Keskin ve Watkins 2016). Fiyatları belirleyecek en iyi yöntem ve modelin bulunmasında çeşitli istatistik yöntemlere başvurulmaktadır. İstatistiksel yöntemlerden biri olan farklı hedonik fonksiyon türleri, denge konut fiyatları kullanılarak hesaplanmaktadır (Cropper *et al.* 1988). Konut alt piyasaları ne kadar küçük tanımlanırsa, tahmin edilen varyans o kadar azalmakta ve sonuç olarak hedonik tahmin doğruluğu artmaktadır (Goodman and Thibodeau 2003). Bölgesel ilişkilerin hedonik denklemlere entegre edilmesi, piyasa değerlerini öngören modelin doğruluğunu artırmakta ve bu aynı zamanda alt pazarlar için tahmin hatalarının azaltılmasına da katkıda bulunmaktadır (Basu and Thibodeau 1998; Bourassa *et al.* 2007). Kullanılan modellerin doğruluklarının karşılaştırılması da önemli bir konudur. Karşılaştırmada genel bir hedonik regresyon modeli kullanılarak karşılaştırma yapılabildiği gibi, bazı verilerin analize sokulmadan, bu verilerle analiz sonuçlarının karşılaştırılması da yapılabilmektedir. Ortalama doğruluk olarak geliştirilen bir formül sonucu elde edilen değerlerin her iki model için yapılan karşılaştırması da bir gösterge olarak kullanılabilir (Keskin ve Watkins

2016). Tahmin sonucu bulunan konut değerlerinin en az %50'sinin gözlemlenen alım satım değerlerinin %10'u içinde olması gerektiğine dair tahmin doğruluğu eşiği, Otomatik Değerleme Modeli (AVM) endüstrisi tarafından benimsenmiştir (Goodman and Thibodeau 2007). İşlem fiyatlarına göre tahmini değerlerin doğrulanması kontrol edildikten sonra en son karar verilmelidir (Cellmer *et al.* 2014).

Taşınmaz fiyatlarını etkileyen değişkenleri bulmak amacıyla bugüne kadar çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Bunlardan bazılarını şu şekilde özetlememiz mümkündür. Konutların yaşam alanı büyüklüğü, buldukları lokasyon, buldukları yapılar da kaçınıcı katta olduklarını gösteren kat yüksekliği, diğer konutlara göre olan şerefiye değeri, ulaşım kolaylıkları gibi değişkenler önemlidir (Büyükduman 2014, Wong *et al.* 2011, Alas 2017, Açlar ve Çağdaş 2008). Diğerlerine nazaran büyük olan, iyi manzaraya sahip olan, yüksek katlarda bulunan konutların işlem fiyatı daha yüksektir. Bununla beraber toplu taşıma istasyonlarına yakın konutların fiyatları da yüksektir (Choy *et al.* 2007). Aynı cadde üzerinden ulaşımını sağlayan konutların bulunduğu bölgelerin incelendiği bir çalışmada ise, bu bölgelerin buldukları daha büyük mahalle alt bölgelerine göre fiyat farklılıkları yarattıkları görülmüştür (Alas 2020). Regresyon analizi yapılarak bir sonuca ulaşılmak istendiğinde, gösterge değişkenlerin (sınıfsal ölçekli değişkenler) kullanılması da yararlı sonuçlar vermektedir (Douglas *et al.* 2013).

Taşınmaz değerlendirme çalışmaları sonucunda, yaygın fikir birliği sağlanan bir model olmadığı, bölgelere göre fiyatı etkileyen değişken çeşitliliği olduğu, fakat ulaşım etkisinin çoğu araştırma sonucunda anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir.

### **3. Materyal ve Metot**

#### **3.1. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı**

Metro istasyonu çevresi ile iki istasyon arasındaki metro hattı çevresi hem satılık hem de kiralık konut bedelleri bakımından, farklı konut alt piyasası olarak değerlendirilebilir mi?

Bu sorunun cevabını bulabilmek amacıyla, satılık ve kiralık konut bedellerini etkileyen tüm konumsal özellikleri gösterebilecek olan 26,5 kilometre uzunluğundaki bir metro hattı incelenmiştir.

#### **3.2. Çalışmanın planlanması**

Çalışmada araştırma bölgesi olarak, İstanbul ili Anadolu yakasında bulunan 26,5 kilometre uzunluğundaki Tavşantepe'den başlayıp Kadıköy'e kadar uzanan metro hattı seçilmiştir (Şekil 1).

Metro güzergahının iki tarafına paralel uzanan 250'şer metre uzaklıktaki alan içerisinde veri toplanmıştır. Araştırılan bölge sınırları metro hattının iki tarafından 250 metre uzaklık seçilerek, daha uzak bölgelerde olacak olası konut piyasası etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 2). Satılık ve kiralık konutlara ait veriler toplanarak her iki türdeki fiyat incelenmesinin yapılabilmesi de göz önünde tutulmuştur.





Şekil 1. Tavşantepe-Kartal-Kadıköy Metro Hattı.



Şekil 2. İstasyon çevrelerinde ve istasyon aralarında veri toplanan bölgeler (Pendik-Yakacık İstasyonları).

Metro güzergahının iki tarafına paralel uzanan 250'şer metre uzaklıktaki alan içerisinde veri toplanmıştır. Araştırılan bölge sınırları metro hattının iki tarafından 250 metre uzaklık seçilerek, daha uzak bölgelerde olacak olası konut piyasası etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 2). Satılık ve kiralık konutlara ait veriler toplanarak her iki türdeki fiyat incelenmesinin yapılabilmesi de göz önünde tutulmuştur.

### 3.3. Veri toplanması

Tavşantepe istasyonundan başlayıp Kadıköy istasyonunda son bulan 26,5 kilometrelik metro hattında 19 istasyon çevresi ile 17 istasyon arası kalan bölgede veri toplanmıştır. Sadece Acıbadem-Ünalan metro istasyonları arasında kalan bölgede yeterli veri bulunamamıştır. Emlak şirketlerinin genel ağ sayfalarındaki ilanlarından ve satılık/kiralık konut listelemesi yapan gazete ilan siteleri ile sahibinden ilanların listelendiği genel ağ sayfalarından veri toplamada faydalanılmıştır. Metro hattı 36 adet bölgeye ayrılarak, bu bölgelerde hem satılık hem de kiralık konut fiyatları ile konutların alan büyüklükleri elde edilmiştir. Ayrıca, fiyatı etkileyebilecek olan giriş altı katlar, giriş katı ile en üst katlarda olan veriler araştırmaya dahil edilmemiş ve 2017 yılının şubat-nisan ayları olmak üzere aynı zaman aralığında veri toplanılarak, araştırılan veride olabildiğince bağdaşıklık sağlanmaya çalışılmıştır.

Metro hattının Kadıköy-Kartal bölümü 17 Ağustos 2012 tarihinde, Kartal-Tavşantepe uzatması ise 10 Ekim 2016 tarihinde hizmete girdiğinden dolayı, hizmetin başında, 2017 yılının şubat-nisan aylarında veri toplanmıştır. Böylece, bundan sonra yapılabilecek konut alt piyasalarına ait zamansal inceleme, endeks araştırmaları, çeşitli bölgelerde ve hatlardaki konut alt piyasası inceleme çalışmalarıyla yapılacak karşılaştırmalarda, bu çalışma sonuçlarının kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

### 3.4. Veri yönetimi

Karşılaştırmalar konutların metre kare fiyatlarına göre yapılmıştır. Bu nedenle "fiyat" değişkeni "alan" değişkeni değerine bölünerek yeni bir değişken elde edilmiştir. Yeni türetilen "metre kare fiyatı" değişkeni kullanılarak önce tüm istasyon

bölgelerindeki konut fiyatları ile tüm istasyonlar arası bölgedeki konut fiyatları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma hem satılık hem de kiralık veriler için ayrı ayrı yapılmıştır. İkinci aşamada ise artarda olan her iki istasyon bölgesinde bulunan veriler ile bu iki istasyonun arasındaki bölge içindeki verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar yapılacak şekilde veriler düzenlenmiştir.

### 3.5. İstatistik analiz

İstatistik analizler IBM SPSS İstatistik 21 programı ile yapılmıştır.

#### 3.5.1. Örneklem büyüklüğü ve kayıp veri incelemesi

Örneklem büyüklüğümüzün test gücü, nicel verilerle yapılacak iki ortalama arasındaki farkın testi araştırması için kullanılan (1) formülüne göre hesaplanmıştır (Sümbüloğlu and Sümbüloğlu 2005).

$$n = \left( 2 * \sigma^2 * \left( Z_{\alpha/2} + Z_{\beta} \right)^2 \right) / (\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (1)$$

Formülde;

$\sigma^2$ : İki grubun ortak varyansı  $(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)/2$

$Z_{\alpha/2}$ :  $\alpha$  yanılma düzeyinde iki yönlü hipotez için  $Z_{\alpha}$  değeri (Birinci tip hata)

$Z_{\beta}$ :  $1-\beta$  test gücünde  $Z_{\beta}$  değeri (İkinci tip hata)

$\mu_1-\mu_2$ : İki ortalama arasındaki fark

İstasyon bölgelerinde satılık konut verisi 534 adet, istasyon arası bölgelerde ise 465 adettir. İstasyon bölgesindeki kiralık konut verisi ise 493 adet ve istasyon arası bölgede 410 adettir. Genel veri sayısı göz önüne alındığında, satılık ve kiralık verilerden en az olanları ile yapılan hesaplama sonucu,  $\alpha=0,05$  yanılma düzeyinde ve  $1-\beta = 0,95$  test gücünde, elimizdeki örneklem sayısı ile istasyon ve istasyonlar arası bölgede yapılacak karşılaştırma için satılık konut fiyatlarında 713,44 TL farkı, kiralık konut fiyatlarında ise 2,21 TL farkı anlamlı olarak test edebilme imkânına ulaşılmıştır.

Beş adet hipotezin testi için kullanılan verilerde, her bir satılık ve kiralık veri setini oluşturan değişkenlerinin hiçbirisi için elde edilemeyen değer olmadığından, kayıp veri yoktur.

#### 3.5.2. Normallik ve sapkın değer incelemesi

Dağılım normal olduğu zaman, çarpıklık ve basıklık değeri sıfırdır. Sürekli değişkenler için standart puan



“z” değeri 3,29 değerinden büyük olduğunda muhtemel sapkın değer söz konusudur. (Tabachnick and Fidell, 2007). Büyük örneklerdeki dağılımın görsel görünümü ve gerçek boyutu, çarpıklığın anlamlılık düzeyinden daha önemlidir (Waternaux, 1976). Veri incelemesinde bu şartlar göz önüne alınmıştır. Normallik incelemesi her grup için (istasyon bölgesi ve istasyon arası bölgeler) yapılmıştır. Satılık verilerimizde, 3 adet istasyon bölgesinde, 2 adette istasyon arası bölgede olmak üzere 5 adet sapkın değer olarak tespit edilmiş ve bu verilerin ana kütleyle temsil etmeyeceği değerlendirildiğinden bu veriler araştırmadan çıkarılmıştır. Kiralık verilerimizde ise, 3 istasyon bölgesinde ve 6 istasyon arası bölgede olmak üzere toplam 9 adet veri çıkarılmıştır. Analize 994 adet satılık konut verisi ve 894 adet kiralık konut verisi ile devam edilmiştir. Sapkın değerler çıkartıldıktan sonra, çarpıklık ve basıklık değerleri normal dağılım göstergelerine yaklaşmıştır.

### 3.5.3. Anlamlılık Testleri

Araştırmada test edilen 5 adet hipotez için, grupların bağımsız olması, test edilecek değişkenin verilerinin normal dağılımda olması ile grupların varyanslarının homojen olması test varsayım şartları kontrol edilmiştir. İncelenen istasyon bölgeleri ve istasyonlar arası bölge verileri birbirlerinden bağımsızdır. İncelenen gruplarda 50 adetten fazla ölçü bulunduğu “metre kare birim fiyatı” değişkenine Kolmogorov–Smirnov testi uygulanmış,  $0.000$  (Sig.)  $< 0.05$  ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık seviyesinde) olduğunda grupların normal dağılım göstermediği, tersi durumda grupların normal dağılımda olduğu

kararı verilmiştir. Gruplardaki gözlem sayısı 50 adetten az olduğunda ise Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Varyanslarının homojen olmasıyla ilgili varsayım Levene istatistiği ile (homogeneity-of-variance) kontrol edilmiş ve  $0.000$  (Sig.)  $< 0.05$  ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık seviyesinde) olduğunda varyansların homojen olmadığı, tersi durumda ise varyansların homojen olduğu değerlendirilmiştir. Test edilen hipotezlerde varsayımlar sağlandığı takdirde bağımsız ölçülerde t testi, varsayımlar sağlanmadığı takdirde Mann-Whitney U testi uygulanmıştır (Akdağ ve Sümbüloğlu 2010).

## 4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada satılık konut verileri ile kiralık konut verileri için kullanılan hipotezler aşağıda verilmiştir.

Birinci Hipotez:

$H_0$ : Metro istasyonu bölgesinde bulunan konut fiyatları ile metro istasyonları arasında bulunanların ortalamaları arasında fark yoktur.

$H_1$ : Metro istasyonu bölgesinde bulunan konut fiyatları ile metro istasyonları arasında bulunanların ortalamaları arasında fark vardır.

Satılık konut verilerinde test varsayım şartları sağlanmadığı için (Çizelge 1) yapılan Mann-Whitney U testi sonucuna göre, metro istasyonu bölgesinde bulunan konut fiyatları ile metro istasyonları arasında bulunanların ortalamaları arasında fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 2).

**Çizelge 1.** Satılık konut verileri normal dağılım test istatistikleri.

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
satılıkm <sup>2</sup> fiyatı	istasyon bölgesi	,065	531	,000	,952	531	,000
	istasyon araları bölgesi	,073	463	,000	,957	463	,000

a. Lilliefors Significance Correction

**Çizelge 2.** Satılık konut verileri Mann-Whitney U test istatistikleri.

Test Statistics <sup>a</sup>	
	satılıkm2fiyatı
Mann-Whitney U	120102,500
Wilcoxon W	227518,500
Z	-,625
Asymp. Sig. (2-tailed)	,532

a. Grouping Variable: istasyon1araları2

**Çizelge 3.** Kiralık konut verileri normal dağılım test istatistikleri.

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kiralıkm2fiyatı	istasyon bölgesi	,116	490	,000	,927	490	,000
	istasyonlar arası bölge	,109	404	,000	,930	404	,000

a. Lilliefors Significance Correction

**Çizelge 4.** Kiralık konut verileri Mann-Whitney U test istatistikleri.

Test Statistics <sup>a</sup>	
	kiralıkm2fiyatı
Mann-Whitney U	93848,000
Wilcoxon W	214143,000
Z	-1,336
Asymp. Sig. (2-tailed)	,182

a. Grouping Variable: istasyon1araları2

Kiralık konut verilerinde test varsayım şartları sağlanamadığı için (Çizelge 3) yapılan Mann-Whitney U testi sonucuna göre, metro istasyonu bölgesinde bulunan konut fiyatları ile metro istasyonları arasında bulunanların ortalamaları arasında fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4).

Araştırmada 17 istasyon arası bölge ile bunların bağlandığı istasyon bölgeleri de ayrı ayrı incelenmiştir. Bu inceleme için kurulan hipotezler de aşağıda verildiği gibidir.

İkinci Hipotez:

H<sub>0</sub>: İstasyonlar arası bölge ile bu bölgenin iki ucunda bulunan istasyon bölgeleri arasındaki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

H<sub>1</sub>: İstasyonlar arası bölge ile bu bölgenin iki ucunda bulunan istasyon bölgeleri arasındaki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

Doğudan batıya doğru uzanan hat boyunca yapılan incelemede:

1-Tavşantepe ve Pendik istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

2-Pendik ve Yakacık/Adnan Kahveci istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

3-Yakacık/Adnan Kahveci ve Kartal istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

4- Kartal ve Soğanlık istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

5- Soğanlık ve Hastane/Adliye istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

6- Hastane/Adliye ve Esenkent istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

7- Esenkent ve Gülsuyu istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

8- Gülsuyu ve Huzurevi istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

9- Huzurevi ve Maltepe istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

10- Maltepe ve Küçükyalı istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

11- Küçükyalı ve Bostancı istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

12- Bostancı ve Kozyatağı istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur fakat satılık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

13- Kozyatağı ve Yenisahra istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

14- Yenisahra ve Göztepe istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur fakat kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

15- Göztepe ve Ünalın istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

16- Acıbadem ve Ayrılıkçeşme istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur fakat satılık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

17- Ayrılıkçeşme ve Kadıköy istasyon bölgesi ile bu istasyonların arasındaki bölgede satılık ve kiralık konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

Ayrıca tüm hat konumsal özelliklerine göre (eski yerleşim yeri, kısmen daha yeni yerleşim yeri ve yeni eklenen metro hattı bölgesi) üç bölgeye ayrılarak da inceleme yapılmıştır. Bu bölgeler için kurulan hipotezler aşağıda verilmiştir.

Üçüncü Hipotez:

H0: Kadıköy-Bostancı arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

H1: Kadıköy-Bostancı arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

Dördüncü Hipotez:

H0: Bostancı-Kartal arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

H1: Bostancı-Kartal arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

Beşinci Hipotez:

H0: Kartal-Tavşantepe arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark yoktur.

H1: Kartal-Tavşantepe arasındaki tüm istasyon bölgeleri ile bu istasyonlar arasında bulunan tüm istasyonlar arası bölgelerdeki konut fiyatlarının ortalamaları arasında fark vardır.

Üçüncü ve dördüncü hipotezler için; hem satılık hem de kiralık konut verisinde test varsayım şartları sağlanmadığı için Mann-Whitney U testi yapılmıştır. Üçüncü hipotezle incelenen veri sonucuna göre, kiralık konut fiyatlarında fark

bulunmuş, fakat satılık konut fiyatlarında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Dördüncü hipotezle incelenen veri sonucuna göre ise satılık konut fiyatlarında fark bulunmuş, fakat kiralık konut fiyatlarında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Beşinci hipotezle incelenen, metro istasyonuna en son eklenen Kartal-Tavşantepe verisinde test varsayım şartları sağlandığı için bağımsız ölçüler t testi yapılmıştır. Test sonucunda hem satılık hem de kiralık verisinde anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Hem satılık hem de kiralık konut fiyatları için tüm hat boyunca toplanan verilerle yapılan inceleme sonucunda, metro istasyon çevresi ile metro hattı çevresindeki fiyatlarda farklılık bulunmamıştır. Ardarda gelen iki istasyon ve araları için yapılan 17 incelemede ise, satılık konut fiyatlarında 4 adet bölgede, kiralık konut fiyatlarında da 3 adet bölgede fiyat farklılıkları bulunmuştur. Oransal olarak hesaplandığında, yaklaşık olarak satılık konut fiyatları %24, kiralık konut fiyatları da %18 oranında farklı çıkmıştır. Esenkent ve Gülsuyu bölgesi ile Ayrılıkçeşme ve Kadıköy bölgesinde hem satılık hem de kiralık konut fiyatlarında farklılık vardır. Genelde çevredeki istasyonlara göre satılık ve kiralık konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde, istasyon civarı ile istasyonlar arası alandaki fiyatların farklı olduğu görülmektedir. Bu durum konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde, istasyon çevresindeki konutların fiyatlarının arttığını, sonuç olarak buralarda konut alt piyasasının oluşması yönünde istasyon çevreleri ile istasyonlar arası bölgenin dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Diğer yerlerde bu bölgeler için ayrı bir konut alt piyasası oluşturmaya gerek olmayacağı anlaşılmıştır.

Üç, dört ve beşinci hipotezle incelenen bölgelerin sonuçları, birinci hipotezle incelenen bölgeyle benzerlik göstermektedir. Sadece Kadıköy-Bostancı bölgesindeki kiralık veride ve Bostancı-Kartal bölgesindeki satılık verisinde anlamlı bir fark çıkmıştır. Diğer bölgelerdeki karşılaştırmalarda anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Literatürde yapılmış çalışmalar incelendiğinde genellikle metro istasyonlara yakınlık ile metro hatlarına yakınlığın taşınmaz fiyatlarına etkisinin incelendiği görülmektedir. İstanbul'da yapılan bir çalışmada metro hattına yakınlığın, civardaki konut fiyatlarını olumlu yönde artırdığı bulunmuştur (Şahin 2019). İstanbul'da metro istasyonlarının konut fiyatına etkisini inceleyen başka bir çalışmada da tren istasyonuna olan mesafe azaldıkça konut değerinin arttığı ve metro yatırımlarının istasyon çevresindeki konut piyasasını olumlu etkilediği

bulunmuştur (Cengiz 2020). Choy vd. (2007) yaptıkları çalışmada, alan, yaş, bulunduğu kat, bahçe manzarası, deniz manzarası, kategorize olamayan manzara, şanslı kat, şanssız kat değişkenleriyle beraber ulaşım noktalarına yakınlığın da konut fiyatlarını etkilediği ve toplu taşıma istasyonlarına yakın konutların fiyatlarının yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Alkay (2011) İstanbul'da yaptığı çalışma sonucunda, kiracıların konut sahiplerine göre daha taşınmaya meyilli olduklarını bulmuştur. Bu bulgu, yapılan çalışmadaki, konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde istasyon bölgesindeki konutların fiyatlarının artmasına neden olduğu sonucuyla benzer çıkmıştır.

## 5. Sonuç

Konut fiyatlarını etkileyen çeşitli değişkenler ve konut alt piyasaları bulunmaktadır. Konut alt piyasaları çeşitli yöntemlerle bulunup deneysel olarak karşılaştırılmakta ve uygulamalarda kullanılmak üzere yayınlanmaktadır. Bu çalışmada da metro istasyonları çevresi ile metro hatları çevresinin konut alt piyasası olarak birbirlerinden farklı değerlendirilip değerlendirilemeyeceği incelenmiştir. Araştırma sorusunun kapsamlı olarak cevaplandırılabilmesi için İstanbul Anadolu yakasında 26,5 kilometre uzunluğunda olan Kadıköy-Tavşantepe Metro hattının tüm istasyon ve istasyon aralarında bulunan hem satılık hem de kiralık konut fiyatları araştırılmıştır. Hem istasyon çevreleri ve metro hattı çevresine ait tüm veriler ile hem de hat üzerinde bölünen toplam 17 ayrı bölgede karşılaştırma yapılmıştır. Sonuç olarak, tüm istasyon bölge verileri ile istasyon arası bölge verilerinin karşılaştırmasında hem satılık konut fiyatlarında hem de kiralık konut fiyatlarında bir farklılık bulunmamıştır. Artarda gelen iki metro istasyonu çevresi ile bu istasyonların arasında kalan hat çevrelerinin hepsinde ayrı ayrı yapılan incelemede ise, metro istasyonuna yakın olan konutların fiyatları ile metro hattına aynı yakınlıkta bulunan konutların fiyatları arasında satılık konut fiyatları için %24, kiralık konut fiyatları için %18 oranında bir farklılık görülmüştür. Bu farklılıklar, komşu istasyon ve istasyon arası alanlara göre satılık ve kiralık konut fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde meydana gelmiştir. Satılık ve kiralık konut fiyatlarının çevresindeki bölgelere göre yüksek olduğu yerlerde, metro istasyon çevreleri ile

metro hatları çevrelerinin ayrı konut alt piyasası olarak dikkate alınabileceği ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, metro istasyon bölgeleri ile metro hattı çevresindeki bölgelerine daha uzak komşu bölgelerde de yapılarak genişletilebilir. Ayrıca konut satış değerleri ve kira bedellerinin, konut alt piyasalarında farklı bir değişkenliğe sahip olup olmadığı araştırılabilir.

## 6. Kaynaklar

- Açlar, A., ve Çağdaş, V., 2008. Taşınmaz Gayrimenkul Değerlemesi . 2th ed. Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası. ISBN: 978-9944-89-558-3.
- Adair, A., Berry, J. and McGreal, W.S., 1996. Hedonic modelling, housing submarkets and residential valuation, *Journal of Property Research*, **13**(1), 67-83.
- Akdağ, B., ve Sümbüloğlu, K., 2010. Önemlilik Testleri. Hatiboğlu, Ankara. ISBN:978-975- 8322-36-7.
- Alas, B., 2017. Toplu Konutlarda Şerefiye Düzeltmelerinin Regresyon Analizi ile İncelenmesi. *Kent Akademisi*, **10**(4), 396-412.
- Alas, B., 2020. A multilevel analysis of housing submarkets defined by the municipal boundaries and by the street connections in the metropolitan area: Istanbul. *Journal of Housing and the Built Environment*, **35**, 1201 – 1217. <https://doi.org/10.1007/s10901-020-09735-7>
- Alkay, E., 2008. Housing submarkets in Istanbul. *International Real Estate Review*, **11**(1), 113-127.
- Alkay, E., 2011. The residential mobility pattern in the İstanbul metropolitan area. *Housing Studies*, **4**, 521-539.
- Basu, S., and Thibodeau, T.G., 1998. Analysis of spatial autocorrelation in house prices. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, **17**(1), 61–85. DOI: 10.1023/A:1007703229507.
- Bourassa, S.C., Hamelink, F., Hoesli, M. and MacGregor, B., 1999. Defining housing submarkets, *Journal of Housing Economics*, **8**(2), 160-183.
- Bourassa, S.C., Hoesli, M. and Vincent, S.P, 2003. Do housing submarkets really matter? *Journal of Housing Economics*, **12**, 12-28, DOI: 1016/S1051-13770300003-2.
- Bourassa, S.C., Cantoni, E. and Hoesli, M., 2007. Spatial dependence, housing submarkets, and house price prediction. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, **35**(2), 143–160, DOI: 10.1007/s11146-007-9036-8.
- Büyükduman, A., 2014. Bir Kent Efsanesi: Konut Balonu. Scala Yayıncılık.
- Cellmer, R., Belej, M., Zrobek, S., and Kovac, M.S., 2014. Urban land value maps: a methodological approach, *Geodetskivestnik*, **58**(3), 535-551. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.535-551.
- Cengiz, E.C., 2020. Financing urban rail investments via urban development, Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University Institute of Science, İstanbul, 130.
- Cropper, M.L., Deck, B.L., and McConnell, K.E., 1988. On the choice of functional form for hedonic price functions. *The Review of Economics and Statistics*, **70**(4), 668–675.
- Choy, Lennon H.T., Stephen W. K. Mak, and Winky K. O. Ho. 2007. Modeling Hong Kong Real Estate Prices, *Journal of Housing and Built Environment*, **22**, 359-368.
- Douglas C. M., Elizabeth A.P. ve Geoffrey G.V. 2013. Doğrusal Regresyon Analizine Giriş, Nobel yayınları, Ankara. ISBN: 978-605-133-618-3.
- Goodman, A.C. and Thibodeau, T.G., 2003. Housing market segmentation and hedonic prediction accuracy, *Journal of Housing Economics*, **12**: 181-201.
- Goodman, A.C. and Thibodeau, T.G., 2007. The spatial proximity of metropolitan area housing submarkets. *Real Estate Economics*, **35**(2), 209–232.
- Keskin, B., 2008. Hedonic Analysis of Price in the İstanbul Housing Market. *International Journal of Strategic Property Management*, **12**(2), 125-138, DOI: 10.3846/1648-715X.2008.12.125-138.
- Keskin, B. and Watkins, C., 2016. Defining spatial housing submarkets: Exploring the case for expert delineated boundaries. *Urban Studies Journal*, **54**(6), 1446-1462. DOI: 10.1177/0042098015620351.

Kiel, K. A. and Zabel, J. E., 1996. House price differentials in U.S. cities: Household and neighborhood effects. *Journal of Housing Economics*, **5(2)**, 143-165, DOI: 10.1006/jheec.1996.0008.

Olmo, J. C., 1995. Spatial estimation of housing prices and locational rents. *Urban Studies*, **32(8)**, 1331–1344. DOI: 10.1080/00420989550012492.

Sümbüloğlu, V. ve Sümbüloğlu, K., 2005. Örneklem. Ankara. ISBN: 975- 93883-1-6.

Şahin, O., 2019 Investigation of the effects of transportation investments on real estate prices: Case study Beylikdüzü&Esenyurt, Ph.D. Thesis, Boğaziçi University Institute of Science, İstanbul, 185.

Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. 2007. Using multivariate statistics, 5th ed. Boston: Pearson. ISBN: 0-205-45938-2.

Thibodeau, T. G., 2003. Marking single-family property values to markets. *Real Estate Economics*, **31(1)**, 1-22. DOI: 10.1111/j.1080-8620.2003.00055.x.

Vandell, K., D., 1995. Market Factors Affecting Spatial Heterogeneity Among Urban Neighborhoods. *Housing Policy Debate*, **6(1)**, 103-139. DOI: 10.1080/10511482.1995.9521183.

Waterson, C. M. 1976. Asymptotic distribution of the sample roots for a nonnormal population. *Biometrika*. **63**, 639-645.

Watkins, C. 2001. The definition and identification of housing submarkets, *Environment and Planning A*, **33**, 2235-2253.

Wong, S.K., Chau, K.W., Yau, Y. And Cheuna, A.K.C., 2011. Property price gradients: the vertical dimension, *Journal of Housing and the Built Environment*, **26**, 33-45.

# Uygulama İmar Planlarında Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Kullanımı

Ömer Gökberk NARİN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta: gokberknarin@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9286-7749>

Geliş Tarihi: 08.03.2021

Kabul Tarihi: 26.07.2021

## Öz

Günümüzde teknoloji hızla gelişmektedir ve bu gelişmeler mobil teknolojileri de aynı oranda etkilemiştir. Son on yıl içerisinde mobil teknolojilerdeki gelişme hayatımıza birçok etkide bulunmuştur. Bunlardan bir tanesi de mobil artırılmış gerçeklik uygulamalarıdır. Mobil artırılmış gerçeklik pazarlama, inşaat, kültürel miras, eğitim, arkeoloji vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanına göre iki boyutlu, üç boyutlu görsel ve video desteği sunabilmektedir. Bu bağlamda mesleğimizde anlaşılması zor olan uygulama imar planları ele alınmıştır. Uygulama imar planları içerisinde yer alan imar çaplarının kendilerine özel şekilleri bulunması anlaşılmasını zor hale getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, uygulama imar planlarında bulunan imar çaplarının mobil artırılmış gerçeklik yardımıyla üç boyutlu gösterimini sağlamaktır. Bu kapsamda android telefonlara uyumlu bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamanın, uygulama imar planlarının hazırlanışı, eğitim ve kullanıcılara yardımcı olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda modellerin hazırlanışında SketchUp, uygulamanın hazırlanışında Unity yazılımı ve Vuforia geliştirme portalından faydalanılmıştır. Sonuç olarak, uygulamanın imar planları hazırlanmasında, harita ve şehircilik ile alakalı lise, ön lisans ve lisans eğitiminde öğrencilere imar çaplarının anlatılmasında, vatandaşların parsel alım-satım işlemlerinde bina oturumunun görülmesinde faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca mobil uygulamanın geliştirme aşamasında yazılımların ücretsiz olması ve çok sayıda kaynak bulunması avantaj olarak görülmüştür.

## Anahtar kelimeler

Mobil artırılmış gerçeklik; Uygulama imar planı; SketchUp; Unity

## Using Mobile Augmented Reality Application in Implementary Development Plan

### Abstract

Nowadays, technology is developing rapidly and these developments have affected mobile technologies equally. The development in mobile technologies in the last decade has had many effects on our lives. One of them is mobile augmented reality applications. Mobile augmented reality marketing, construction, cultural heritage, education, archeology, etc. It is used in many areas. It can provide two-dimensional, three-dimensional visual and video support, depending on the area of interest. In this context, implementation of development plans, which are difficult to understand in our profession, are discussed. The special shapes of the zoning diameters included in the implemmentary development plans make it difficult to understand. The aim of this study is to provide three-dimensional representation of the zoning diameters in the implementary development plans with the help of mobile augmented reality. In this context, an application compatible with android phones has been developed. This application is aimed to help the preparation of implementary development plans, education and users. In this context, SketchUp was used in the preparation of the models, Unity software and the Vuforia development portal were used in the preparation of the application. As a result, it has been concluded that the application will be useful in preparing the implementary development plans, explaining the zoning dimensions to the students in high school, associate degree and undergraduate education related to mapping and urban planning, and seeing the building session in the parcel purchase and sale transactions of the citizens. In addition, it has been seen as an advantage that the software is free and there are many resources in the development phase of the mobile application.

### Keywords

Mobile augmented reality; Implementary development plan; SketchUp; Unity

## 1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte hayatımıza farklı gerçeklik tanımlamaları yapılmaktadır. Bunlardan en dikkat çekenleri Sanal Gerçeklik (SG) ve Artırılmış Gerçeklik (AG). SG bilgisayar yazılımı ile oluşturulmuş gerçek dünya ile bağlantısı olmayan farklı bir ortamdaki hissi verirken, AG ise gerçek dünyayı dijital bilgiler ile artıran ya da yeni sayısal bilgiler, grafikler ekleyen bir sistemdir (Azuma 1997, İçten ve Bal 2017). AG gerçek dünya ile entegre çalıştığı için uygulamada tabletler, akıllı telefonlar ya da yeni nesil gözlükler gibi mobil cihazlar ile birlikte kullanılmaktadır (Bednarczyk 2017). Akıllı telefonların artması fiyatların düşmesi ile birlikte AG uygulamalarına yönelik çalışmalar artmıştır bunun sonucu olarak da mobil artırılmış gerçeklik tanımı oluşmuştur ve bu kapsamda birçok çalışma bulunmaktadır (Erbaş ve Demirer 2014). Artırılmış gerçeklik, tıp (Ha and Hong 2016), eğitim (Demirer ve Erbaş 2015), pazarlama (Rauschnabel *et al.* 2019), mühendislik (Li *et al.* 2017) ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır (Van Krevelen and Poelman 2010).

Şehirleşme ile birlikte insanların ortak yaşam alanlarının belirlenmesi, yapılarının nasıl ve hangi şartlarda yapılması gerekliliği şehrin düzeni için gereklidir. Bu gereklilik bölgede yaşayan insanların refahını artırmakla birlikte şehirleri düzene sokmaktadır (Büyükaslan ve Avşar 2019). Bu kapsamda da ülkemizin 3194 sayılı imar kanunu, yerleşim yerleri ve bu alanlardaki yapılaşmaları uygun şekilde düzenlemek amacıyla düzenlenmiştir ve bu kanun maddesi gereğince imar planları yapılmaktadır. İmar planları nüfusun 10.000'i geçtiği tüm yerleşim alanlarında yapılması gereklidir. 3194 sayılı kanun gereğince hazırlanan imar uygulama planlarında yer alan imar çaplarının sembolle ifade edilmesi anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. İmar planı ile ilgili ayrıntılı bilgiler bölüm 2.1'de verilmiştir.

AG uygulamaları eğitim amaçlı birçok amaçla kullanılabilir ayrıca farklı yazılımlara uygulama geliştirilebilmektedir. Bu yazılımlarda farklılıklar mevcuttur (Demirer ve Erbaş 2015).

Mühendislik öğrencilerinin teknik resim ve nesneyi anlamasında AG uygulamaları çok önemlidir. AG uygulamaları sayesinde iki boyutlu şekillerin üç boyutlu şekilde görselleştirme imkanı vardır. Bu da mühendislik öğrencilerin hem teknik resim bilgisini geliştirdiği hem de nesneyi anlamasına yardımcı olmaktadır (Parmar *et al.* 2015).

Harita Mühendisliğinde de AG uygulamaları teknoloji ile birlikte paralel olarak artmaktadır. Henüz AG uygulamalarının gelişimleri ile birlikte jeodezi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi uygulamalarında birçok sorun çözüme ulaşmasa da uygulamanın gelişmesi ile birlikte sorunların çözülebileceğini belirtilmiştir. Ayrıca, gelecekte analizlerin kağıt haritalar ile etkileşimli hale geldiğinde analizlerin kağıt üzerinde gerçekleşmesini mümkün görülmektedir (Bednarczyk 2017).

AG uygulamaları şehir alanlarında kullanımları bulunmaktadır. Wu *et al.* (2021) şehir alanları için geliştirdikleri yeni bir üç boyutlu uygulamanın konuma dayalı oyunlarda, şehir planlamasında, kentsel miras düzenlemelerinde ve akıllı şehir uygulamalarında kolaylık sağlayacağını belirtmişlerdir.

AG uygulamalarında gereksiz ayrıntılar yerine hedefe yönelik içeriği vurgulayarak kullanıcıları gereksiz bilgilere maruz bırakmamak ve artırılmış coğrafi görselleştirmeyi desteklemek için anlamsal görsel değişkenler tanımlamışlardır (Li *et al.* 2020). Kültürel mirasın korunmasında da AG uygulamaları kullanılmaktadır. Uslu ve Uysal (2020) yaptıkları çalışmada, Sfenks Heykelinin üç boyutlu modeli fotogrametrik yöntemler ile oluşturulmuştur. Oluşturulan model AG ve Web tabanlı görselleştirme ile entegre edilmiştir. Çalışmanın sonucunda kültürel mirasın sunumunda keyifli ve diğer uygulamalara göre daha fazla ayrıntı içeren fırsat oluşturduğunu belirtmişlerdir.

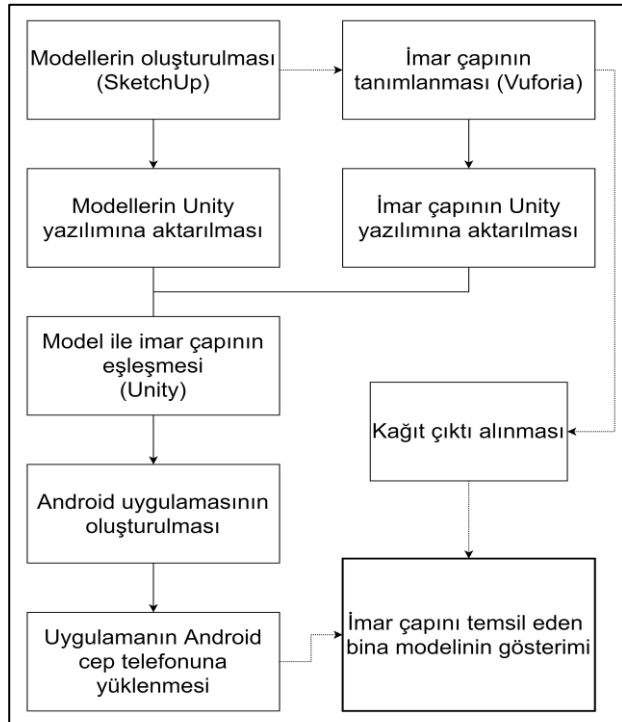
Bu çalışmada, imar uygulama planlarında bulunan imar çaplarının üç boyutlu görselleştirmesi için AG uygulaması geliştirilmiştir. Bu kapsamda imar çaplarının harita, şehircilik vb. eğitimi kapsamında imar dersi alan öğrenciler için daha anlaşılır olmasını, imar uygulama planları oluşturulurken üç boyutlu görselleştirme yardımıyla doğru karar



almayı, ayrıca imarlı parsel satın almayı düşünen vatandaşların yardıma ihtiyaç duymaksızın imar çaplarını anlaması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada üç boyutlu modelleme ücretsiz olarak internet üzerinden sunulan SketchUp yazılımı kullanılmıştır (İnt. Kyn. 1). SketchUp yazılımında uygulama imar planı, bina ve imar çapı hazırlanmıştır. Hazırlanan uygulama imar planı dışa aktarılmış ve Unity yazılımında açılmıştır. Unity yazılım ücretsiz oyun geliştirme yazılımı olup iki boyutlu ve üç boyutlu uygulamalar geliştirilebilmektedir (İnt. Kyn. 2). İmar çapı Vuforia geliştirme portalına aktarılmıştır. Portal yardımıyla imar çapı Unity yazılımı ile eşlenerek AG için hedef obje konumuna getirilmiştir. Vuforia geliştirme portalı uygulamaları AG ortamına aktarmak isteyen kullanıcılar için ücretsiz şekilde kullanılabilir (İnt. Kyn. 3). Gerekli ayarlamalar ve düzenlemelerin sonunda Android uygulama haline getirilmiştir. İhtiyaç halinde .apk dosyası android telefonlara yüklenerek kullanılabilir. Genel anlamda çalışma kapsamında izlenecek genel iş akış planı Şekil 1'de gösterilmektedir.



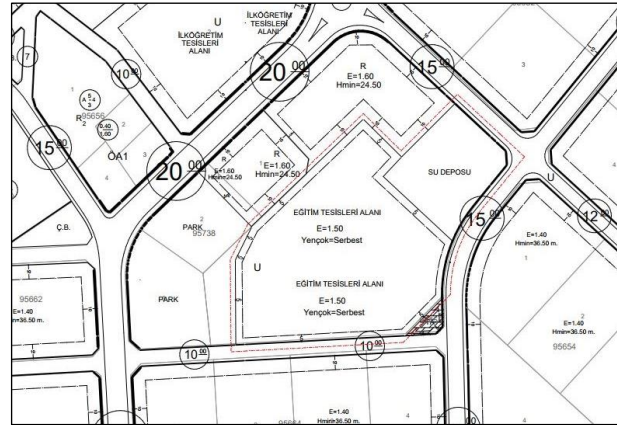
Şekil 1. Genel iş akışı.

## 2.1 İmar Planı ve Modelleme

Bölgede yaşayan halkın refah seviyesini yükseltmeyi hedefleyen beldelerin bu amaçla fiziki, kültürel, sosyolojik ve birçok parametreyi baz alarak oluşturulan ayrıca içerisinde notların bulunduğu, alternatiflerin önerildiği belgelere imar planı denmektedir. İmar planları ikiye ayrılmaktadır. Nazım imar planı ve uygulama imar planı. Çalışmamız uygulama imar planı üzerinden dizayn edilmiştir.

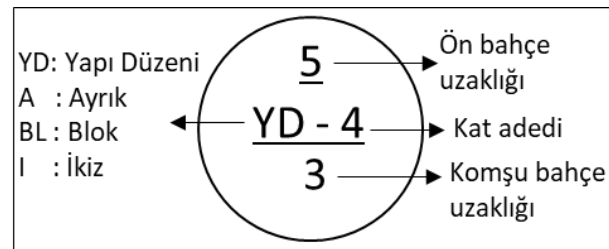
Uygulama imar planlarının amacı yerleşme ve yapı düzenini belirlemektir. Bu plan uygulama yapmak için değil, yapılacak uygulamalara esas oluşturup uygulama haritaları düzenlemeye yardımcı olur.

Uygulama imar planları içerisinde yapı adaları bulunmaktadır. Yapı adaları kullanma şekilleri ve yapılar olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil-2'de örnek uygulama imar planı gösterilmiştir. Daha fazla teorik ve uygulamalı bilgi Yıldız (2012) İmar Bilgisi kitabından faydalanılabilir.



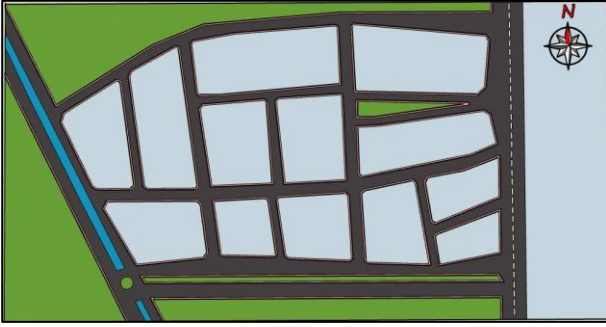
Şekil 2. Örnek uygulama imar planı (İnt. Kyn. 4).

Uygulama imar planlarında her bir imar adasında yapıların hangi türde ve nasıl yerleşeceğini gösteren imar çapları bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. İmar çapı örneği.

Çalışma kapsamında, gerçeğine benzer hayali imar uygulama planı (Şekil 4), ayrıca imar çapı (Şekil 5) hazırlanmıştır.

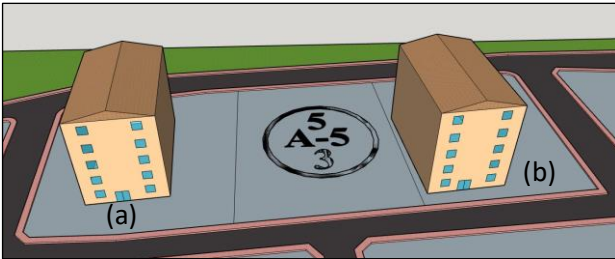


Şekil 4. Çalışmada kullanılan imar planı örneği.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan imar çapı.

İmar çapına uygun olarak, imar adası içerisinde iki adet bina modellenmiştir. Modellenen binaların bir tanesi imar çapına uygun haldeyken bir diğer imar çapına uygun değildir (Şekil 6). Modellemelerin tamamı SkethUp web yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. İmar parsellerinin görünümü, (a) imar çapına uygun yapılaşma, (b) imar çapına aykırı yapılaşma.

## 2.2 Mobil Artırılmış Gerçeklik

2000'li yıllarla birlikte ortaya çıkmaya başlayan mobil teknoloji hayatımıza pek çok kolaylık getirmiştir. Zaman, mekan ayırt etmeden internette çevrimiçi olarak dolaşılabilen, ayrıca birçoğunda bulunan kamera ve sensör gibi donanımlar cihazların farklı alanlarda kullanımına imkan vermektedir (Kim *et al.* 2004, Demirer ve Erbaş 2015). Bu teknolojilere paralel olarak da birçok uygulama geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle

android, ios ve Windows Phone Mobil gibi işletim sistemleri kullanıcılara farklı uygulamalar sunmakta hatta uygulama geliştirme imkanları vermektedir. Mobil artırılmış gerçeklik için Alive, Augment, Auresma gibi birçok uygulama geliştirilmiştir ve kullanıcılar ücretsiz şekilde kullanılabilirler. Çalışmamızda, mobil artırılmış gerçeklik üzerine Unity yazılımında Vuforia geliştirme portalı yardımıyla AG uygulaması geliştirilmiştir. Vuforia geliştirme portalı kod bilgisi gereği duymadan, Kare kod ya da istediğiniz bir sembolü yazılıma tanımlayarak AG uygulaması yapmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca ücretsiz olarak sunulan bu yazılım Unity ile entegre şekilde çalışmaktadır. Ayrıca bu yazılımlar Android ve iOS platformlarını desteklemektedir. Geliştirilen uygulama ait .apk dosyası makalenin sonunda yer alan destekleyici materyaller kısmında bulunan linkten indirilebilir.

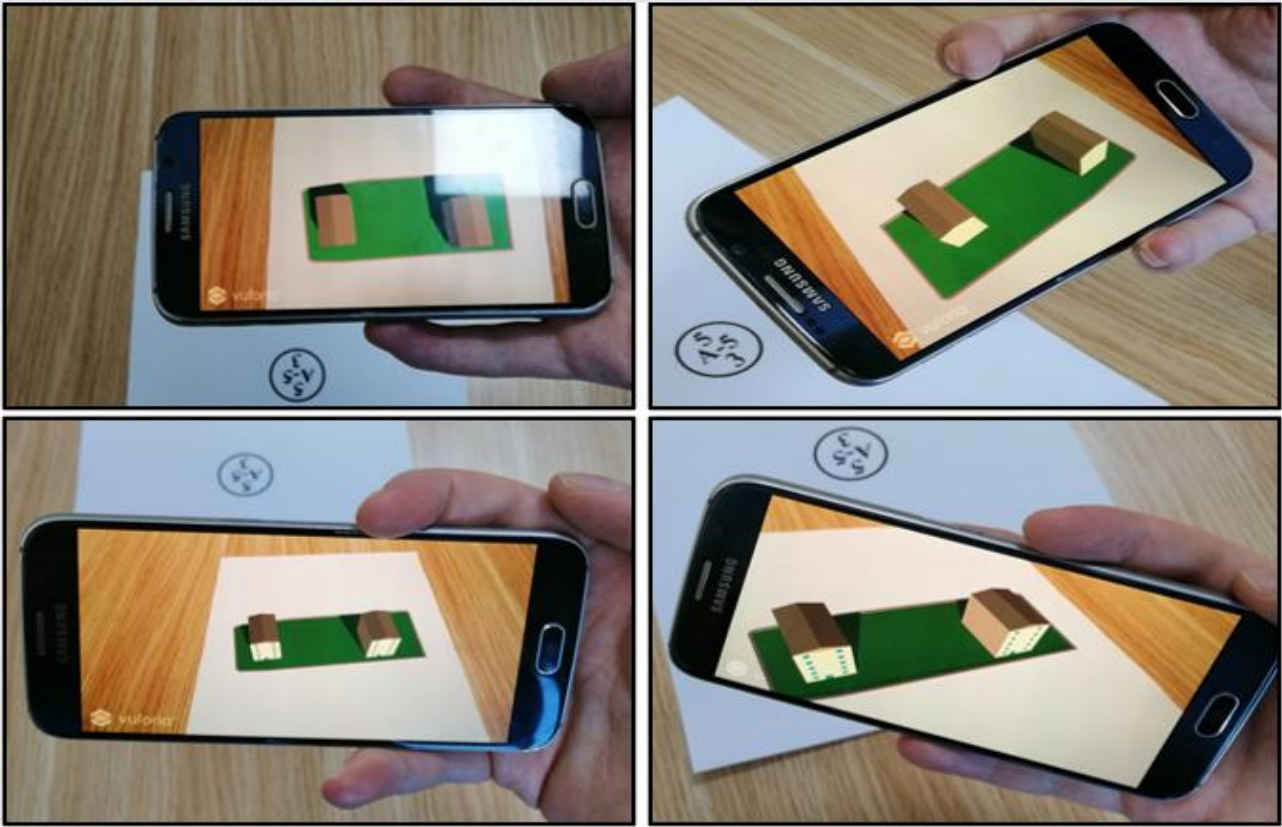
## 3. Bulgular ve Tartışma

Android cihazlar için geliştirilen uygulama yardımıyla imar çapı (Şekil 5) telefonun kamerası yardımıyla taradığı sürece üç boyutlu modeli her açıdan gösterebilmektedir (Şekil 7). Çalışma kapsamında geliştirilen uygulama da sadece bir imar çapı ve iki farklı model üzerinde durulmuştur. Unity yazılımında farklı ayarlamalar yardımıyla bu imar çapları şekillendirilebilir ve farklı bina modelleri oluşturulabilir. Uygulama oluşturulurken yapılan ayarlamalar yardımıyla modelin büyüklüğü imar çapı ile belirli bir ölçekte tutulmaktadır. Yani imar çapı büyüdükçe model büyümekte ve imar çapı küçüldükçe model küçülmektedir. Unity yazılımı yardımıyla yeni geliştirilecek uygulamalarda imar çapı ile eşleşen modelleri büyütme ve küçültme özellikleri eklenebilir. Binaya ait gölgelendirme ayarları da uygulama geliştirilirken düzenlenebilmektedir. Çalışmamızda gölgelendirme ayarları, ışık kaynağın konumu mobil cihazın bulunduğu konuma göre değişmektedir. Farklı uygulamalar geliştirilirken bölgeye ait özellikler baz alınarak ışığın konumu belirli bir noktada konumlandırılabilir.

Demirer ve Erbaş (2015) çalışmalarında inceledikleri AG uygulamalarının eğitim amaçlı çalışmalarında kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu

çalışmada da aynı şekilde Unity yazılımı ve vuforia geliştirme portalının da eğitim amaçlı kullanılacağı sonucuna varılmıştır. Uygulama için geliştirilen bina modelinin bir tanesi imar çapına göre hatalı olduğu için öğrencilere imar çapının anlatımında öğrencilere faydalı olacağı düşünülmektedir. Parmar *et al.* (2015) mühendislik öğrencileri için geliştirdikleri uygulamada da öğrenciler için AG uygulamasının faydalı olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada bir diğer bulgu da gölge gibi detayların olmasından dolayı imar çapları

belirlenirken farklı adalardaki binaların birbirinin güneş etkilerine göre belirlenebileceği kolaylığı görülmüştür. Uslu ve Uysal (2020) AG uygulamalarının kültürel mirasların korunumunda ve ülkedeki ekonomiye katkısı olacağını belirtmişlerdir. Benzer şekilde uygulama imar planları hazırlanırken AG uygulamaları kullanılarak imar çaplarının belirlenmesi planlardaki revizyonları ortadan kaldıracak için ekonomik ve zamansal olarak katkıda bulunacağı düşünülmektedir.



Şekil 7. İmar çapının taratılması ile üç boyutlu bina modelinin farklı açılardan görünümü.

#### 4. Sonuç

Mobil cihazlar artık hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Bununla birlikte mobil cihazlarda bulunan uygulamalar da kısa zamanda çok fazla iş yapmamıza olanak sağlamaktadır. AG uygulamaları da gerçek dünya üzerine iki boyutlu, üç boyutlu görsellerin yanı sıra video, metin ve ses gibi özellikler ekleyerek birçok disiplinde kullanılmaktadır. Çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur:

- İmar derslerinde öğrencilerin imar çaplarının görselleştirilerek görmesinin

birçok açıdan avantaj sağladığı düşünülmektedir.

- Uygulamanın özelliği olan gölgelendirmeler yardımıyla karar vericilerin imar çaplarını tespit etmede kullanılabileceği görülmüştür.
- Parsel alım-satım işlerinde meslekle alakalı olmayan şahısların kolaylıkla parselde şekillenebilecek binaları üç boyutlu görmeleri birçok konuda avantaj sağlamaktadır.

Uygulamanın gelişime açıktır ve farklı fikirler ile mesleğimizde birçok farklı alanda kullanılabilir. Ayrıca ilerideki çalışmalarda zeminin gerçek zemine uygun şekilde yüzey modelleri oluşturularak daha gerçekçi çözümler sunabilir. Konuma dayalı uygulama geliştirmeye yardımcı olan yazılımlar kullanılarak giyilebilir cihazlara uygulama entegre edilerek gerçek arazide oluşacak binanın görselleştirilmesi sağlanabilir.

### Teşekkür

Makale değerlendirme sürecindeki yapıcı önerilerinden dolayı hakemlere teşekkür ederim.

### Destekleyici Materyaller

İmar uygulamasını aşağıdaki linkten indirebilirsiniz; "<https://drive.google.com/drive/folders/1KBu1dDt5zVln06MY-ejnWGnPTfevC4C-?usp=sharing>" Uygulamayı telefonunuza yüklerken dış kaynak uygulaması izinlerini vermeyi lütfen unutmayınız.

### 5. Kaynaklar

Azuma, R., 1997. A survey of augmented reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* **6(4)**, 355–385.

Bednarczyk, M., 2017. The use of augmented reality in geomatics. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering: Vol. 10 (pp. 1-7). <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.162>

Büyükaslan, S., Avşar, E. Ö. 2019. İmar Uygulamalarında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 23-25 Ekim 2019, Ankara.

Erbaş, Ç., Demirer, V., 2014. Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları: Google Glass Örneği. *Journal of Instructional Technologies & Teacher Education*, **3(2)**, 8-16.

Demirer, V., ve Erbaş, Ç., 2015. Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının İncelenmesi ve Eğitimsel Açından Değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, **11(3)**: 802-813 <https://doi.org/10.17860/efd.29928>

Ha, H., and Hong, J., 2016. Augmented Reality in Medicine, *Hanyang Medical Reviews*, **36(4)**, 242-247. <https://doi.org/10.7599/hmr.2016.36.4.242>

İçten, T., ve Bal, G., 2017. Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi. *Gazi*

*Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, **5(2)**, 111-136.

Kim, S. H., Holmes, K., and Mims, C. 2004. Mobile wireless technology use and implementation: Opening a dialogue on the new technologies in education. *TechTrends*, **49(3)**, 54-63.

Li, W., Nee, A. Y.C., Ong, S. K., 2017. A State-of-the-Art Review of Augmented Reality in Engineering Analysis and Simulation. *Multimodal Technol. Interact.* **1, 3(17)**. <https://doi.org/10.3390/mti1030017>

Li, Y., Zhu, Q., Fu, X., Feng, B., Liu, M., Zhang, J., Zhu, J., He, H., and Yang, W., 2020. *Semantic Visual Variables for Augmented Geovisualization. The Cartographic Journal*, **57(1)**, 43-56. <https://doi.org/10.1080/00087041.2018.1533295>

Parmar, D., Pelmahale, K., Kothwade, R., Badgujar, P. 2015. Augmented Reality System for Engineering Graphics, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, **4(10)**, 327-330 <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2015.41070>

Rauschnabel, P. A., Felix, R., and Hinsch, C. 2019. Augmented reality marketing: How mobile AR-apps can improve brands through inspiration. *Journal of Retailing and Consumer Services*, **49**, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.03.004>

Van Krevelen, D. W. F. and Poelman, R., 2010. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, **9(2)**, 1-20. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>

Yıldız, F., 2012. İmar bilgisi. 8. baskı, Nobel Yayın Dağıtım, 1-677.

Wu, Y., Che, W., Huang, B., 2021. An Improved 3D Registration Method of Mobile Augmented Reality for Urban Built Environment. *International Journal of Computer Games Technology*, **(2021)**, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/8810991>

### İnternet kaynakları

1-<https://app.sketchup.com/>, (04.10.2020)

2-<https://unity.com/>, (01.10.2020)

3-<https://developer.vuforia.com/>, (25.09.2020)

4-<https://www.imarhaber.com/imar-plani-nedir-imar-plani-cesitleri-nelerdir/>, (5.03.2021)



AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045505 (881-899)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045505 (881-899)

DOI: 10.35414/akufemubid.890436

Araştırma Makalesi / Research Article

# Çoklu Zamanlı Sentinel-2 Görüntülerinden Tarımsal Ürün Tespiti: Mardin – Kızıltepe Örneği

Müslüm ALTUN<sup>1\*</sup>, Mustafa TÜRKER<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara.

\*Sorumlu yazar e-posta: altunmuslum06@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5603-6331>  
mturker@hacettepe.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5604-0472>

Geliş Tarihi: 03.03.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

## Öz

### Anahtar kelimeler

Sentinel 2; Makine Öğrenme Algoritması; Rastgele Orman (RO) Sınıflandırma Tekniği; Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS)

Bu çalışmada, Mardin İli, Artuklu, Kızıltepe ve Derik ilçelerinde tarımsal arazilerden oluşan bir bölgede, 2018 yılına ait çoklu tarihli Sentinel-2 uydu görüntülerinden sınıflandırma yöntemi ile ürün tespiti yapılmıştır. Sınıflandırmada, Rastgele Orman (RO) algoritması parsel-tabanlı yaklaşımla kullanılmıştır. Tespit edilen ürünler mısır, buğday, pamuk, nohut, mercimek ve diğerleridir. Görüntü olarak altı farklı tarihte (8 Nisan, 23 Mayıs, 12 Temmuz, 11 Ağustos, 5 Eylül ve 5 Ekim) çekilmiş görüntüler seçilmiştir. Sınıflandırmada 10m konumsal çözünürlüklü Mavi (M), Yeşil (Y), Kırmızı (K) ve Yakın Kızıl Ötesi (YKÖ) bantlar kullanılmıştır. Ayrıca, her bir görüntü tarihi için Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NFBİ) bandı hesaplanmış ve sınıflandırmada ek bant olarak kullanılmıştır. RO algoritması ile sınıflandırma işlemi, her bir görüntü tarihine ait beş bant (M, Y, K, YKÖ ve NFBİ) olmak üzere, toplam 30 bantlı görüntü yığınının tek seferde sınıflandırmaya dâhil edilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Eğitim alanı örnekleri ve sonuçların doğruluk analizleri için, mevcut Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) verilerinden yararlanılmıştır. Sınıflandırma neticesinde % 96.35 genel doğruluk ve % 93.13 kappa katsayısı değerlerine ulaşılmıştır.

## Agricultural Crop Detection from Multi-Temporal Sentinel 2 Images: A Case Study of Mardin - Kızıltepe

### Abstract

### Keywords

Sentinel 2; Machine Learning Algorithm; Random Forest (RF) Classification Technique; Farm Registration System (FRS)

In this study, crop detection was carried out in an agricultural region in the Artuklu, Kızıltepe and Derik districts of the city of Mardin through classification of multi-temporal Sentinel-2 images from 2018. In the classification, the Random Forest (RF) algorithm was used through a parcel-based approach. The detected crops are corn, wheat, cotton, chickpeas, lentils and the others. The images acquired on six different dates (April 8, May 23, July 12, August 11, September 5 and October 5) were selected as the images. In the classification, the 10m spatial resolution bands Blue (B), Green (G), Red (R) and Near Infrared (NIR) were used. Furthermore, for each image date a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) band was computed and used as additional band in classification. The classification process through the RF algorithm was carried out using the stack of 30 bands that includes five bands (B, G, R, NIR, NDVI) for each image. For training samples and the accuracy assessment of the results, the existing Farmers' Registry System (FRS) was utilised. As a result of the classification process, the overall accuracy of 96.35% and the Kappa value of 93.13% were achieved.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Uzaktan algılama, karasal dinamiklerin farklı mekânsal ve zamansal çözünürlüklerle uygun şekilde gözlemlenmesini, tanımlanmasını, haritalanmasını, değerlendirilmesini ve izlenmesini sağlayan bilim dalıdır. Uzaktan algılamanın

avantajlarının en iyi şekilde kullanılabildiği alanlardan biri, dinamik arazi örtüsüne sahip olan tarım alanlarıdır (Rodriguez-Galiano *et al.* 2012).

Uzaktan algılama teknolojisi günümüzde tarımsal ürün tespitinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarım arazilerinin uydu görüntüleri ile haritalanması

konusunda çeşitli ölçeklerde farklı çalışmalar vardır (Thenkabail *et al.* 2010, Gumma *et al.* 2011, Thenkabail *et al.* 2011). Uzaktan algılama çalışmalarında kullanılacak veri temini zaman ve maliyet analizi açısından oldukça pahalıdır. Sentinel-2 uydu görüntülerinin ücretsiz olarak temin edilebilmesi bu güçlüğün ortadan kaldırılmasında oldukça önemlidir. Ayrıca, Sentinel-2 uydusu zengin bant sayısı, kullanıcılara farklı konumsal çözünürlükte görüntü sunması ve düşük zamansal çözünürlük özelliği ile çoklu tarihli görüntüleri kısa sürede kullanıma kazandırması açısından birçok farklı alanda yaygın kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. Bu özellikleri ile Sentinel-2 uydusunun yaygın kullanım alanlarından birisi de tarımsal alanlardır.

Uydu görüntülerinin tarımsal alanlarda en yaygın kullanımlarından birisi ürün tespittir. Otomatik görüntü sınıflandırma ile ürün tespitinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir (Thenkabail and Wu 2012, Dheeravath *et al.* 2010, Brisco and Brown 1995, Ban 2003, Inglada *et al.* 2016). Otomatik görüntü sınıflandırma ile tarımsal ürün tespiti, verim ve rekolte tahmini gibi tarımsal ekosistem değişkenlerinin modellenmesini de sağlar (Wesseling and Fedes 2006). Tarımsal ürün deseni tespitinde çok zamanlı uydu görüntüleri ile yapılan çalışmaların tek zamanlı uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalara göre çok daha yüksek doğruluk verdiği bilinmektedir (Gömez *et al.* 2016, Long *et al.* 2013). Vuolo *et al.* (2018) tarafından Avusturya'nın Marchfeld bölgesindeki tarımsal alanlarında 2016 ve 2017 yılları Mart ve Nisan aylarında çekilen Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak havuç, mısır, soğan, patates, kabak, soya fasulyesi, şeker pancarı ve ayçiçeği sınıfları olmak üzere toplam 8 adet yaz ürünü ve 1 adet kış ürünü (kış tahılı) olmak üzere toplam 9 sınıf tanımlanarak sınıflandırma yapılmıştır. Kırmızı-K, Yeşil-Y, Mavi-M ve Yakın Kızıl Ötesi-YKÖ olmak üzere 4 bantla yapılan sınıflandırmada, 2016 yılı görüntülerinde 5219 adet parsel üzerinde % 95,80 genel sınıflandırma doğruluğu, 2017 yılı görüntülerinde 5085 adet parsel üzerinde % 94,60 genel doğruluk elde edilmiştir. Türker ve Arıkan (2005) tarafından 2005 yılında Bursa ili Karacabey ilçesinde Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarına ait Landsat-7 ETM+ görüntüleri

ile parsel tabanlı tarımsal ürün tespiti çalışmasında % 81,30 genel sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Sonobe *et al.* (2017) tarafından Japonya'nın Hokkaido bölgesinde çoklu zamanlı Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak 6 farklı tarımsal ürün sınıflandırılmıştır. 2016 yılının 5 farklı tarihine ait görüntüler ile Kernel Temelli Aşırı Öğrenme Makinesi (KELM), Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağları, Rastgele Orman (RO) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) olmak üzere 4 farklı yaklaşım denenmiştir. KELM yaklaşımı % 96,80 ile en yüksek sınıflandırma performansını vermiştir. Simonneaux *et al.* (2008) tarafından Marrakech Central Morocco'da yapılan çalışmada çıplak toprak, yıllık bitkiler, çıplak toprak üstündeki ağaçlar ve alt bitki örtüsü üstündeki ağaçlar olmak üzere 4 ana sınıf tanımlanarak 8 zaman serili Landsat TM görüntüleri ile ürün tespiti yapılmıştır. Karar ağacı algoritması ile yapılan sınıflandırmada % 83,70 genel doğruluk ve 0,78 kappa katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Sakamoto *et al.* (2005) tarafından Japonya'da 250 m konumsal ve 16 gün zamansal çözünürlüklü 2002 yılına ait çoklu zamanlı MODIS Geliştirilmiş Bitki İndeksi (Enhanced Vegetation Index- EVI) ile pirinç ürünü sınıflandırılması işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Arvor *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada MODIS-Terra Geliştirilmiş Bitki İndeksi (Enhanced Vegetation Index-EVI) zaman serileri ile Brezilyanın Mato Grosso eyaletinde soya fasulyesi, mısır, pamuk ve ticari olmayan ürünler olmak üzere 4 sınıf tanımlanarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. En yüksek olasılık (Maximum Likelihood) sınıflandırma algoritması kullanılarak genel sınıflandırma ve kappa katsayısı doğrulukları sırasıyla % 85,50 ve 0,8067 olarak hesaplanmıştır. Peña-Barragán *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada farklı tarihlerde alımı yapılan 3 adet ASTER (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Gelişmiş Uzay Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi) uydu görüntüsü kullanılarak ABD'nin Kalifornia eyaletinde tarımsal ürün tespiti yapılmıştır. 13 tarımsal ürünün tanımlandığı karar ağacı modeli algoritması ile gerçekleştirilen sınıflandırma çalışmasında genel doğruluk oranı %79 olarak hesaplanmıştır. Immitzer *et al.* (2016) tarafından Avustralya'nın Marchfeld bölgesinde yapılan bir çalışmada

Sentinel-2 uydusunun 20 m çözünürlüklü bantları 10 m'ye yeniden örneklenmiş ve 10 m konumsal çözünürlüklü bantları ile birleştirilmiştir. Yaklaşık 10 km x 10 km'lik çalışma alanında RO algoritması kullanılarak havuç, mısır, soğan, soya, şeker pancarı, ayçiçeği ve kış ürünleri olmak üzere toplam 7 adet tarımsal ürün sınıfı tanımlanmış olup, %90 oranında genel doğruluk elde edilmiştir. Topaloğlu vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Sentinel-2 ve Landsat-8 uydusu görüntüleri ile yapılan sınıflandırma işleminin doğruluklarını karşılaştırma amaçlı İstanbul ilinde 309,02 km<sup>2</sup> 'lik alanda sınıflandırma yapılmıştır. Landsat-8 uydusunun 30 m çözünürlüklü 6 bandı ve Sentinel-2 uydusunun 10 m ve 20 m çözünürlüklü 6 bandı 30 m çözünürlüğe yeniden örneklenerek farklı uyduların aynı konumsal çözünürlüklü görüntüleri kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Su, orman, çimen alanı, yeşil alan, yol, kırsal alan, havaalanı/sanayi alanı, maden/kıraç alanı olmak üzere 8 adet sınıf tanımlanmıştır. En Yüksek Olasılık algoritması ve destek vektör makineleri (DVM) algoritması kullanılarak Sentinel-2 ve Landsat-8 görüntüleri kullanılarak ENVI yazılımında sınıflandırma işlemi yapılmış olup, farklı kombinasyonlarda genel doğruluk değerleri hesaplanmıştır. En yüksek olasılık algoritması ile; Landsat-8 uydusu görüntüleri kullanılarak %70,60 genel doğruluk, Sentinel-2 uydusu görüntüleri kullanılarak %76,40 genel doğruluk değerleri hesaplanmıştır. DVM algoritması ile; Landsat-8 uydusu görüntüleri kullanılarak %81,67 genel doğruluk, Sentinel-2 uydusu görüntüleri kullanılarak % 84,17 genel doğruluk değerleri hesaplanmıştır. İrfanoğlu ve Balçık (2018) tarafından 2018 yılında İstanbul ili, Çatalca ilçesinde, Sentinel-2 uydusunun 10 m çözünürlüklü K, Y, M ve YKÖ bantları kullanılarak çoklu çözünürlük segmentasyon ve ardından nesne-tabanlı sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma doğruluğunu artırmak için K,Y,M ve YKÖ bantlarından Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi-NFBİ (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), Homojenlik (Gray Level Co-occurrence Matrix-GLCM), Toprak Dengelemeli Bitki İndeksi (Soil Adjusted Vegetation Index-SAVI) ve Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index-NDWI) bantları hesaplanarak

sınıflandırma işlemine dâhil edilmiş ve % 91,30 genel doğruluk ve 0,89 kappa katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Ek bantlar ile sınıflandırma doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Belgiu and Csillik (2018) tarafından Romanya (1. bölge), İtalya (2. bölge) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (3. bölge) Sentinel-2 uydu görüntülerinden 1. bölge için 5 sınıf, 2. bölge için 6 sınıf ve 3. Bölge için 7 sınıf tanımlanarak segmentasyon ve sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada NFBİ ek bandı hesaplanarak RO tekniği ile yapılan sınıflandırmada 1. bölge için % 92,62, 2. bölge için % 87,11 ve 3. bölge için % 66,56 genel doğruluk oranları elde edilmiştir.

MODIS, ASTER, Landsat-7 ETM+ ve Landsat-8 TM uydu görüntüleri bazı çalışmalarda halen kullanılmasına rağmen, günümüz teknolojisi ile kıyaslandığında konumsal çözünürlükleri düşüktür. Diğer yandan orta, yüksek ve çok yüksek konumsal çözünürlüklü uydu görüntülerinin temini yapılan çalışmalardan beklenen sonuçlara pozitif yönde katkıda bulunmuştur (Powell *et al.* 2007). Pirotti *et al.* (2016) tarafından İtalya'nın Padova şehrinde yapılan çalışmada Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak yaklaşık 60 km<sup>2</sup> 'lik bir alanda yapay sinir ağları tekniği kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Çalışma alanı içerisine rastgele atılan noktalar ile doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve yaklaşık %90 genel doğruluk elde edilmiştir. Noi and Kappas (2018) tarafından yapılan Vietnam'ın Kızıl Nehir bölgesinde bir tarımsal alanda sınıflandırma işlemi yapılmıştır. SNAP yazılımının kullanıldığı bu çalışmada, Sentinel-2 uydusunun 10m ve 20m çözünürlüklü bantları birleştirilerek RO, En Yakın Komşuluk ve DVM sınıflandırma algoritmaları kıyaslanmıştır. Yerleşim alanı, geçirimsiz yüzey, tarım alanı, çıplak alan, orman ve su olmak üzere 6 adet sınıf tanımlanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. En Yakın Komşuluk algoritması ile %94,59 genel doğruluk, RO algoritması ile %94,70 genel doğruluk ve DVM algoritması ile %95,32 genel doğruluk değeri elde edilmiştir.

Gasparovic and Jogun (2017) tarafından Batı Hırvatistan'ın Rijeka şehrinde 60 km x 60 km'lik bir alan içinden seçilen 1,5 km x 1,5 km'lik test alanında arazi örtüsü tespiti amaçlı sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada Sentinel-2 uydusunun farklı bantlarının

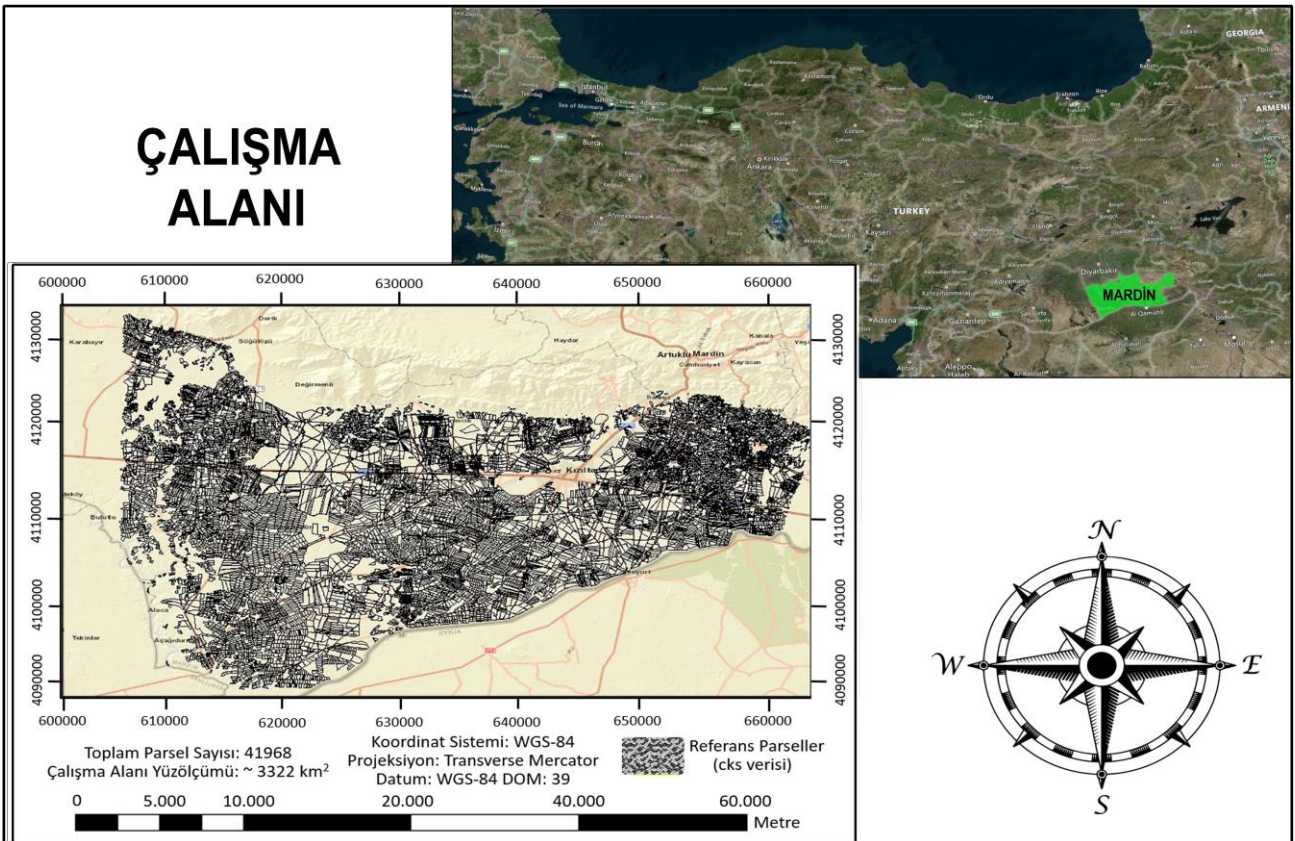
kaynaştırılarak işleme dâhil edilmesi ve bunun sınıflandırmaya etkisi araştırılmıştır. Farklı görüntü kaynaştırma teknikleri kullanılarak SNAP yazılımında su, yerleşim alanı, çıplak alan, yeşil alan ve orman olmak üzere 5 farklı sınıf tanımlanmıştır. Yapay Sınır Ağları tekniği ile yapılan sınıflandırma sonucunda en yüksek genel doğruluk oranı % 74,90 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada çoklu tarihli Sentinel-2 uydu görüntülerinden Mardin ili, Artuklu, Kızıltepe ve Derik ilçeleri sınırları içinde kalan tarım alanlarının bir kısmında RO sınıflandırma algoritması kullanılarak parsel-tabanlı yaklaşımla yaz aylarında yetiştirilen tarım ürünlerinin tespiti yapılmıştır. Sınıflandırmada 10 m çözünürlüklü K, Y, M ve YKÖ bantlar kullanılmıştır. Seçilen her bir görüntü tarihi için K ve YKÖ bantlardan NFBİ bantları hesaplanmış ve sınıflandırmada ek bantlar olarak kullanılmıştır. RO sınıflandırma algoritmasının iki önemli parametresi olan ntree ve mtry değerleri, Breiman (2018), Breiman (2001), Pal (2005) ve Archer and Kimes (2008) tarafından yapılan çalışmalarda önerildiği şekilde belirlenmiştir.

## 2. Çalışma Alanı, Uydu Görüntüleri ve Arazi Verileri

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı (Şekil 1) Mardin İli, Artuklu, Kızıltepe ve Derik ilçeleri sınırları içinde yer alan bir tarımsal alandan oluşmaktadır. Yaklaşık koordinatları 600000.00 m, 4138360.00 m (Kuzey Batı); 600000.00 m, 4090200.00 m (Güney Batı); 668980.00 m, 4138360.00 m (Kuzey Doğu); 668980.00 m, 4090200.00 m (Güney Doğu) olan çalışma alanının projeksiyon bilgileri şu şekildedir: WGS 84, UTM-Zone 37 N, DOM 39. Çalışma alanında farklı özelliklere (örn., ekim zamanı, yaprak türü ve yaprak dökme zamanı, hasat zamanı, yıl içinde hasat edilme sıklığı v.b.) ve farklı büyüklükte parsellere sahip tarımsal yaz ürünleri bulunmaktadır. Bölgede temel olarak mısır, buğday, pamuk, nohut ve mercimek yaz ürünleri bulunmakla birlikte yaygın olarak üretimi yapılan ürünlere göre nispeten daha küçük parseller içerisinde ekili farklı ürünler de mevcuttur. Çalışma alanının büyük bir bölümü ekili tarımsal alanlardan oluşmasına rağmen, alımı yapılan görüntü tarihi itibarıyla ekili olmayan nadas alanları da bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının görünümü.



## 2.2 Sentinel- 2 uydu görüntüleri

Çalışmada 6 farklı tarihe ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır (Çizelge 1). Görüntüler Earthexplorer (Int Kyn. 1) web sitesinden ücretsiz olarak temin edilmiştir. Görüntü tarihlerinin seçimi, her aya ait tüm görüntülerin görsel incelenmesine göre yapılmıştır. Her bir görüntü için indirilen dosyada, görüntülerin 13 bandının (Bant 1-Kıyı Aerosol, Bant 2-Mavi, Bant 3-Yeşil, Bant 4-Kırmızı, Bant 5-Bitki Sıcak Kenar, Bant 6-Bitki Sıcak Kenar, Bant 7-Bitki Sıcak Kenar, Bant 8-Yakın Kızıl Ötesi, Bant 8A- Bitki Sıcak Kenar, Bant 9-Su Buharı, Bant 10-Kısa Dalga Kızıl Ötesi, Bant 11- Kısa Dalga Kızıl Ötesi, Bant 12- Kısa Dalga Kızıl Ötesi) her birine ait görüntü dosyası, meta veri, geometrik ve radyometrik düzeltme bilgileri vb. yer almaktadır.

Sentinel-2 uydusu, 5 günlük zamansal çözünürlüğe, geniş şerit genişliğine, farklı konumsal çözünürlüklerde (10 m, 20 m, 60 m) 13 spektral banda sahiptir. Bu özellikleri ile Sentinel-2 uydusu görüntüleri diğer çok bantlı uydu görüntüleri arasında öne çıkmaktadır ve tarımsal alanların gözlemlenmesi, tarımsal ürün türlerinin tespit edilmesi, bitki örtüsü ve yeryüzünün izlenmesi için detaylı bir bakış açısı sunmaktadır.

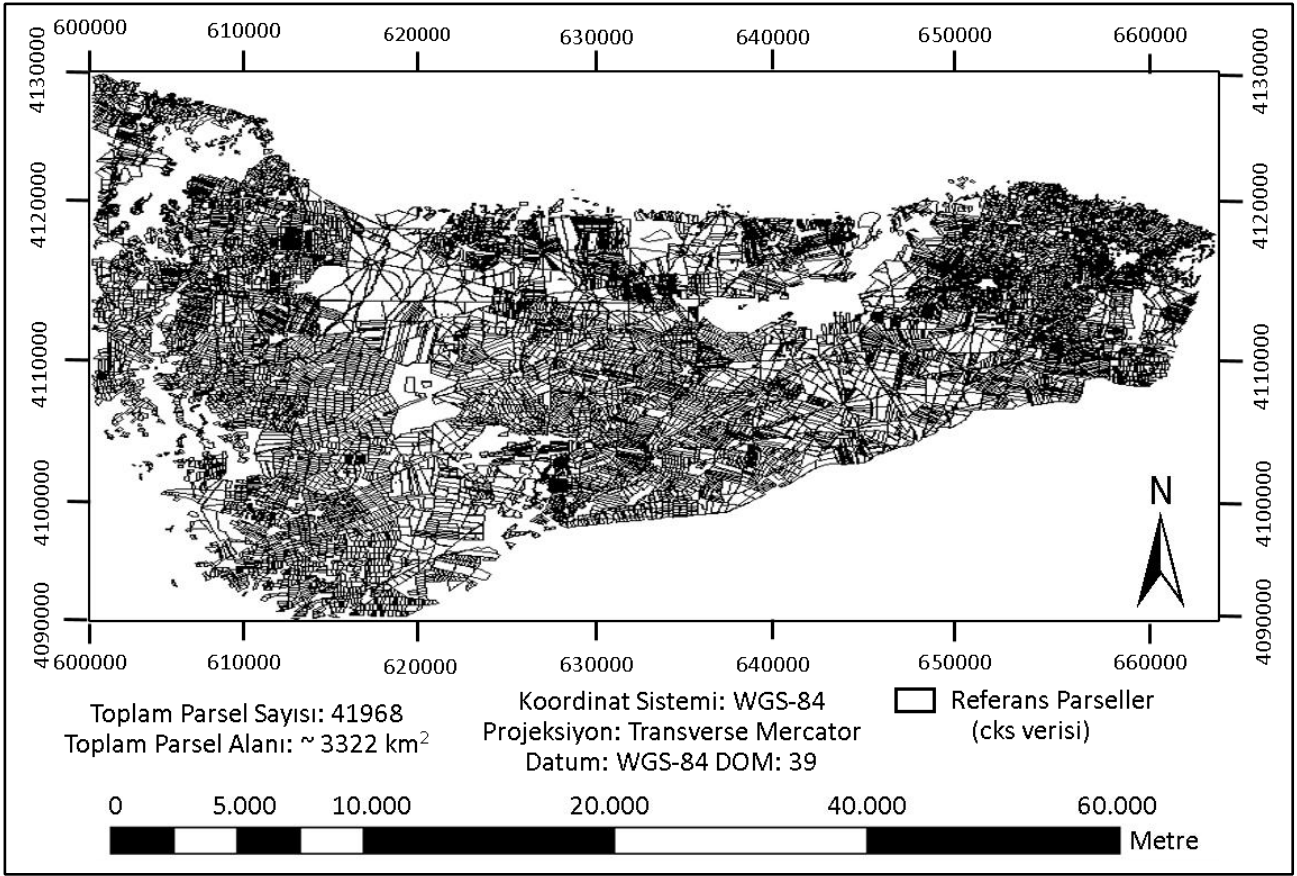
**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri.

Uydu	Görüntü Tarihi
Sentinel 2	08.04.2018
Sentinel 2	23.05.2018
Sentinel 2	12.07.2018
Sentinel 2	11.08.2018
Sentinel 2	05.09.2018
Sentinel 2	05.10.2018

## 2.3 Yersel referans veriler

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nca oluşturulan Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS), çiftçilere ait tarımsal faaliyetlerin kayıt altına alındığı bir veri tabanıdır. Bu çalışmada alana ait ÇKS verisi (Şekil 2), yersel referans veri olarak kullanılmıştır. ÇKS verisi parsel sınırları ile parsellere ait öznitelik verileri içerir. Öznitelik veriler arasında veri tipi, tapu kaydı bilgileri (il, ilçe, mahalle, ada ve parsel numarası), zemin referans numarası, toplam parsel yüzölçümü, ekili alan yüzölçümü, ekili ürün adı ve toplam parsel yüzölçümü ile ekili alan yüzölçümü arasındaki fark bilgileri yer almaktadır.

Çalışma alanında toplam 41968 adet parsel bulunmaktadır. Yapılan incelemelerde bazı parsellerde ÇKS öznitelik verileri ile ÇKS verisinin arazide temsil ettiği parseller (fiziksel yeryüzü) arasında farklılık olduğu görülmüştür. Örneğin, bazı parsellerde ÇKS verisi ile parsel ekili alan yüzölçümü aynı değildir. Bazı parsellerde ise ekili olduğu belirtilen alanın ekilmediği görülmüştür. Bu durum ÇKS verisinin öznitelik bilgisi ile parsel malik bilgisini ilişkilendirme karışıklığına neden olmuştur. Birden fazla maliki olan parsellerin bulunması durumu da (hisseli mülkiyet) parsellerin fiziksel temsili ile ÇKS öznitelik verisi arasında uyumsuzluğa sebep olan bir diğer neden olarak gözlemlenmiştir. Bu olası uyumsuzluk ve karışıklığı gidermek amacıyla, ÇKS verisi üzerinde otomatik ve manuel yöntemlerle gerekli düzenleme ve silme işlemleri gerçekleştirilmiş olup, kalan 5803 parsel çalışmada referans veri olarak kullanılmıştır.

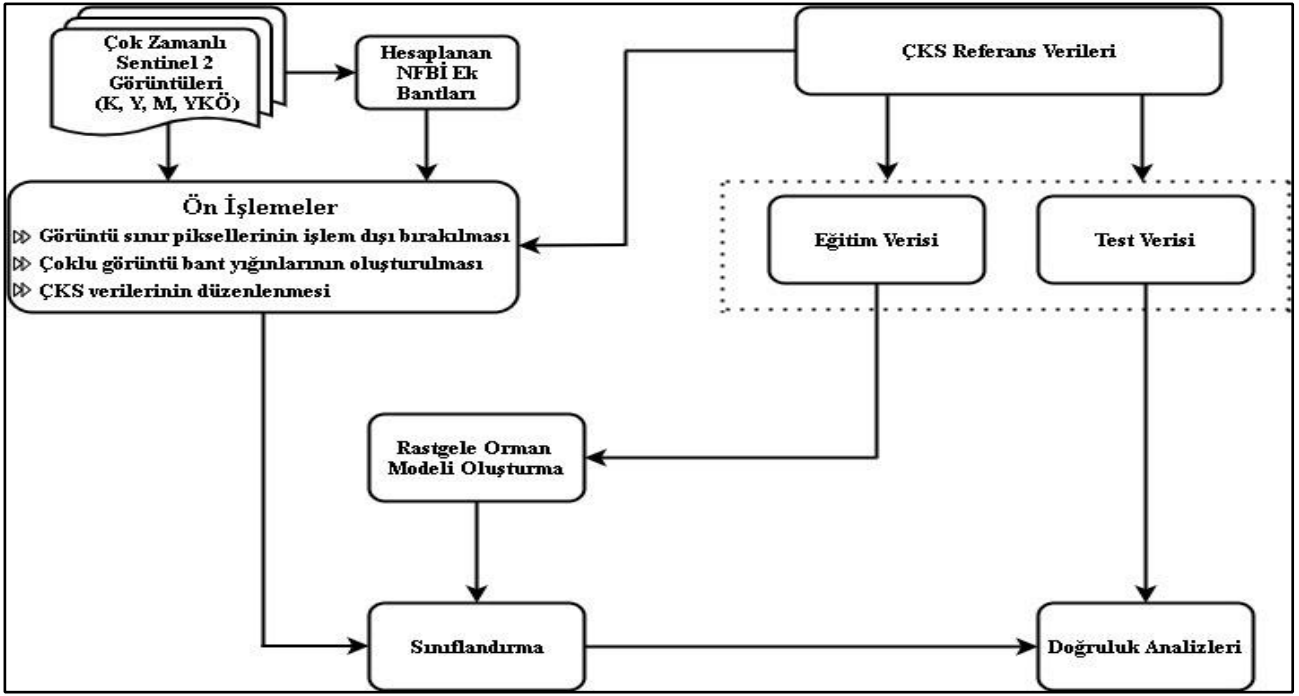


Şekil 2. 2018 yılı ÇKS verisi parsel sınırları.

### 3. Yöntemler

Yöntemin adımlarını özetleyen akış diyagramı Şekil 3’de gösterilmiştir. Yöntem, veri ön işlemleri, sınıflandırma ve doğruluk analizleri olmak üzere üç temel adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, görüntülerde sınır piksellerinin işlem dışı bırakılması ve çoklu görüntü bantları yığınının oluşturulması işlemleri yapılarak veriler sınıflandırılmaya hazır hale getirilmiştir. Sonra, referans veri olarak kullanılabilmesi için, ÇKS verisi üzerinde gerekli düzenleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Veri ön

işlemleri temel adımı altındaki daha sonraki aşamada ise, sınıflandırma işleminde ek bant olarak kullanılmak üzere altı farklı tarihli görüntü için K ve YKÖ bantlardan NFBİ bantları hesaplanmıştır. Yöntemin ikinci adımında, oluşturulan RO modeli algoritması kullanılarak çoklu tarihli görüntülerin parsel-tabanlı yaklaşımla sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Son adım olarak, kullanılan algoritmanın çalışma alanı üzerindeki performansını ölçmek amacıyla doğruluk analizleri yapılmıştır.

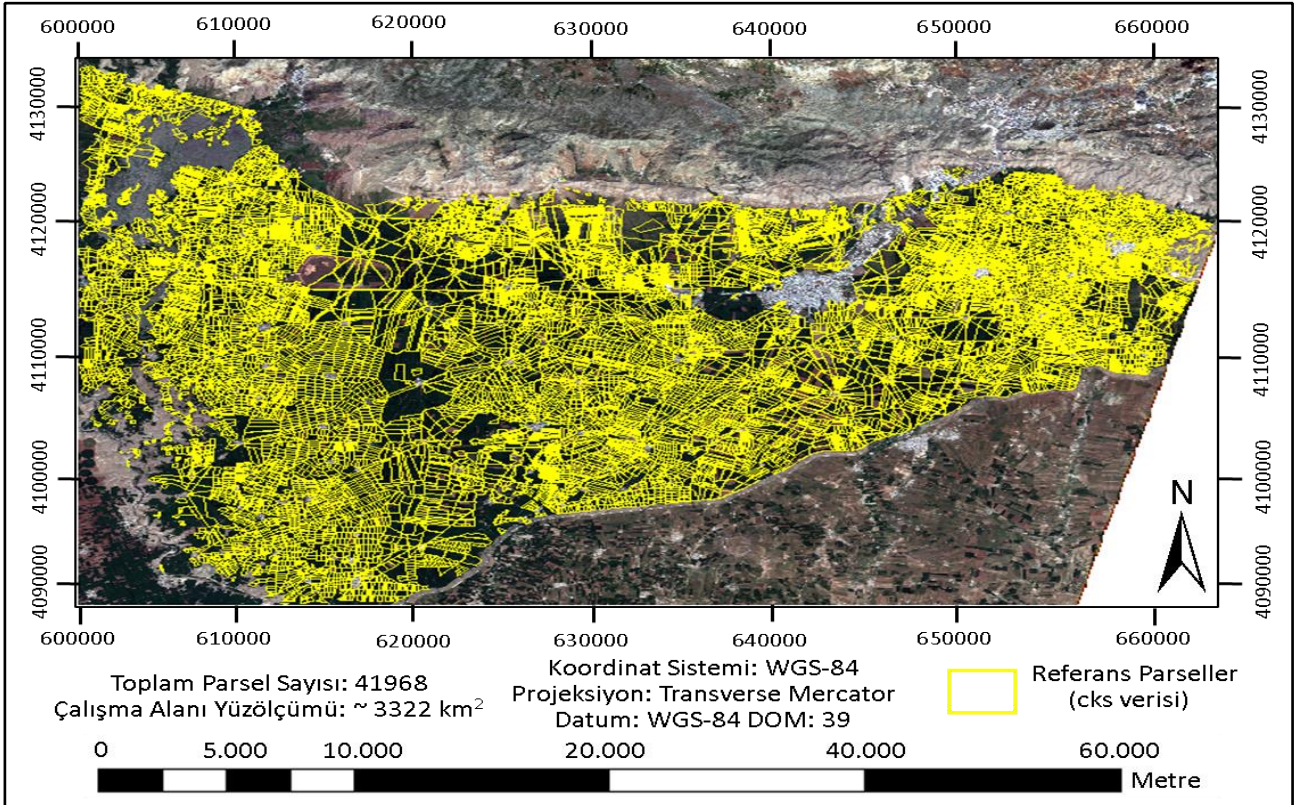


Şekil 3. Yöntemin akış diyagramı.

### 3.1 Ön işlemler

Bu çalışmada görüntülerin 10m çözünürlüklü bantları kullanılmıştır. Bu nedenle, ArcGIS yazılımında, her bir görüntü tarihi için, 10m çözünürlüklü bantlardan (Band 2 (K), Band 3 (Y), Band 4 (M) ve Band 8 (YKÖ)) çoklu görüntü bantları

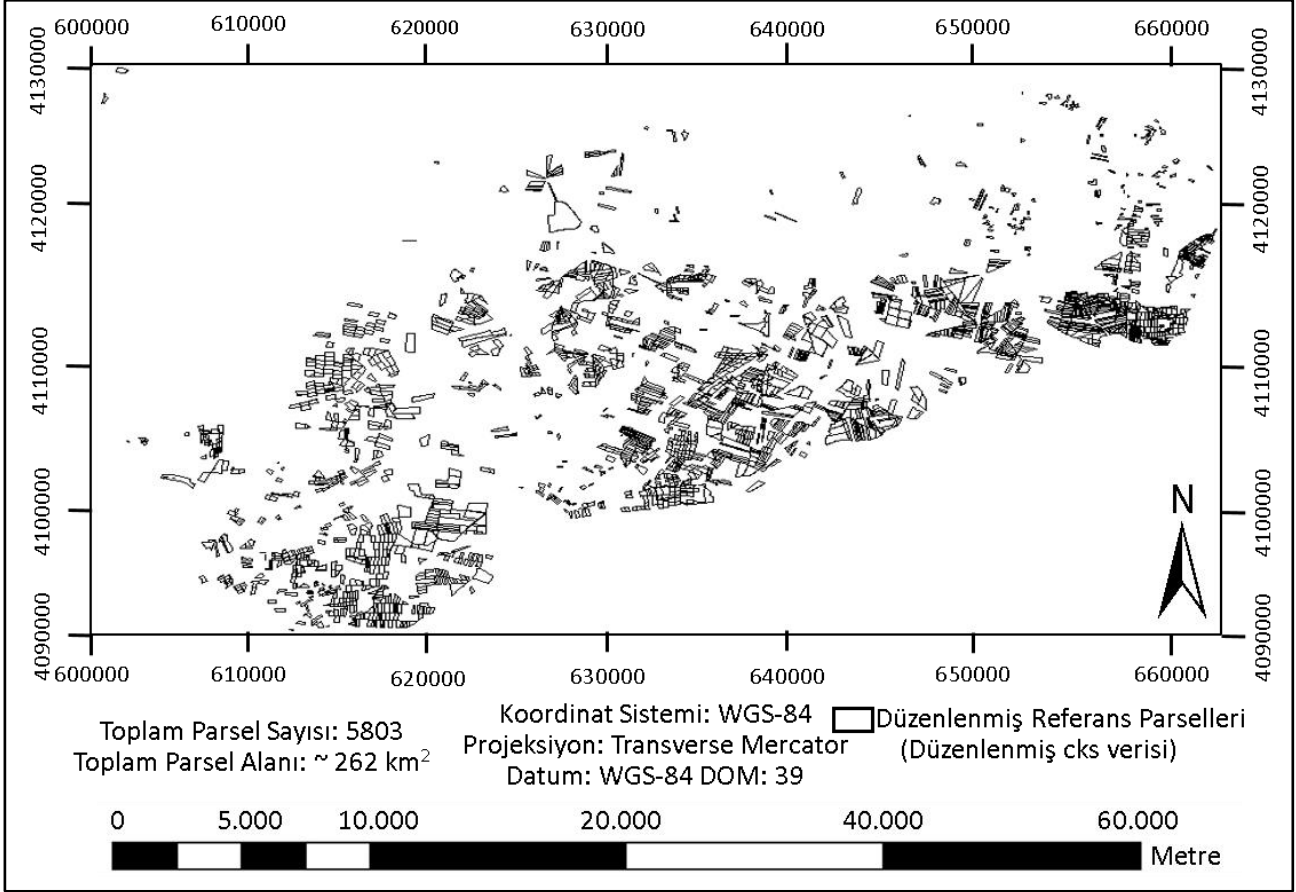
yığını oluşturulmuştur (Int Kyn. 2). Çalışma alanına ait 08.04.2018 tarihli Sentinel-2 görüntüsü (Gerçek Renk-K, Y, M) ve ÇKS parselleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanına ait 08.04.2018 tarihli Sentinel 2 görüntüsü (Gerçek Renk-K, Y, M) ve ÇKS parselleri.

Çalışmada yersel referans veri olarak kullanılan ÇKS verilerine de gerekli düzenleme işlemleri yapılmıştır. Önce, ÇKS verisi öznitelik bilgileri uydu görüntülerinin metaverileri ile ilişkilendirilmiştir. Sonra, 1000 m<sup>2</sup> nin altında içinde ekili ürün olmayan çok sayıda parsel olması nedeniyle, ÇKS verisi

öznitelik tablosundaki "Ekili Alan" sütununda 1000 m<sup>2</sup>'nin altındaki parseller elimine edilmiştir. Tüm bu düzenleme, ayıklama ve elimine etme işlemlerinden sonra, ÇKS verisinde kalan parseller referans veri olarak kullanılmak üzere kaydedilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Düzenleme sonrası sınıflandırmada referans veri olarak kullanılan ÇKS parselleri.

### 3.2 Görüntü sınıflandırma

Görüntü sınıflandırma işlemi MATLAB R2019b ortamında RO makine öğrenme algoritması ile gerçekleştirilmiştir (Int Kyn. 3). Sınıflandırmada, piksel grupları ile işlem yapılan parsel-tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Parsel-tabanlı yaklaşımda piksellerin şekil, renk, doku, büyüklük, ilişki ve desen gibi belirli özelliklerine göre piksel grupları oluşturulup, işlemler bu piksel grupları üzerinden yapılmaktadır. Bu çalışmada piksel grupları, ÇKS verisinde yer alan her bir parselin içine düşen piksel topluluklarıncı oluşturmuştur ve sınıflandırma sonrasında sınıflandırılmış piksellerden frekansı en yüksek olan (en çok tekrarlanan) pikselin etiketi parsel sınıf etiketi olarak atanmıştır.

Altı farklı tarihte çekilen görüntülerin her birine ait K, Y, M, YKÖ ve NFBİ bantlar birleştirilerek her bir görüntü için 5 bantlı görüntü yığını oluşturulmuştur. Sınıflandırma işlemi, altı farklı tarihe ait görüntülerin birlikte kullanılması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, sınıflandırma işleminde toplam 30 banttan (6 × 5) oluşan görüntü yığını kullanılmıştır.

RO algoritması temel sınıf olarak karar ağacını kullanan topluluk algoritmalarından biridir (Breiman 2001 ve Horning 2011). RO algoritması ile sınıflandırma işleminde ilk olarak eğitim veri setinin 2/3' ünden önyükleme örnekleri oluşturulur. Bu örnekler eğitim veri setlerini oluşturur ve ağaç gelişimi için kullanılır. Genelleştirilmiş hatalar (Out

of Bag-OOB) verisi olarak da adlandırılan eğitim veri setinin 1/3' lük geri kalan kısmı hataları test etmek için kullanılır. Ağaç gelişim işlemine başlamadan önce RO algoritmasını başlatmak için kullanıcı tarafından iki parametre tanımlanır. Bu parametreler, en iyi bölünmeyi belirlemek için her bir düğümde kullanılan değişkenlerin sayısı (mtry) ve geliştirilecek ağaçların sayısıdır (ntree). Kullanıcı tarafından başlangıç mtry değeri rastgele seçilir, sonraki mtry değerleri genelleştirilmiş hatalara (OOB) göre artırılır ya da azaltılır. Mtry değeri azalınca korelasyon ve güç azalır, artınca korelasyon ve güç artar. Bu şekilde en uygun mtry bulunur ve sınıflandırma duyarlılığı artar, hata azalır. Her bir düğümde mtry değişkenleri tüm değişkenler arasından rastgele olarak seçilir ve bu değişkenler arasından en iyi dal belirlenir. Yeterli öngörü gücü ile yeterli miktarda düşük korelasyon sağlayan değişken sayısının seçimi son derece önemlidir. Toplam değişken (bant) sayısının M adet olduğu varsayılırsa, M sayısının kare köküne eşit alınan mtry değişken sayısı genel olarak optimum sonuca en yakın sonucu vermektedir (Horning 2011). Sonra, her bir önyüklemeli örnekten budama olmadan bu tanımlanan mtry ve ntree parametrelerine göre ağaçlar geliştirilir. Her bir ağacın oluşturulması için bu işlemler tekrarlanır. Orman oluşturulduktan sonra nesnelere tüm ağaçlar tarafından sınıflandırılır ve tüm sınıflandırmaların çoğunluk (majority) değeri alınarak sonuç sınıf elde edilir (Liaw and Wiener 2002 ve Akar 2013). Bu çalışmada, ntree ve mtry parametre değerlerinin belirlenmesinde Breiman (2018), Breiman (2001), Pal (2005) ve Archer and Kimes (2008) tarafından yapılan çalışmalar baz alınmış olup ntree değeri 100, mtry değeri ise  $\sqrt{30}$  olarak alınmıştır.

Sınıflandırma işleminde orijinal K, Y, M, YKÖ bantlara ek olarak, hesaplanan NFBİ bantları da kullanılmıştır. NFBİ bantı hesaplaması Eşitlik 1'e göre yapılmıştır. Eşitlik 1'de YKÖ ve K sırasıyla, Yakın Kızıl Ötesi ve Kırmızı bantları temsil etmektedir.

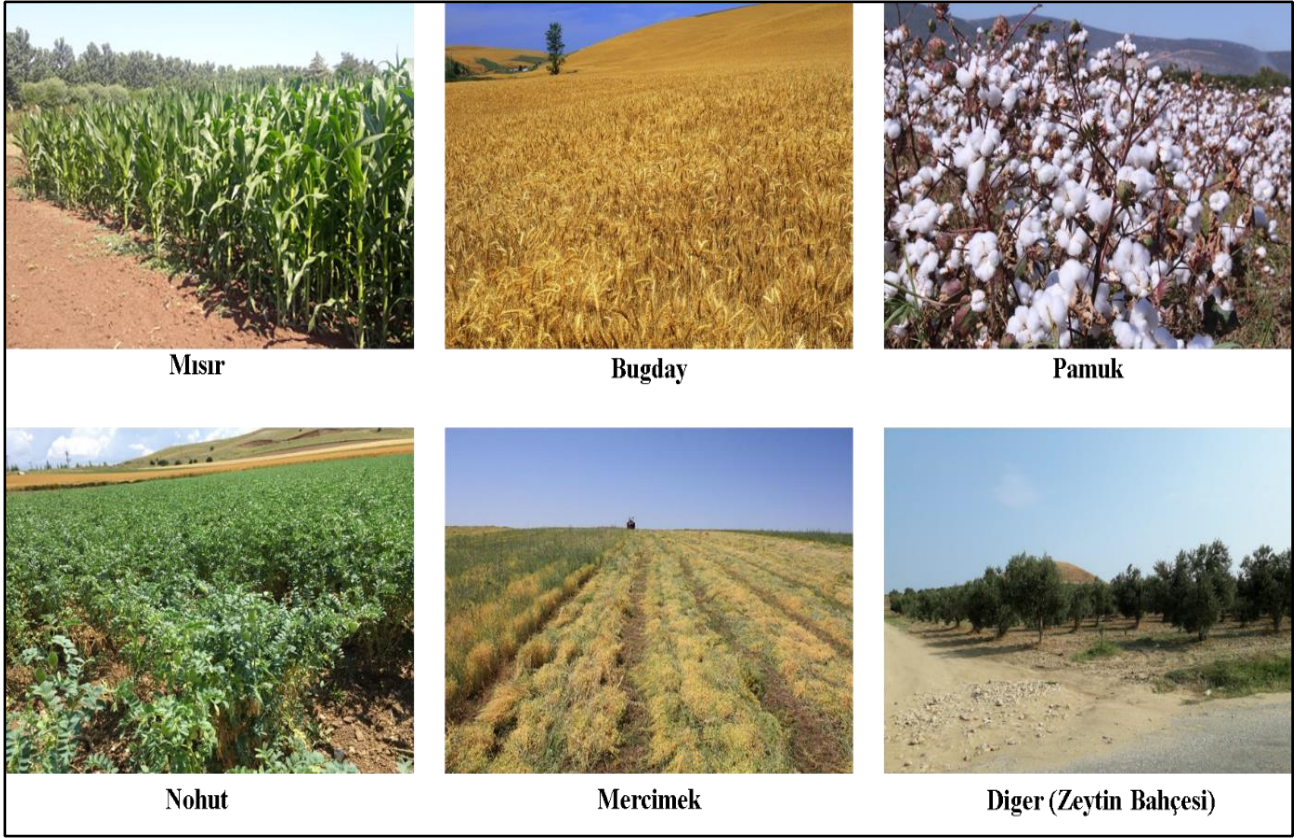
$$NFBİ = \frac{YKÖ-K}{YKÖ+K} \quad (1)$$

Yersel referans veri olarak hazırlanan 5803 adet ÇKS parselinden 3035 adedi eğitim verisi, 2768 parsel ise sınıflandırma doğruluğunun hesaplanması için test verisi olarak kullanılmıştır. Çalışma alanında ürün bazında parsellerden toplanan yersel referans veriler (eğitim ve test parselleri) Çizelge 2' de verilmiştir. Sınıflandırma için gerekli eğitim verisi örnekleri, eğitim verisi olarak ayrılan ÇKS parsellerinin içinden manuel yöntemle seçilmiştir. Alanda mısır, buğday, pamuk, nohut ve mercimek sınıflarına göre daha az ekili olan fıstık, armut, arpa, ayva, badem, ceviz, elma, erik, kayısı, kimyon, kiraz, nadas, nar, soya, şeftali, üzüm, yonca ve zeytin sınıflandırmada "diğer" isimli sınıfa dâhil edilmiştir. Bazı ürünlerin alanda ekili haldeki fotoğrafları Şekil 6' da gösterilmiştir. Eğitim verisi olarak kullanılan ÇKS parsellerinin dağılımı Şekil 7'de, elde edilen sınıflandırma sonucu Şekil 8'de gösterilmiştir.

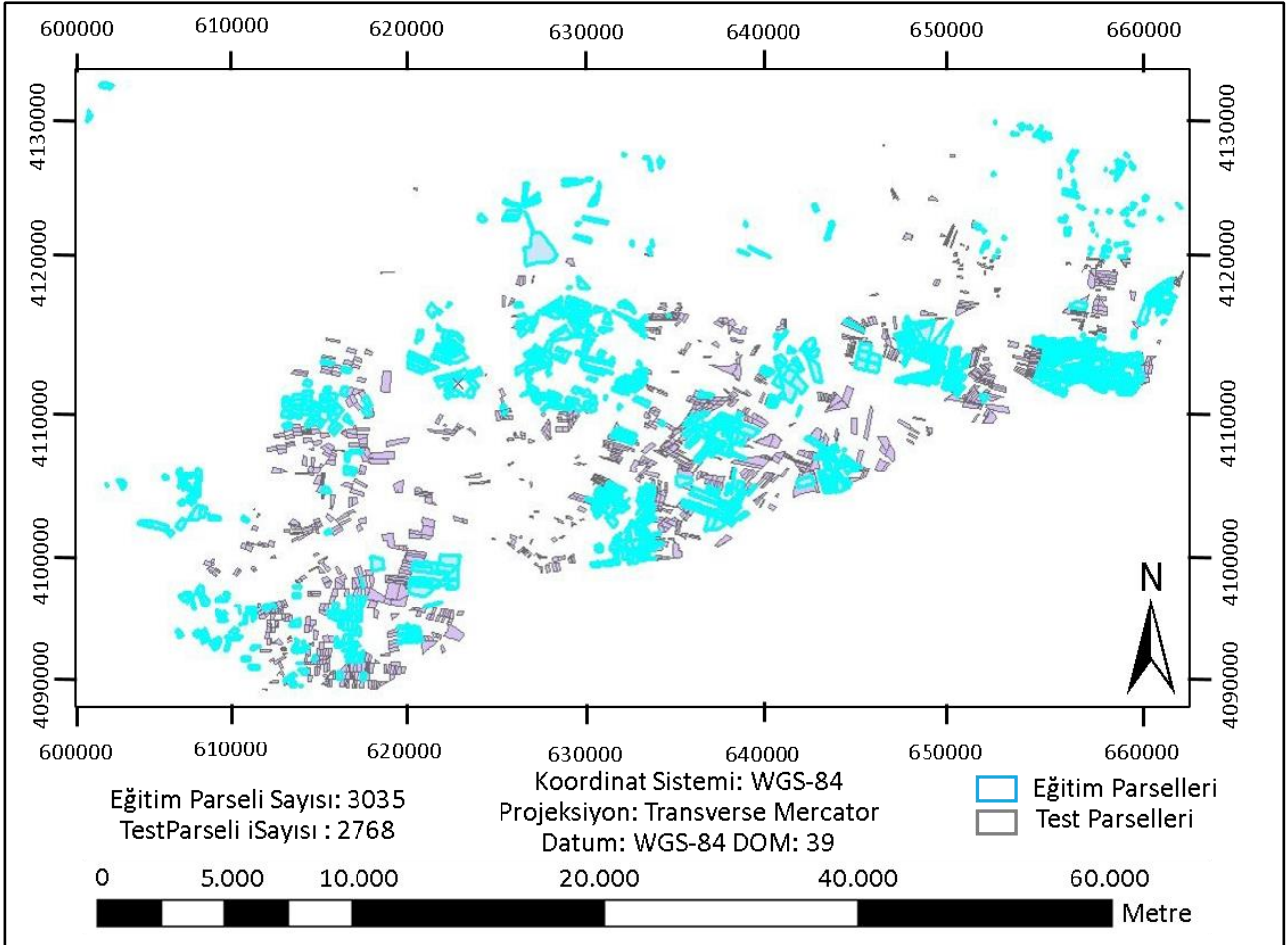
**Çizelge 2.** Ürün bazında eğitim ve test parselleri dağılımı.

Ürün	Eğitim Parselleri Sayısı	Test Parselleri Sayısı
Mısır	764	702
Buğday	1843	1768
Pamuk	172	124
Nohut	16	12
Mercimek	60	48
Diğer	180	114
<b>TOPLAM</b>	<b>3035</b>	<b>2768</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>5803</b>

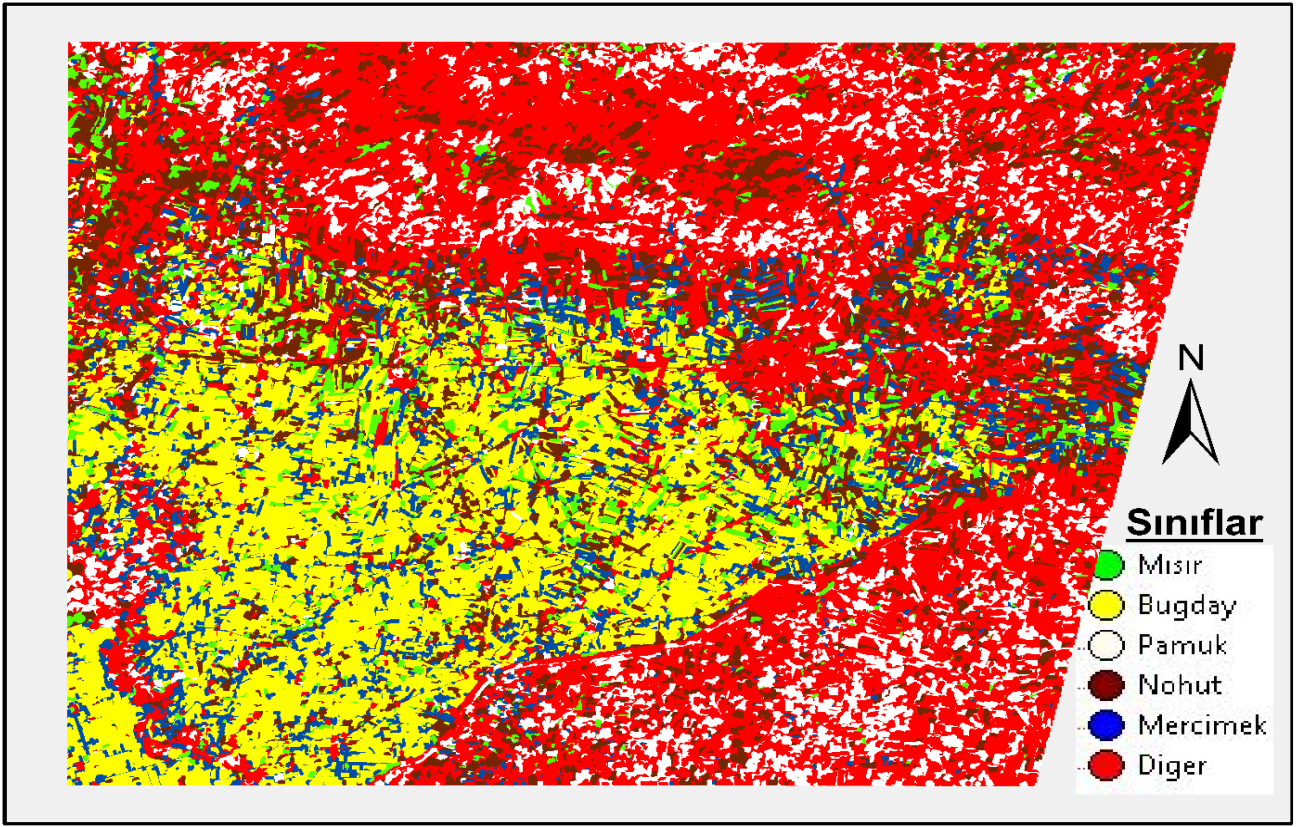




Şekil 6. Çalışma alanında bulunan ürünlerin ekili haldeki görüntüleri.



Şekil 7. ÇKS verisinden (siyah parseller) seçilen eğitim verisi parselleri (mavi parseller).



Şekil 8. RO makine öğrenme algoritması sınıflandırma sonucu.

Sınıflandırma genel doğruluğu ve Kappa katsayısı ile her bir sınıfa ait üretici ve kullanıcı doğrulukları hesaplanmış ve bir hata matrisi üzerinde gösterilmiştir. Hata matrisinin her bir sütunu ayrı bir sınıfa karşılık gelirken, satırlar referans verilerin atandıkları sınıfları temsil etmektedir. Buna göre k tane sınıf için hata matrisi k satır ve k sütundan oluşur (Campbell and Wynne 1996). Bu çalışmada k (sınıf sayısı) 6'dır. Eşitlik 2, 3, 4, 5 ve 6'da yer alan n, toplam referans veri örüntü sayısıdır.  $n_{ij}$ , referans veride j kategorisindeyken ( $j=1,2,\dots,k$ ) sınıflandırılmış veri içinde i sınıfına ( $i=1,2,\dots,k$ ) atanan örüntülerin sayısını gösterir. i kategorisine atanan sınıflandırma verisindeki örüntü sayısı Eşitlik 2'de, j kategorisi için referans verideki örüntü sayısı Eşitlik 3'de gösterilmiştir. Genel doğruluk değeri Eşitlik 4'e göre hesaplanmıştır.

$$n_{i+} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (2)$$

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Genel doğruluk} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{\sum_{j=1}^k n_{+j}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (4)$$

Ayrıca, üretici ve kullanıcı doğrulukları da hesaplanmıştır. Üretici doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategoriye ait sütun sayısına bölünmesi ile hesaplanır (Eşitlik 5). Kullanıcı doğruluğu ise, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategori için olan satır sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 6).

$$\text{Üretici Doğruluğu} = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \quad (5)$$

$$\text{Kullanıcı Doğruluğu} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (6)$$

Doğruluk analizlerinde kullanılan bir diğer ölçüt, Kappa katsayısıdır. Kappa katsayısı, hata matrisindeki genel doğrulukla olasılıklı doğruluk arasındaki farka dayanır. Sınıflar arası doğrulukları da içerdiğinden genel doğruluk ölçütünden daha iyi bir ölçüdür (Sunar vd. 2011). Kappa katsayısının hesaplanmasında Eşitlik 7 kullanılmıştır.



$$\text{Kappa katsayısı } (\kappa) = \frac{N * \sum_{i=1}^k x_{ij} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+j})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+j})} \quad (7)$$

Eşitlik 7 de, N tüm kategorilerdeki örnek sınıf toplamını,  $\sum x_{ij}$  doğru sınıflandırılmış örnek sayısını,  $\sum (x_{i+} * x_{+j})$  ise her kategorideki hata matrisinin satır ve sütun toplamını ifade etmektedir. Buna göre değerlendiriciler arasındaki uyum ele alındığında,  $\kappa < 0$  hiç uyum olmadığını,  $0 \leq \kappa \leq 0.20$  çok düşük bir uyumun olduğunu,  $0.21 \leq \kappa \leq 0.40$  düşük bir uyum olduğunu,  $0.61 \leq \kappa \leq 0.80$  yüksek bir uyum olduğunu ve  $0.81 \leq \kappa \leq 1.00$  mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 0.70'den daha büyük bir Kappa katsayısı için değerlendiriciler arasındaki uyumun yeterli olduğu da söylenebilir (Cohen 1960).

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Hesaplanan genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerleri ile üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri

**Çizelge 3.** Genel doğruluk, Kappa katsayısı, üretici ve kullanıcı doğruluk değerlerini gösteren hata matrisi.

Parsel sayıları		Referans Veri							Kullanıcı Doğruluğu (%)
Sınıflar	Mısır	Buğday	Pamuk	Nohut	Mercimek	Diğer	Toplam		
Sınıflandırılmış Veri	Mısır	696	6	4	1	0	1	708	98.30
	Buğday	3	1711	12	1	2	2	1731	98.84
	Pamuk	1	7	101	1	1	0	111	90.99
	Nohut	0	16	4	8	0	0	28	28.57
	Mercimek	0	2	0	0	40	0	42	95.23
	Diğer	2	26	3	1	5	111	148	75.00
	Toplam	702	1768	124	12	48	114	2768	
Üretici Doğruluğu (%)	99.14	96.77	81.45	66.67	83.34	97.36		Genel Doğruluk (%) = 96.35 Kappa Katsayısı (%) = 93.13	

Çizelge 3 'de verilen doğruluk değerlerine göre mısır için üretici doğruluğu % 99.14, kullanıcı doğruluğu % 98.30 olarak hesaplanmıştır. Mısır için hesaplanan doğruluk değerlerinin oldukça yüksek olduğu ve neredeyse gerçekte mısır ekili olan tüm tarım parsellerinin doğru olarak tespit edildiği görülmektedir. Mısır sınıfına ait 702 referans parselin sınıflandırma neticesinde 696 tanesi doğru olarak mısır sınıfına, 3 tanesi yanlış olarak buğday sınıfına, 1 tanesi yanlış olarak pamuk sınıfına ve 2 tanesi yanlış olarak diğer sınıfa atanmıştır. Mısır için, 3 parselin buğday, 1 parselin pamuk ve 2 parselin ise diğer olmak üzere toplamda 6 parselin yanlış olarak

Çizelge 3' de verilmiştir. Hesaplanan genel doğruluk değeri (% 96.35), bir bütün olarak çalışma alanında bulunan tarımsal ürünlerin RO sınıflandırma algoritması ile çok yüksek doğrulukla tespit edildiğini göstermektedir. Bu durum neredeyse fiziksel olarak çalışma alanındaki gerçek parsellerin doku özelliği ile birebir aynı olarak tarımsal ürün deseninin tespit edildiğini gözler önüne sermektedir.

Sınıflandırma sonrası oluşturulan hata matrisinden hesaplanan % 93.13 oranlı kappa katsayısı istatistiki sayısal verisi yorumlandığında, bu çalışmada gerçek fiziksel yeryüzü oranı 1.0000 kabul edildiğinde, çalışma alanındaki tarımsal üretim yapılan parsellerin oluşturduğu sınıflandırma sonucunda elde edilen tematik harita üzerinde oluşan desene 0.9313 oranı ile doğru bir şekilde yaklaşarak, 0.0687 (1.0000 – 0.9313) oranında doğru olan tarımsal ürün deseninden uzaklaşma vardır şeklinde bir değerlendirme yapılabilir.

sınıflandırıldığı, bir başka ifade ile, olması gereken sınıftan başka sınıflara atanarak kaçış hatası bulgusuna (error of omission) sebep olduğu saptanmıştır. Kaçış hatası (error of omission) yüzdelik değeri 100 – kullanıcı doğruluğu işlemi ile hesaplanmıştır. Dolayısıyla, mısır için kaçış hatası 100 – 98.30 = % 1.70 olarak bulunmuştur.

Buğday için üretici doğruluğu % 96.77 ve kullanıcı doğruluğu % 98.84 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Buğday sınıfına ait 1768 referans parselin sınıflandırma neticesinde 1711 tanesi doğru olarak buğday sınıfına, kalan 57 tanesi ise mısır, pamuk,

nohut, mercimek ve diğer sınıflarına atanarak yanlış sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla, buğday için kaçış hatası  $100 - 98.84 = \% 1.16$  olarak hesaplanmıştır.

Pamuk için toplam referans parsel sayısı 124, üretici ve kullanıcı doğrulukları sırasıyla  $\% 81.45$  ve  $\% 90.99$  'dur. 124 adet pamuk parselinden, mısır ve buğday ile karşılaştırıldığında, en yüksek oranda kaçış 12 parsel ile buğday sınıfına olmuştur. Pamuk sınıfından mısır ve nohut sınıfının her ikisine kaçış parsel sayısı 4, diğer sınıfına kaçış parsel sayısı 3 ve toplam kaçış parsel sayısı 23'tür. Pamuk için kaçış hatası  $100 - 90.99 = \% 9.01$  olarak hesaplanmıştır.

Mercimek için kullanılan toplam 48 parselin 40 tanesi mercimek olarak doğru sınıflandırılmıştır. Olması gerekenden farklı sınıflara atanmış 8 parselin 2'si buğday, 1'i pamuk ve 5'i ise diğer sınıf etiketini alarak kaçış hatasına neden olmuşlardır. Mercimek sınıfının üretici ve kullanıcı doğrulukları sırasıyla  $\% 83.34$  ve  $\% 95.23$  olarak hesaplanmıştır. Mercimek için kaçış hatası  $100 - 95.23 = \% 4.77$  olarak hesaplanmıştır.

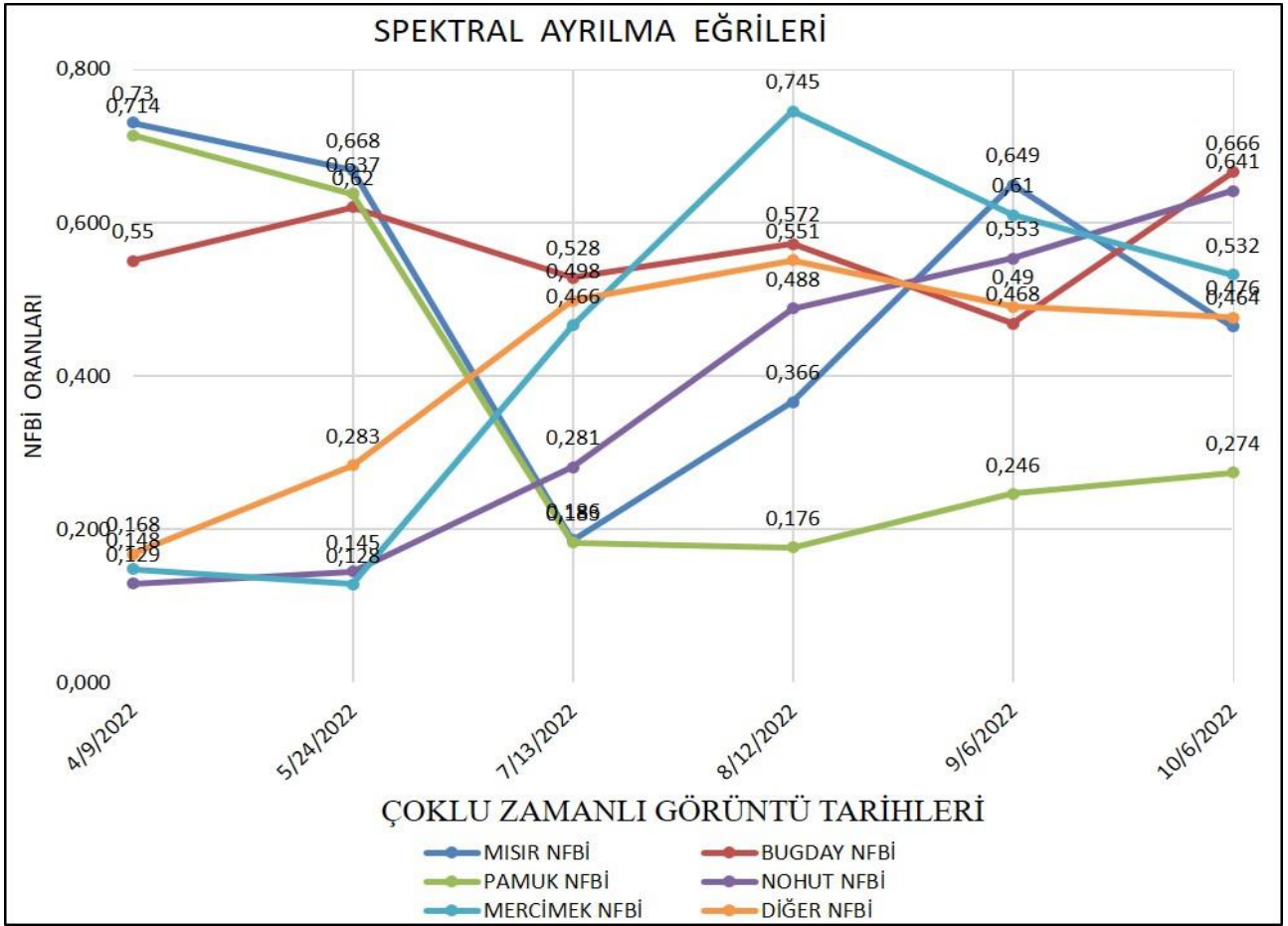
Çalışma alanında bulunan parsel sayısı açısından dikkate alındığında, daha az ekili olan diğer sınıf kategorisine ait 114 referans parselden 111 tanesi diğer sınıf etiketini alarak, olması gereken sınıfa atanmıştır. Çok yüksek oranda doğru sınıflandırılan diğer sınıfının üretici doğruluğu  $\% 97.36$ , kullanıcı doğruluğu ise  $\% 75.00$  olarak hesaplanmıştır. Kaçış hatasına neden olan 3 parselin 1 tanesi mısır, 2 tanesi ise buğday sınıfına gitmiştir. Diğer sınıf için kaçış hatası  $100 - 75.00 = \% 25.00$  olarak hesaplanmıştır.

Nohut için üretici doğruluğu  $\% 66.67$ , kullanıcı doğruluğu  $\% 28.57$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin, nohut ürününe ait

referans veride eğitim ve test verisi olarak seçilebilecek parsellerin sayıca diğer ürünlere göre çok daha az olmasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Nohut'a ait 12 referans parselden 8 tanesi doğru sınıflandırılmış, 4 tanesi ise eşit sayıda mısır, buğday, pamuk ve diğer sınıflara giderek kaçış hatasına neden olmuştur. Nohut'a ait referans parsel sayısının sayıca düşüklüğü nedeniyle bu durum normal karşılanmıştır.

Çalışma alanında nohudun öteki ürünlere göre daha az ekili olması gerçeği bu durumu haklı çıkarmıştır. Çalışma alanında ekili alanlardaki ürünlerin hem parsel sayısı hem de alansal yüzölçümü olarak miktarlarının en yüksekten aşağıya doğru sıralanışı şu şekildedir: Buğday, Mısır, Pamuk, Mercimek, Diğer (fıstık, armut, arpa, ayva, badem, ceviz, elma, erik, kayısı, kimyon, kiraz, nadas, nar, soya, şeftali, üzüm, yonca, zeytin) ve Nohut. Nohut için kaçış hatası  $100 - 28.57 = \% 71.43$  olarak hesaplanmıştır.

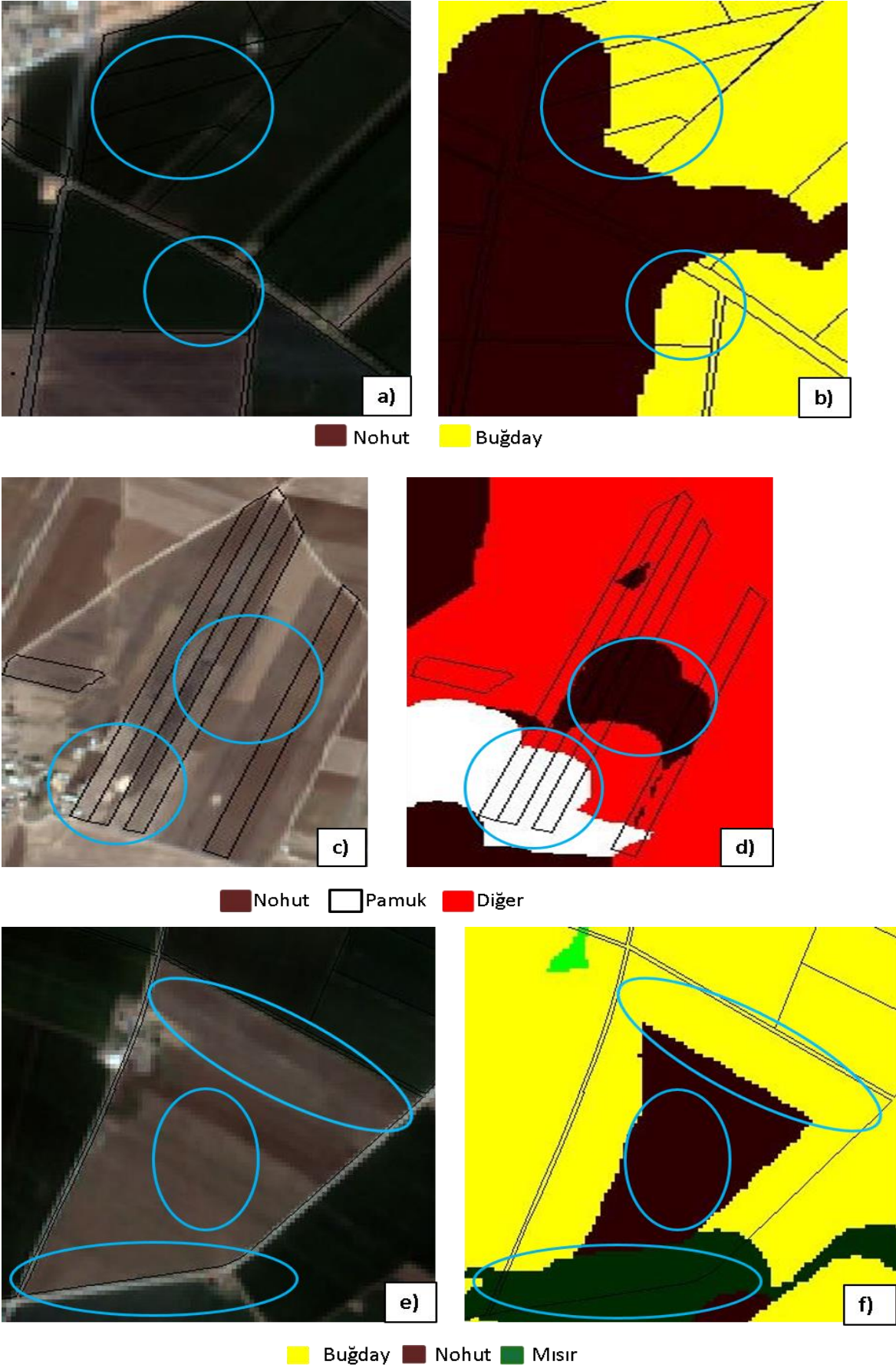
Nohut için hesaplanan kullanıcı doğruluğuna ( $\%28.57$ ) göre daha yüksek olan üretici doğruluğu ( $\% 66.67$ ), referans veride nohut olan parsellerin makul bir düzeyde doğru sınıflandırıldığını göstermektedir. Ancak, düşük oranda olan kullanıcı doğruluğu, nohut olarak sınıflandırılan parsellerin gerçekte nohut ekili alanlar ile uyum seviyesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu durumun nohut ve buğday ürünlerinin ekim, gelişim ve hasat zamanlarının birbirine yakın olması nedeniyle, bu iki sınıfın birbirine yakın yansıma değerleri vermesinden ve bu nedenle algoritmanın bu iki sınıfı birbirinden ayıramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9'da, çoklu zamanlı görüntülerin NFBİ bantlarından her bir sınıf için hesaplanmış spektral ayrılma eğrileri gösterilmiştir.



**Şekil 9.** Ürünlerin NFBİ bant oranlarının çoklu zamanlı tarihlere göre değişimi.

Şekil 10 (a) gerçek renkli (true color-KYM) görüntü, (b) ise (a)'nın sınıflandırma sonucu elde edilen tematik haritası olup nohut ve buğday sınıflarının birbirine karıştığına ait örnektir. Şekil 10 (c) de benzer şekilde bir gösterim olup, pamuk, nohut ve diğer sınıfına ait parsellerin birbirine karıştığına ait örnek biçimdir. Şekil 10 (f) ise, Şekil 10 (e) uydu görüntüsüne göre buğday ekili bir parselin ortasında

nohut, üst kenarda buğday ve alt kenarda ise mısır ürünü olduğunu temsil eden gösterimdir ve tek bir parsel içerisinde üç farklı ürünün birbiriyle karıştığına ilişkin bir örnektir. Şekil 10 (a,b,c,d,e ve f) bir yönüyle Çizelge 3'de verilen sayısal verilerin ve her bir sınıfın kaçış hatasını (error of omission) görsel olarak destekleyen bir kanıttır.



a), c), e):Uydu görüntüsü üzerindeki parsellerin görünümü.

b), d), f): Birbirine karışan sınıfları gösteren görüntü ve sınıflandırma sonucu kesitleri.

Şekil 10. Birbirine karışan sınıfları gösteren görüntü ve sınıflandırma sonucu kesitler.

Tarımsal ürünlerin uydu görüntülerden otomatik sınıflandırmasında ürünlerin ekim, gelişim ve hasat tarihlerinde çok zamanlı görüntü alımının yapılması, ürünler arasındaki farklı zamansal değişimleri ortaya koyduğu için, önemlidir. Tek bir tarihte alımı yapılmış bir görüntü ile yapılacak sınıflandırma işlemi, tarımsal ürünlerin farklı tarihlerdeki zamansal değişimini yansıtmadığı için yetersiz kalmaktadır (Gömez vd. 2016, Long vd. 2013). Bu nedenle, tarımsal ürünleri ayırabilmek için ürünlerin ayırıcı dönemlerini içeren tarihlerde görüntülerin alınması önem arz etmektedir. Fakat; özellikle tespit edilmek istenen belirli bir ürün varsa sadece o ürünün diğerlerinden ayrılabilirdiği tarihe ait görüntü alımı yapılması ve o ürünü ayıran ilgili spektral ve diğer özelliklerin kullanılması gerekmektedir.

Görüntülere ücretsiz olarak ulaşılabilmesi, 10 m çözünürlüklü bantların belirli büyüklükteki tarım parsellerinin bulunduğu bölgelerdeki tarımsal uygulamalar için yeterli olması ve 5 gün gibi yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olması, Sentinel 2 verilerini tarımsal ürün tespiti için çok değerli hale getirmiştir. Referans veriler makine öğrenme algoritmalarında oluşturulan modelin eğitilmesinde kullanılmaktadır. Referans verileri elde etmek için araziye gidilip çalışma yapılmasına ya da araziden toplanan referans veri yerine geçebilecek tarım parselleri ürün bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde, çiftçilere ait tarımsal faaliyetler T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nca oluşturulan Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) veri tabanı ile kayıt altına alınmaktadır. Bu çalışmada elde edilen deneyimler, ÇKS verilerinin uydu görüntülerinden otomatik sınıflandırma ile ürün deseni tespitinde referans veriler olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Ancak, bu verilerin öncelikle mutlak suretle birtakım editleme işlemlerinden ve analizlerden geçirilmesi gerekmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Mardin İli, Artuklu, Kızıltepe ve Derik İlçelerine ait bir tarımsal alanda, 2018 yılına ait çoklu tarihli Sentinel 2 uydu görüntülerinden RO algoritması kullanılarak parsel-tabanlı yaklaşımla tarımsal yaz ürünlerinin tespiti yapılmıştır.

Sınıflandırmada 10m çözünürlüklü K, Y, M ve YKÖ bantların yanı sıra, her bir görüntü tarihi için hesaplanan NFBİ bantları ek bantlar olarak kullanılmıştır. Sınıflandırmada, her bir görüntü tarihine ait beş bant (K, Y, M, YKÖ ve NFBİ) olmak üzere, toplam 30 bantlı yığın aynı anda kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri için mevcut ÇKS verilerinden yararlanılmıştır.

08.04.2018, 23.05.2018, 12.07.2018, 11.08.2018, 05.09.2018 ve 05.10.2018 olmak üzere altı farklı tarihe ait seçilen görüntüler ile çalışma alanından elde edilen sınıflandırma doğruluk oranları oldukça tatmin edicidir. Sınıflandırma sonucu istatistiksel doğruluk değerleri genel doğruluk ve kappa katsayısı sırasıyla % 96.35 ve % 93.13 olarak hesaplanmıştır.

Mısır, % 99,14 üretici doğruluğu ve % 98,30 kullanıcı doğruluğu ile en başarılı tespit edilen ürün olmuştur. Nohut, % 66.67 üretici doğruluğu ve % 28.57 kullanıcı doğruluğu ile en düşük doğrulukla sınıflandırılan ürün olmuştur. Bunun nedeni olarak, kullanılan RO sınıflandırma algoritmasının kararsız kalmasından dolayı, özellikle buğday ve mısır sınıfı ile nohudun karışmasından kaynaklı uyumun düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Ürünlerin ekimi ve hasadı arasında seçilen altı görüntü tarihine ait bantların sınıflandırması için belirlenen RO parametreleri ağaç sayısı (ntree) değeri (100) ve rastgele değişken sayısı (mtry) parametre değeri ( $\sqrt{30}$ ) ile bu çalışmada ulaşılan doğruluk oranları oldukça tatminkârdır. Bu sonuçlara göre, bu parametre değerlerinin bu çalışma alanı için uygun değerler olduğu sonucuna varılmıştır.

Intel Core Duo T6400 2.0 Ghz işlemci, ATI Mobility Radeon HD 3650 Max. 2302 MB GPU kartı, 4 Gb RAM ve 320 GB HDD sabit disk özelliklerine sahip bir dizüstü bilgisayarda bu çalışma alanını kapsayan 4816 satır x 6898 sütun genişlikli, 10m çözünürlüklü, 30 bantlı görüntü yığını ile yapılan sınıflandırma işlemi yaklaşık 1 saat 32 dakika sürmüştür.

ÇKS verilerinin sınıflandırma işlemi doğruluk değerlendirmesinde kullanılması bu çalışmada önemli bir adım olmuştur. Ancak, görüntüler ile birlikte görsel olarak analiz edildiğinde, ÇKS verisinin

referans veri olarak kullanılabilmesi için, ön işlemlerden geçirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

ÇKS veri tabanı tarım parselleri maliklerinin sözlü beyanlarına göre oluşturulduğu için, veride hatalar olabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, çiftçiler tarafından ekildiği beyan edilen ürünlerin belli düzeyde kontrollerinin, çoklu zamanlı Sentinel 2 uydu görüntülerin RO algoritması ile sınıflandırması ile yapılabileceğini göstermiştir.

Tarımsal yaz ürünlerinin tespiti uygulaması olarak yapılan bu çalışmada kullanılan Sentinel 2 uydu görüntüleri oldukça başarılı sonuçlar üretmiştir. Ücretsiz erişim sağlanan ve bu nedenle çok avantajlı olan Sentinel 2 görüntüleri, yüksek doğruluk üretmesinden dolayı, bölgede yaygın olarak benzer çalışmalarda kullanıla bilinir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bölgeye ait çoklu zamanlı uydu görüntülerinden farklı ürünlerin tespitinde diğer makine öğrenmesi algoritmaların performanslarının ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan ÇKS verilerini sağlayan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na çok teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynaklar

Akar, Ö., 2013. Rastgele Orman Sınıflandırıcısına Doku Özellikleri Entegre Edilerek Benzer Spektral Özellikteki Tarımsal Ürünlerin Sınıflandırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 180.

Archer, K.J. and Kimes, R.V., 2008. Empirical characterization of random forest variable importance measure. *Computational Statistics & Data Analysis*, **52** (4), 2249-2260.

Arvor, D., Jonathan, M., Meirelles, M. P., Dubreuil V. and Durieux, L., 2011. Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, **32**, 7847-7871.

Ban, Y., 2003. Synergy of multitemporal ERS-1 SAR and Landsat TM data for classification of agricultural crops. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **29**, 518-526.

Belgiu, M. and Csillik, O., 2018. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. *Remote Sensing of Environment*, **204**, 509-523.

Breiman, L., 2018. Manual on setting up, using and understanding random forests. *RColorBrewer MASS*, **3** (1), 1-33.

Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine Learning Kluwer Academic Publishers*, **45**, 5-32.

Brisco, B. and Brown, R. J., 1995. Multidate SAR/TM synergism for crop classification in western Canada. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **61** (8), 1009-1014.

Campbell, J.B. and Wynne, R.H. 1996. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, 408-429.

Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement*, **20** (1), 37-46.

Dheeravath, V., Thenkabail, P.S., Chandrakantha, G., Noojipady, P., Reddy, G.P.O., Biradar, C.M., Gumma, M.K. and Velpuri, M., 2010. Irrigated areas of India derived using MODIS 500 m time series for the years 2001-2003. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **65** (1), 42-59.

Gasparovic, M. and Jogun, T., 2017. The effect of using Sentinel-2 bands on land-cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, **39** (3), 822-841.

Gómez, C., White J.C. and Wulder, M. A., 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **116**, 55-72.

Gumma, M. K., Nelson, A., Thenkabail P. S. and Singh, A. N., 2011. Mapping rice areas of South Asia using MODIS multitemporal data. *Journal of Applied Remote Sensing*, **26**, 1-27.

- Horning, N., 2011. Random forests: An algorithm for image classification and generation of continuous fields data sets. *International Conference on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS)*.
- Immitzer, M., Vuolo, F. and Atzberger, C., 2016. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing*, **8**, 166-193.
- Inglada, J., Vincent, A., Arias M. and & Marais-Sicre, C., 2016. Improved early crop type identification by joint use of high temporal resolution sar and optical image time series. *Remote Sensing*, **8** (5), 362-383.
- İrfanoğlu, F., ve Balçık, F. B., 2018. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının sentinel-2 görüntüsü ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle belirlenmesi. *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*.
- Liaw, A. and Wiener, M., 2002. Classification and regression by random forest, *R News*, **2** (3), 18-22.
- Long, J.A., Lawrence, R. L., Greenwood, M. C., Marshall, L. and Miller, P.R., 2013. Object-oriented crop classification using multitemporal ETM+ SLC-off imagery and random forest. *Remote Sensing*, **50**, 418-436.
- Noi, P.T. and Kappas, M., 2018. Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, **18** (1), 18-38.
- Pal, M., 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, **26** (1), 217-222.
- Peña-Barragán, J. M., Ngugi, M. K., Plant R. E. and Six, J., 2011. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sensing of Environment*, **115**, 1301-1316.
- Pirotti, F., Sunar, F. and Piragnolo, M., 2016. Benchmark of machine learning methods for classification of a sentinel-2 image. *The International Archives of the Photogrammetry and, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **41**, 335-340.
- Powell, S. L., Pflugmacher, D., Kirschbaum, A.A., Kim, Y. and Cohen, W.B., 2007. Moderate resolution remote sensing alternatives: a review of Landsat-like sensors and their applications. *Journal of Applied Remote Sensing*, **1** (1), 1-16.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. and Rigol-Sanchez, J. P., 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for landcover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **67**, 93-104.
- Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani H. and Shibayama, M., 2005. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, **96**, 366-374.
- Simonneaux, V., Duchemin, B., Helson, D., Er-Raki, S., Olioso, A. and Chehbouni, G. A., 2008. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, **29** (1), 95-116.
- Sonobe, R., Yamaya, Y., Tani, H., Wang, X., Kobayashi N. and Mochizuki, K., 2017. Assessing the suitability of data from sentinel-1A and 2A for crop classification. *GIScience & Remote Sensing*, **54** (6), 918-938.
- Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoğlu, B., 2011. Uzaktan Algılama. Prof. Dr. Filiz Sunar (Editör), Anadolu Üniversitesi Yayınları, 150-178.
- Thenkabail, P. S., Hanjra, M. A., Dheeravath, V. and Gumma, M., 2010. A holistic view of global croplands and their water use for ensuring global food security in the 21st century through advanced remote sensing and non-remote sensing approaches. *Remote Sensing*, **2**, 211- 261.
- Thenkabail, P. S., Hanjra, M. A., Dheeravath, V. and Gumma, M., 2011. Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms and Applications. Qihao Weng (Editor), CRC Press, 383-419.
- Thenkabail, P. and Wu, Z., 2012. An automated cropland classification algorithm (ACCA) for Tajikistan by combining Landsat, MODIS, and secondary data. *Remote Sensing*, **4**, 2890-2918.



Topaloğlu, R. H., Sertel, E. and Musaoğlu, N., 2016. Assessment of classification accuracies of sentinel-2 and Landsat-8 data for land cover/use mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **41**, 1055-1059.

Turker, M. and Arikan, M., 2005. Sequential masking classification of multi-temporal Landsat7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, **26** (17), 3813-3830.

Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C. and NgW, T., 2018. How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification?.

*International Journal Earth Observation Geoinformation*, **72**, 122-130.

Wesseling, J. G. and Fedes, R. A., 2006. Assessing crop water productivity from field to regional scale. *Agricultural Water Management*, **86** (1), 30-39.

#### **İnternet kaynakları**

1-<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides>. (03.05.2020).

2-<https://desktop.arcgis.com/en/documentation/> (03.05.2020).

3- <https://www.mathworks.com/> (03.05.2020).

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045601 (900-907)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045601 (900-907)

DOI: 10.35414/akufemubid.888613

Araştırma Makalesi / Research Article

## Shear Strength Parameters of Sand Reinforced with Polypropylene Fiber

Hüseyin Suha AKSOY\*<sup>1</sup>, Omer Muhammad EDAN<sup>1</sup>, Nichirvan Ramadhan TAHER<sup>1</sup><sup>1</sup>Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Elaziğ

corresponding author; e-mail: saksoy@firat.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0564-457X>

omer.edan@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4929-1713>

taher.nichirvan@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1295-080X>

Geliş Tarihi: 01.03.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

### Abstract

Improving the engineering properties of soils is one of the common necessity encountered in geotechnical engineering applications. This article investigates the effect of the addition of polypropylene fiber (PPF) on shear strength parameters of compacted sand. Different percentages of PPF (0.5%, 1.0% and 1.5%) by dry weight of the sand were added. Maximum dry density (MDD) and optimum moisture content (OMC) of sand alone and PPF-reinforced sand were measured by standard Proctor compaction test. Subsequently, shear box test was applied for sand and PPF-reinforced sand under three different normal stresses, samples were prepared under the condition of OMC and MDD. The results showed that when the percentage of PPF reaches 1%, the internal friction angle was at maximum value and cohesion is at the minimum value. With increasing percentage of PPF internal friction angle decreased and cohesion increased.

### Keywords

Shear box test; Shear strength parameters; Sand; PPF; Standard proctor test

## Polipropilen Elyaf ile Güçlendirilmiş Kumun Kayma Mukavemeti Parametreleri

### Öz

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi, geoteknik mühendisliği uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan gerekliliklerden biridir. Bu çalışmada, polipropilen elyaf (PPF) ilavesinin sıkıştırılmış bir kumun kayma mukavemeti parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kuru kuma ağırlıkça farklı yüzdelerde (%0.5,%1.0 ve %1.5) PPF ilave edilmiştir. Katkısız kumun ve PPF ile güçlendirilmiş kumun maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (MDD) ve optimum su muhtevaları (OMC) standart Proktor deneyi ile belirlenmiştir. OMC ve MDD şartlarında hazırlanan katkısız kum ve PPF takviyeli kum numuneler üzerinde üç farklı normal gerilme altında kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, PPF yüzdesi % 1 olduğunda, içsel sürtünme açısının maksimum ve kohezyonun ise minimum değere ulaştığını göstermiştir. Artan PPF yüzdesi ile içsel sürtünme açısı azalmış ve kohezyon artmıştır.

### Anahtar Kelimeler

Kesme kutusu deneyi; Kayma mukavemeti parametreleri; Kum; Polipropilen elyaf; Standart proktor deneyi

## 1. Introduction

Soil stabilization is a method for alteration or preserving the engineering properties of soil with the aim of improving the shear strength properties soils. The materials which will be used in soil stabilization should be very cheap and durable to the harsh environmental situations. From the aspect of view, usage of PPF is such convenient for soil stabilization. Due to durability, low cost (1.87-2.85 \$/kg), and their availability, the application of PPF can be taken as an effective solution for so many geotechnical engineering problems (Prabakar and Sridhar 2002).

The key point of soil stabilization is the consideration of environmental pollution as there are so many materials which have a significant effect on strengthening the soil, but they have a negative effect on soil underground water pollution. That means the selected materials for soil stabilization should not have an effect on environment pollution. The PPF is easily recyclable, ecologically friendly material. In addition, among all types of fibers, polypropylene is the lightest, it is lighter than polyester and nylon by 34% and 20% respectively. PPF has a lower specific gravity ( $G_s \cong 0.91$ ) compared to the other type of fibers, thus giving the greatest volume for a given weight and this high yield of PPF means that it offers good volume and good coverage while being lighter. It is more important to take care of the selected materials to have resistance to bacteria and microorganisms in order to maintain its nature for a long period of time. Fortunately, PPF are not attacked by bacteria or microorganisms like synthetic fibers of nylon, acrylic and polyester. The other reason for choosing polypropylene is the effect of temperature changes, it remains flexible at temperatures around  $-55^\circ\text{C}$ . PPF has low water absorption, it is about 0.3% by weight when immersed in water for about 24 hours. It has excellent resistance to acids and alkalis with the exception of chlorosulfonic acid and concentrated sulfuric acid and some oxidizing agents of the alkali family. (Net. Ref.1).

Randomly distributed PPF in the soil cause to increase the ductility of reinforced soil compared to unreinforced, and by adding the fiber content in the soil, the tensile force in the soil matrix is increased. The most popular applications of the PPF in the geotechnical engineering are in the construction of embankment, backfill, foundation, sub-base and slope stability problems (J Li and Ding 2002, Tang *et al.* 2007, Unnikrishnan *et al.* 2002). Ibrahim and Fourmont (2007) used direct shear and compaction tests to investigate the effect of the addition of PPF on the shear strength properties of very fine sand. To this end, they added various percentages of PPF to the fine sand, and tests were performed with different relative densities of sand and PPF-reinforced sand. They found that the strain which is needed to reach the peak was increased, as well as the maximum shear strength of the PPF-reinforced sand increased. Attom and Al-Tamimi (2010) reported the effect of two types of PPF on shear strength of sandy soil at four various PPF content (0%, 1%, 2%, 3% and 4%) and researchers changed length of the fiber, thickness of the fiber and ( $L_f/D_f$ ) ratio. The outcomes of the experimental study indicated that when the greater aspect ratio of the two types of PPF is used, the shear strength characteristics of PPF-reinforced soil gets improved well. The effect of short discrete PPF on soil properties was investigated by Jiang *et al.* (2010), according to their results, they stated, the cohesion intercept and internal friction angle of unreinforced soil are lower than PPF-reinforced soil. Anagnostopoulos *et al.* (2013) executed several shear box tests to examine the influence of PPF inclusions on the shear stress-strain behavior of sand for different PPF content, different sand grain size and relative densities. According to their experimental results, they noticed that the relative density, the percentage of fineness, and the PPF content have a considerable impact on the improvement of peak and residual shear strength of PPF-reinforced sandy soil. Hamidi and Hooresfand (2013) implemented a conventional triaxial test to study the influence of PPF on the behavior of cement-treated sand. It has been found that the inclusion of PPF changes the brittle behavior of cement-treated sand to ductile, moreover, its peak

and residual shear strength increase. Noorzad and Zarinkolaie (2015) used several shear box tests and unconsolidated undrained triaxial tests to explore the influence of PPF on the shear strength characteristics of sand. The percentages of PPF and fiber length used in the study were (0%, 0.25%, 0.5% and 1%) and (6.0, 12.0 and 18.0) mm respectively. They discovered that by increasing the PPF content and fibers length, shear strength of the sand increased. They found the optimum percentage of PPF content to be 1% of dry weight of the sand and the fiber length to be 18 mm. Babu *et al.* (2016) performed shear box test on reinforced sand with PPF, based off of the experimental results, they revealed that the shear resistance of the sand reached the maximum value at 0.75% PPF content. Liu *et al.* (2017) investigated sandy soil reinforced with a different mixing ratio of PPF, Based on the results, they stated the inclusion of PPF improves shear strength and dilation. Darvishi and Erken (2018) studied the influence of the inclusion of PPF on shear resistance parameters of sand using the shear box test with various percentages of PPF, samples were prepared at a relative density of 65%. The experimental outcomes presented that the addition of PPF has an influence on the properties of shear resistance of the sand. A significant improvement was observed in the growth of sand resistance parameters with increasing of PPF content in the soil matrix. Kaushik and Sharma (2019) carried out several cyclic CBR tests to study the effect of waste PPF on the resilient modulus of clay. The results showed that reinforcing clay with PPF increased its resilient modulus. It has been found that the optimum content of waste PPF to be 0.4% by dry weight of soil. Rosman and Chan (2020) studied the impact of the inclusion of PPF on the consolidation and compressibility properties of dredged sea soil. As a consequence, they suggested that 0.5% of PPF by dry weight of the soil can be used for improving the compressibility of this kind of soil.

The objective of this article is to study the shear strength parameters of high friction sand after the addition of different percentages of PPF. For this purpose, a set of shear box tests were carried out on

the sand alone and PPF-reinforced sand with various percentages of PPF (0.0%, 0.5%, 1.0%, and 1.5%) by dry weight of sand, and the average fiber length used in this study was about 18 mm. Samples for the shear box test were prepared under conditions of MDD and OMC.

## 2. Materials and Method

The soil which used in the experiments was river sand with uniform gradation taken from the Murat River in Elaziğ at Turkey. The PPF were provided by the geotechnical staff of Firat University. In Figure 1 the sand and PPF can be seen. The sand has a high friction angle, its angle of repose is 35° as shown in Figure 2. The gradation of sand had been obtained through a sieve test that was carried out according to ASTM D422-63, Figure 3 illustrate the grain size distribution curve of the sand. According to the sieve analysis results, the percentage of fine is 4.69%, sand fraction 89.60% and gravel fraction 5.71%. The specific gravity of sand was determined in the laboratory based on ASTM D854-14. The maximum and the minimum dry densities for sand were measured by experiment in agreement with ASTM D4254-91. The measured index parameters of the sand are listed in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** According to the unified soil classification system (USCS), the sandy soil used in this study was grouped as being well-graded sand (SW). The physical properties of PPF are also summarized in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**

**Table 1.** Index properties of the sand

Property	Value
$D_{10}, D_{30}, D_{50}, D_{60}$ (mm)	0.19, 0.5, 0.9, 1.2
Uniformity Coefficient ( $C_u$ )	6.315
Curvature Coefficient ( $C_c$ )	1.096
(USCS)	SW
Specific Gravity ( $G_s$ )	2.74
MDD, $\rho_{dmax}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2.03
Min. dry density, $\gamma_{kmin}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.49
Maximum void ratio ( $e_{max}$ )	0.839
Minimum void ratio ( $e_{min}$ )	0.350

Standard Proctor test was applied according to ASTM D-698 to find MDD and OMC of sand and PPF-reinforced with percentages introduced previously. The shear box test according to ASTM D-3080 was carried out on the samples of sand and PPF-reinforced sand to determine their shear strength parameters. Specimens for the shear box test with dimensions 6.0x6.0x2.0cm were organized under conditions of MDD and OMC. All tests were performed with strain-controlled shear box test machine with constant shearing rate 1.0 mm/min. The shear stress and horizontal displacement were recorded.



(a)



(b)

Figure 1. (a) Sandy soil, (b) polypropylene fiber.



Figure 2. The angle of repose of the sand.

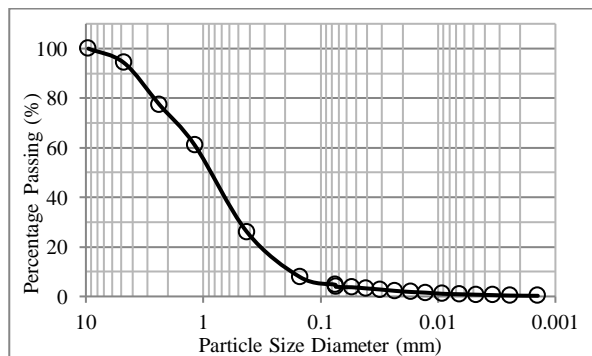


Figure 3. The grain size distribution curve of the sand.

Table 2. Physical properties of the PPF ( Li et al. 2014)

$G_s$	0.91
Length of the fiber, $L_f$ (mm)	18
Thickness or diameter of fiber, $D_f$ (mm)	0.03
Aspect Ratio ( $L_f/D_f$ )	600
Density ( $kN/m^3$ )	8.927
Tensile strength (MPa)	350
Elasticity modulus (MPa)	3500
Fusion point ( $^{\circ}$ )	165

### 3. Results and Discussion

From the Proctor compaction tests, the OMC and MDD of sand and PPF-reinforced sand mixtures were measured and are given in Figure 4 and 5. It was noticed that by increasing the content of PPF, the MDD decreases while the OMC increases.

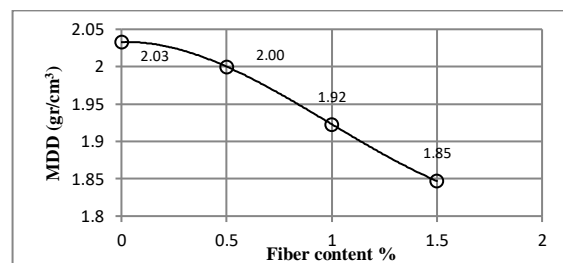


Figure 4. Maximum dry density versus fiber content.

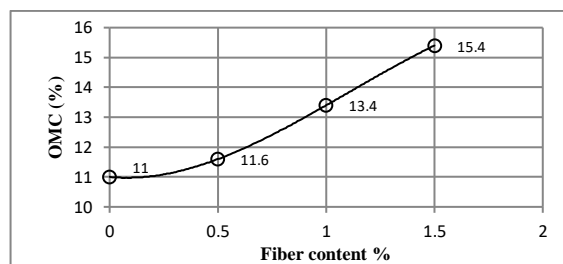


Figure 5. Optimum moisture content versus fiber content.

The relationships between the shear stress corresponding to the horizontal displacement for three different axial stresses for sand and PPF-reinforced sand with different percentages of PPF are given in Figure 6. through Figure 8. It can be seen that by adding more PPF content, the ductility of the PPF-reinforced sand increases. In addition, the variation of the peak shear stress corresponding to the different axial stresses for different PPF content is shown in Figure 9. It can be concluded that by adding the PPF content, the slope between shear

stress and axial stress becomes steeper until the percentage of PPF reaches 1%. Thus, the value of the internal friction angle of PPF-reinforced sand gets higher while the cohesion intercept reduces. Moreover, when the percentage of PPF becomes more than 1%, the slope of shear stress and axial stress changes to gentle. Consequently, the value of the internal friction angle of PPF-reinforced sand gets lower while the cohesion intercept increases slightly.

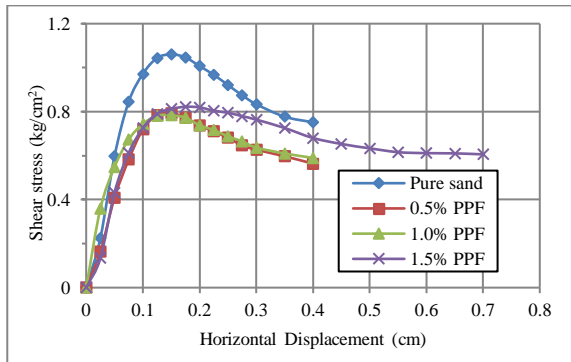


Figure 6. Shear box test results for sand and PPF-reinforced sand at a normal stress of 0.556 kg/cm<sup>2</sup>.

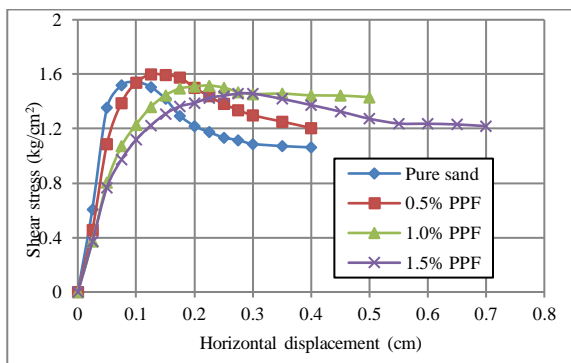


Figure 7. Shear box test results for sand and PPF-reinforced sand at normal stress of 1.111 kg/cm<sup>2</sup>.

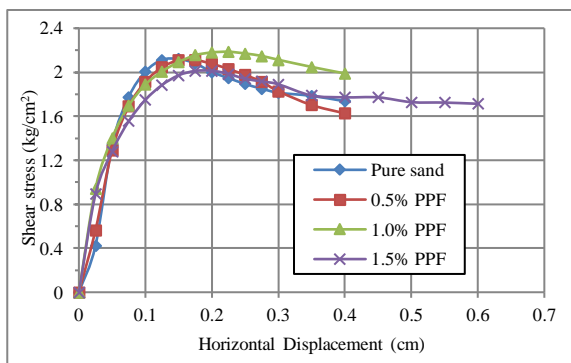


Figure 8. Shear box test results for sand and PPF-reinforced sand at normal stress of 1.667 kg/cm<sup>2</sup>.

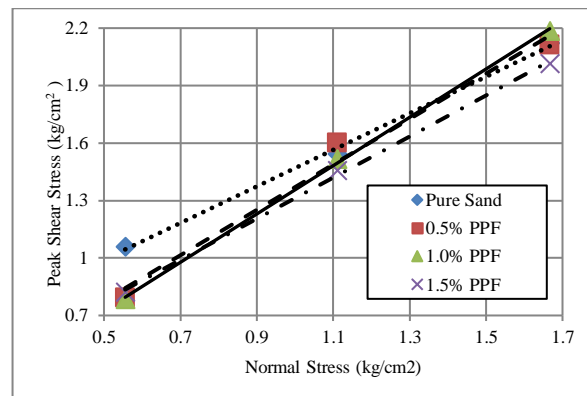


Figure 9. Peak shear stress versus normal stress for different PPF content.

Figure 10. displays the change of the internal friction angle of sand with different percentages of PPF. It can be clearly seen that the angle of internal friction of the PPF-reinforced sand reaches the maximum value when the content of PPF is increased 1.0% by the dry weight of the sand. However, when the percentages of PPF is increased more than 1.0% the internal friction angle starts to reduce. Based on the outcomes of this study, adding a certain amount of PPF can improve the friction angle of the sand. In this study, optimum PPF content was to be 1.0% for the sand which prepared at Proctor density. The cohesion value also changes with increasing PPF content as shown in Figure 11. It is obvious that the cohesion value of the PPF-reinforced sand reduces while the PPF content up to 1.0%. Nevertheless, when the percentages of PPF is increased more than 1.0% the cohesion of the sand begins to get higher slightly. According to the results of this study, it can be said that mixing PPF with the dense sand cannot improve its cohesion value. This decrease of cohesion was also observed by (Anagnostopoulos et al. 2013).

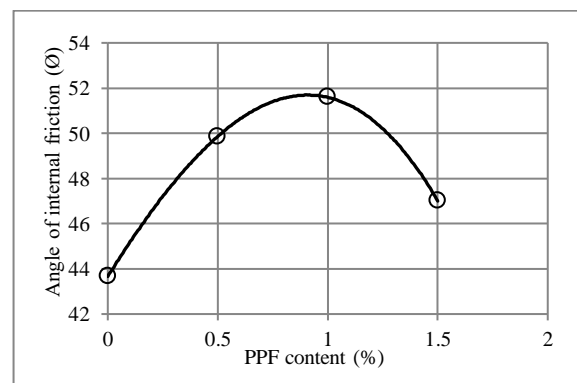
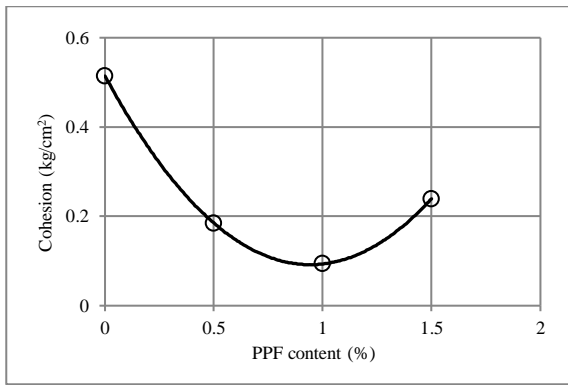


Figure 10. Angle of internal friction versus different PPF content.



**Figure 11.** Variation of cohesion intercept versus different PPF content.

Contrary to the results of this study, some researchers have found the optimum percentage of PPF which increases the two parameters of soil shear strength, the angle of internal friction and cohesion (Darvishi and Erken 2018, Jiang et al. 2010, Noorzad and Zarinkolaei 2015). Also, different optimum percentages of PPF for improving the internal friction angle and the cohesion of the sand

in the literature (Babu et al. 2016). It is observed from the published studies that the optimum percentage of PPF for improving the shear resistance of soil relies on many factors like kind of the soil test, soil type, length of PPF, the aspect ratio of PPF, soil particle size distribution and soil relative density. (Anagnostopoulos et al. 2013, Attom and Al-Tamimi 2010, Devi and Jempen 2016, Mali and Singh 2014, Noorzad and Zarinkolaei 2015). Presents the results of some studies carried out by different researchers on the impact of the addition of PPF on the shear strength properties of the soil. It can be seen clearly from the table that optimum percentage of PPF is varying from 0.1% to 1%. In this study, optimum PPF percentage also found as 1%. From, it is conspicuous that the results of this study are compatible with the results found by (Noorzad and Zarinkolaei 2015).

**Table 3.** The optimum percentage of PPF for improving the shear strength properties of the soil found by some researchers.

Reference	Soil type	The optimum Fiber length (mm)	The optimum percentage of PPF (%)	Relative Density of soil (D <sub>r</sub> %)	Unreinforced soil		PPF-reinforced soil	
					Internal friction angle (°)	Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )	Internal friction angle (°)	Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )
Jiang et al. (2010)	Clayey soil	15	0.3% by weight	Dense	27°	0.61	33°	1.15
Anagnostopoulos et al. (2013)	Sand	12	0.1% by volume	Very dense	40°	0.24	47°	0.15
Noorzad and Zarinkolaei (2015)	Sand	18	1% by weight	D <sub>r</sub> =70%	40°	0	48°	0.19
Liu et al. (2017)	Sand	18	0.2% by weight	D <sub>r</sub> =70%	30°	0.71	35°	0.82
Darvishi and Erken (2018)	Sand	15	0.5% by weight	Dense	37°	0	41°	0.19
<b>This study</b>	Sand	18	1% by weight	Proctor Density	44°	0.51	52°	0.24

**4. Conclusion**

A set of standard Proctor compaction tests and shear box tests were implemented to examine the effect of inclusion of PPF on shear resistance properties of dense and high friction sand, the following conclusion can be made:

- ✓ The MDD of PPF-reinforced sand reduces with increasing PPF content, also the OMC of the

sand gets higher with an increase in the content of PPF because of an increase in the specific surface area of PPF and it absorbs the portion of water.

- ✓ When the content of PPF reaches 1% by weight, the value of the internal friction angle of PPF-reinforced sand reached maximum, after that it starts to decrease.



- ✓ The cohesion of PPF-reinforced sand decreases until the percentage of PPF reaches 1%, and then increases slightly with increasing PPF content, but it is still lower than that of unreinforced sandy soil. From this study, it appears that PPF cannot improve the cohesion sand. However, the cohesion is not important when sandy soil concern.
- ✓ It is possible to improve the friction angle of the sand by adding a low percentage of PPF, this improvement can be used in the application of geotechnical engineering such as backfill material behind the retaining wall, construction of embankment, sub-base and slope stability etc.

## 5. References

- Anagnostopoulos, C. A., Papaliangas, T. T., Konstantinidis, D., & Patronis, C., 2013. Shear strength of sands reinforced with polypropylene fibers. *Geotechnical and Geological Engineering.*, 31(2), 401-423.
- ASTM, D 854, 2014. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.*
- ASTM, D 3080, 2011. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.*
- ASTM, D 4254-91, 2006. Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.*
- ASTM, D 18, 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM D 422-63, 2007. Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Attom, M. F., & Al-Tamimi, A. K., 2010. Effects of polypropylene fibers on the shear strength of sandy soil. *International Journal of Geosciences.*, 1(1), 44-50.
- Babu, A., Snigdha, V., Suhaila, K., & Swathy, V., 2016. Influence of polypropylene fibre on shear strength parameters of sandy soil. *Int J Eng Res.*, 5.
- Darvishi, A., & Erken, A., 2018. Effect of Polypropylene Fiber on Shear Strength Parameters of Sand, *Paper presented at the Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*, Budapest, Hungary.
- Devi, D., & Jempen, B., 2016. Shear strength behaviour of bamboo fiber reinforced soil. *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 3(8), 433-437.
- Hamidi, A., & Hooresfand, M., 2013. Effect of fiber reinforcement on triaxial shear behavior of cement treated sand. *Geotextiles and Geomembranes.*, 36, 1-9.
- Ibraim, E. and Fourmont, S., 2007. Behaviour of sand reinforced with fibres. In: *Proceedings of the Geotechnical Symposium in Roma*, 16–17 March 2006, Rome: Springer, 807–818.
- Jiang, H., Cai, Y., & Liu, J., 2010. Engineering properties of soils reinforced by short discrete polypropylene fiber. *Journal of Materials in civil Engineering.*, 22(12), 1315-1322.
- Kaushik, R., & Sharma, T., 2019. Influence of waste polypropylene fibers on resilient modulus of clay soil. *Int. J. Res. Advent Technol.*, 7(1), 251-255.
- Li, J., & Ding, D., 2002. Nonlinear elastic behavior of fiber-reinforced soil under cyclic loading. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 22(9-12), 977-983.
- Li, J., Tang, C., Wang, D., Pei, X., and Shi, B., 2014. Effect of discrete fibre reinforcement on soil tensile strength. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(2), 133-137.
- Liu, J., Feng, Q., Wang, Y., Bai, Y., Wei, J., and Song, Z., 2017. The effect of polymer-fiber stabilization on the unconfined compressive strength and shear strength of sand. *Advances in Materials Science and Engineering.*, 2370763.
- Mali, S., & Singh, B., 2014. Strength behaviour of cohesive soils reinforced with fibers. *International journal of civil engineering research*, 5(4), 353-360.

- Noorzad, R., & Zarinkolaie, S. T. G., 2015. Comparison of mechanical properties of fiber-reinforced sand under triaxial compression and direct shear. *Open Geosciences*, 7 (1), 000010151520150041.
- Prabakar, J., & Sridhar, R., 2002. Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil, *Construction and Building materials*. 16(2), 123-131.
- Rosman, M. Z., & Chan, C.-M., 2020. Effect of polypropylene fiber inclusion on the compressibility and consolidation characteristics of dredged marine soil. *Materials Today, Proceedings*, 31, 333-338.
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., & Cai, Y., 2007. Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*., 25(3), 194-202.
- Unnikrishnan, N., Rajagopal, K., & Krishnaswamy, N., 2002. Behaviour of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 20(2), 117-133.

#### **Internet Resources**

Int. Rsc. 1-

<http://syntechfibres.com/polypropylene/properties-of-polypropylen-fibres/>, (01.02.2021)

## Araştırma Makalesi / Research Article

**Bir Boyutlu Analiz Yöntemiyle Sahaya Özel Sıvılaşma Risk Haritalarının Oluşturulması: Afyonkarahisar Örneği**Süleyman GÜCEK<sup>1</sup>, İsmail ZORLUER<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar.Sorumlu yazar, e-posta: [sgucek@aku.edu.tr](mailto:sgucek@aku.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1851>  
[izorluer@aku.edu.tr](mailto:izorluer@aku.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5017-084X>

Geliş Tarihi: 01.05.2021

Kabul Tarihi: 13.08.2021

**Öz**

Can ve mal kayıplarıyla birlikte ciddi anlamda maddi ve manevi kayıplara neden olan depremlerin, meydana gelen doğal afetlerin önlenmesi ne yazık ki mümkün değildir. Lakin depremlerin meydana getirebileceği hasarı minimum seviyeye indirmek mümkündür. Deprem esnasında meydana gelen sismik dalgaların meydana getirdiği tekrarlı kayma gerilmeleri altında, boşluk suyu basıncındaki ani artışa bağlı olarak suya doygun siltli, kumlu ve kil oranı az olan zeminlerde, efektif gerilmenin azalması sonucunda zeminin mukavemet kaybına bağlı olarak sıvı gibi davranması neticesinde yapısal hasarlar meydana getirmektedir. Türkiye tektoniğinde çok önemli bir konumda bulunan Afyonkarahisar ili ve çevresinde birçok aktif fay bulunmaktadır. Bu sebeple sıvılaşmaya bağlı olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için, dinamik (tekrarlı) yüklerin etkisi altındaki yerel zeminlerin nasıl bir davranış göstereceğinin araştırılması, sıvılaşma potansiyelinin önceden belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında yerel zemin koşullarının sıvılaşmaya etkisini incelemek amacıyla, Anakaya mostrasındaki yer hareketi olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne(2018) uygun olarak seçilmiş olan 11 farklı deprem kaydı verisi kullanılarak bir boyutlu (1-B) dinamik analizler yapılmıştır. Bu kapsamda bölgede yapılmış olan 124 farklı sondaj kuyusu verisi değerlendirilerek çalışma bölgesinin yerel zemin özellikleri belirlenmiştir. Arazi ve laboratuvar verileri kullanılarak zemin özelliklerinin dinamik davranışa etkisini incelemek amacıyla DeepSoil v6.1 yazılımı kullanılmıştır. Bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak her sondaj için sıvılaşma analizleri yapılmıştır. TBDY (2018)'e göre sıvılaşma riski olan zeminlerde, zaman tanım alanında bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışma neticesinde analiz sonuçları ile birlikte elde edilen veriler değerlendirilerek, çalışma bölgesi sıvılaşma risk haritalarının oluşturulması, bölgedeki bulunan mevcut yapılar ile inşaa edilmesi planlanan binaların temel zeminlerinin dinamik davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler**Sıvılaşma Riski;  
Doğrusal Olmayan  
Analiz; Coğrafi Bilgi  
Sistemleri;  
Mikrobölgeleme**Generating Site-Specific Liquefaction Risk Maps with One Dimensional Analysis Method: A Case Study In Afyonkarahisar****Abstract**

Unfortunately, it is not possible to prevent earthquakes and natural disasters that cause serious material and moral losses along with loss of life and property. However, it is possible to minimize the damage caused by earthquakes. Under the repeated shear stresses caused by the seismic waves that occur during the earthquake, due to the sudden increase in the pore water pressure, the soils with saturated silty, sandy and low clay content cause structural damage as a result of the soil acting like a liquid due to the loss of strength as a result of the decrease in the effective stress. There are many active faults in and around Afyonkarahisar province, which has a very important position in the tectonics of Turkey. For this reason, in order to reduce the negative effects of liquefaction, it is of great importance to investigate the behavior of local soils under the influence of dynamic (repetitive) loads and to determine the liquefaction potential beforehand. Within the scope of this study, one-dimensional (1-D) dynamic analyzes were carried out using 11 different earthquake record data selected in accordance with the Turkish Building Earthquake Code (2018) as the ground motion in the

**Keywords**Liquefaction Risk;  
Nonlinear Analysis;  
Geographic  
Information Systems;  
Microzonation

bedrock outcrop in order to examine the effect of local soil conditions on liquefaction. In this context, the local soil characteristics of the study area were determined by evaluating the data of 124 different boreholes made in the region. DeepSoil v6.1 software was used to examine the effect of soil properties on dynamic behavior using field and laboratory data. Liquefaction analyzes were performed for each borehole using a one-dimensional nonlinear analysis method. According to TBDY (2018), a one-dimensional nonlinear analysis method was preferred in the time history for soils with liquefaction risk. As a result of this study, it was aimed to evaluate the data obtained together with the results of the analysis, to create liquefaction risk maps of the study area, to determine the dynamic behavior of the existing structures in the region and the foundation soil of the buildings planned to be built.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

Yeryüzünde en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer alan Türkiye’de günümüze kadar meydana gelmiş olan depremler neticesinde birçok yapının hasar görmesi ya da yıkılmasındaki en önemli etkenlerin başında geoteknik ve jeolojik özellikler ile birlikte yapılaşma esnasındaki yanlışlıkların olduğu açıkça görülmektedir (Taşdelen vd. 2016). Bu sebeple depreme dayanıklı yapıların inşasında; bölgeyi etkileyebilecek deprem kaynaklarının özellikleri, zemin koşulları ve yapıların mühendislik özellikleri beraber değerlendirilmelidir (Saita vd. 2012). Deprem hareketi esnasında yapıların dinamik davranışlarını araştırmak, deprem anında zeminlerin nasıl davranış göstereceğini tahmin etmek ve depreme dayanıklı yapılar tasarlamak en önemli etkenler arasındadır. Bu sebeple deprem kaynak parametrelerinin daha önceden bilinmesi ve zeminin nasıl bir davranış göstereceğinin analizi önemli hale gelmektedir. Zemin-Deprem davranışının modellenmesi ve analiz sonuçlarına göre yapıların tasarlanması halinde can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi sağlanabilir (Tunçel vd. 2019).

Dünyadaki birçok şehir taşıma gücü düşük olan zeminler üzerine inşa edilmiştir (Değerliyurt 2014). Dünyada ve ülkemizde, alüvyon zemin üzerine inşa edilen yapıların depremler esnasında ciddi hasar gördüğü veya yıkıldığı 1964 yılında Nigata (Japonya) ve Büyük Alaska (ABD), 1999 Kocaeli ve Düzce (Türkiye) depremlerinde açıkça görülmüştür (Toprak ve Jinguuji 2006, Yasuda vd. 2012, Yamaguchi vd. 2012, Bray vd. 2014, Toprak vd. 2016). Devlet Su İşleri (DSİ) sondaj verilerine göre, inceleme alanının 160 metre derinliğe kadar ulaşan alüvyon zemine sahip olduğu bilinmektedir.

İnceleme alanının, Afyonkarahisar il merkezi ve çevresinde oluşabilecek büyük bir depremden etkilenme olasılığı yüksek olduğundan dinamik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

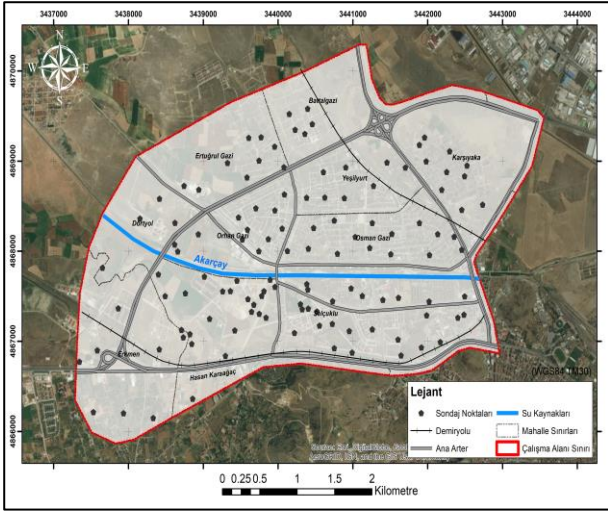
İnceleme alanı zemin dağılımının siltli, killi ve kumlu formasyonlardan oluşması, bölgede yer altı su seviyesinin yüksek olmasından kaynaklı, deprem esnasında meydana gelebilecek sıvılaşma riski, Afyonkarahisar için önemli bir tehlike olarak görülmektedir (Bayrakçı vd. 2013). Bu tehlikeler dikkate alınarak incelenen bölgede zemin koşullarına bağlı olarak deprem dalgaları neticesinde oluşabilecek değişimlerin belirlenmesi için en basit yaklaşım, düşey yönde ilerleyen kayma dalgası hızı yayılımına bağlı olan bir boyutlu dinamik analiz yöntemidir (Kramer 1996, Özkan 2017).

Bu çalışmanın temel amacı, inceleme alanında daha önce böyle bir çalışmanın olmaması ve bu sebeple ilk defa yapılan bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak inceleme bölgesinin sıvılaşma riskini belirleyerek kamu yararına sunmak amacıyla coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknikleri ile konuma dayalı olarak haritalamaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

İnceleme alanı 1/35.000 ölçekli K 25-b4 pafta, 3437000-3444000 kuzey enlemleri ile 4866000-4870000 doğu boylamları içerisinde bulunmaktadır. İnceleme bölgesine kuzeybatıdan giren, bölgenin merkezinden geçerek şehrin doğusundan çıkan Akarçay Nehri bulunmaktadır (Şekil 1).

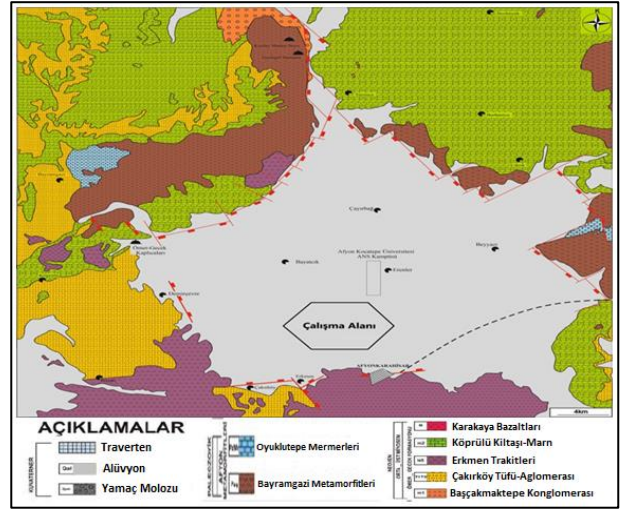


Şekil 1. İnceleme alanı ve sondaj noktalarının genel dağılımı

İnceleme alanında ovalar ve dere yatakları boyunca geniş bir alanı kapsayan alüvyon zemin formasyonu bulunmaktadır (Şekil 2). Çalışma alanının bulunduğu alan alüvyonal bir düzlük üzerinde yer almaktadır.

Bayramgazi şistleri ve Oyuklutepe Mermerlerinden oluşan Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri inceleme alanındaki temel kayalardır. Paleozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak killi kireçtaşı, kumtaşı seviyeleri, konglomera, volkanik cam, kumtaşı, karbonat çimentolu tüfit seviyeleri ve trakiandezitik tüf içeren Ömer-Gecek formasyonu gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı volkanik kayalar ve alüvyon ise bölgedeki en genç birimlerdir (Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2012).

Sıcak su kaynak ve kaplıcaları yönünden oldukça zengin olan bu bölgede; kalkşist, Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kalkşistler ve kristalize kireçtaşı ile Neojen konglomera, kireçtaşı kaya birimleri, kumtaşı ve yöredeki bütün fay zonları rezervuar kaya niteliğindedir (Erişen 1996).



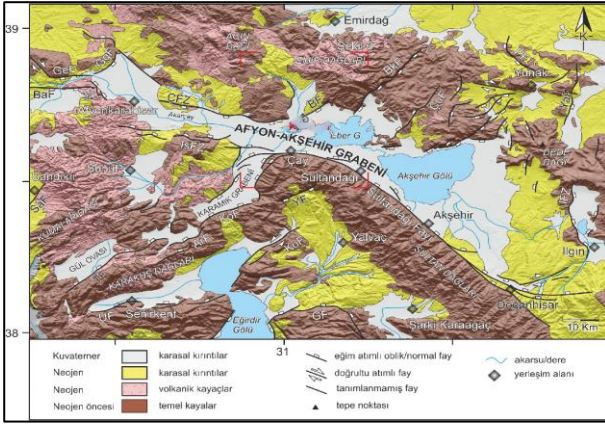
Şekil 2. Afyonkarahisar merkezi genel jeolojik haritası (Ulutürk 2009).

Afyonkarahisar ve çevresi, Ege Bölgesi sınırları içerisinde olup, İç Anadolu ve Ege Bölgesinin kesiştiği noktada bulunmaktadır. Afyonkarahisar ili, Tektonik olarak Ege Bölgesinin genişlemeli sismik etkisine maruz kaldığından dolayı farklı tarihlerde birçok deprem meydana gelmiştir (Yıldız 2012).

2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritasına göre inceleme bölgesini etkileyeceği düşünülen Simav ve Sultandağı Faylarından oluşan sistem içerisinde birçok aktif fay segmenti ve ilişkili genç havzalar yer almaktadır (Şekil 3).

ASFS, Batıda Sındırgı ile doğuda Ilgın arasında olup yaklaşık uzunluğu 400 km'dir. ASFS'nin kuzeybatı kısmı yedi sağ yanal doğrultu atımlı fay segmentinden oluşmaktadır.

Ortalama uzunluğu 30 km olan AAG'nin güneydoğu bölümü, KB-SE adıyla ve yaklaşık 130 km uzunluğunda aktif depresyon bölgesi olarak adlandırılmıştır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003, Emre vd. 2011, Özkaymak vd. 2017, Duman vd. 2018, Tiryakioğlu vd. 2018, KOERI 2019).



**Şekil 3.** Afyon-Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Özkaymak vd. 2017).

Afyon-Akşehir Graben'in (AAG) orta kesiminde ve Bolvadin'in hemen güneyinde yer alan Maltepe ve Çay bölgelerinde yüzey kırılmalarının oluşmasına yol açan iki yıkıcı deprem, sırasıyla 3 Şubat 2002'de 6,3 ve 6,0 büyüklükleriyle meydana gelmiştir (Özden vd. 2002, Emre vd. 2003, Yürür vd. 2003, Akyüz vd. 2006, Tan vd. 2008). Ayrıca, AAG boyunca meydana gelen, büyüklükleri 2 ila 4 arasında olan yaklaşık 2000 deprem bu bölgedeki yüksek sismik aktiviteyi göstermektedir. Bunların çoğu 5,7 ile 6,3 arasında büyüklüklere sahip aktif normal faylarda meydana gelen depremlerle ilişkilidir. Afyonkarahisar sınırları içerisinde toplamda 31 adet aktif fay vardır. Bu fayların üretebileceği maksimum deprem büyüklükleri 6.18-6.86 arasında değişmektedir. Fayların uzunlukları ise 9-33 km arasında değişmektedir (Emre vd. 2018).

### 2.1.1 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi

İnceleme alanındaki yerel zemin tabakalarında meydana gelebilecek depremlerin özelliklerini belirleyebilmek amacıyla, bölgenin sismik tehlike verileriyle uyumlu doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılır. Sıvılaşma analizlerinde izlenen adımlar şöyle özetlenebilir:

**a) Zemin özelliklerinin belirlenmesi:** Jeolojik, geoteknik ve jeofizik yöntem esaslarına dayalı olarak araziden alınmış olan zemin numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini ve bu deneylere bağlı olarak temsili zemin profilinin belirlenmesi gerekmektedir. Kayma modülünün (G)

derinliğe bağlı olarak değişimini temsil eden; profilin kayma dalgası hız ( $V_s$ ) ve kayma modülü ile birlikte sönüm oranı eğrilerinin şekil değiştirme genliği değişimleri de belirlenmelidir.

**b) İvme-zaman deprem kayıtlarının seçimi:** İnceleme bölgesi için sismik tehlike analizlerinde kullanılacak deprem verileri sismik tehlike çalışması ile öngörülen depremin büyüklüğü, depremin bölgeye uzaklığı ve faylanma sistemi ile uyumlu kayıtlar seçilmelidir (Ansal ve Tönük 2007). Aynı zamanda sismik tehlike çalışmasında, bölgesel olarak belirlenmiş en büyük ivme spektrumu ve ivme ile de uyumluluk mutlaka olmalıdır. Ön görülen depreme uyumluluk, daha önce kaydedilmiş depremlerin ivme büyüklükleri bölgeye uyumlu olacak şekilde sabit bir katsayı kullanarak ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Genellikle tabaka hareketinin modellenmesi, sahada hipotetik olarak zemin profili tabanında yüzeylenmiş anakayanın varlığı kabul edilerek yapılmaktadır.

**c) Sıvılaşma risk analizleri:** Zemin profili özelliklerini temsil eden parametrelerin tanımlanmasındaki zorluklar ve belirsizlikler dikkate alınarak, analizler genellikle bu parametre değerlerinin ortalaması (en iyi tahmin) kullanılarak yapılır. Sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için çalışma alanının zemin tipine göre aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri kullanılarak elde edilir.

**d) Zemin sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi:** Yapılacak olan zemin araştırma çalışmaları, koni penetrasyon deneyinin (CPT) ve/veya standart penetrasyon deneyi (SPT)'nin yapımına ek olarak, inceleme yapılacak zemin tabakalarının su muhtevası, dane çapı dağılımı ve kıvam limit değerlerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Potansiyel olarak sıvılaşma riski bulunan zeminler; yeraltı su seviyesinin altında yer alan kum, siltli killi kum, çakıllı kum, plastik olmayan silt-kum ve silt karışımları olarak tanımlanmaktadır.

Bir boyutlu zemin davranış analizleri; basit olmasının yanı sıra güvenli tarafta kalmamızı sağlayan sonuçlar vermesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür analizler esas alınarak tasarlanmış olan birçok projenin depremlerde yeterli dayanımı gösterdiğini bilmekteyiz. Bir boyutlu dinamik analizler, efektif



gerilmeye bağlı olarak modül azalımı ve sönüm eğrilerinin ilişkileri benimsenerek yapılmaktadır. Bu ilişkiler Darendeli(2001) tarafından geliştirilen dört parametre modeline bağlı olarak belirlenen her bir zemin profilinin alt tabakası için seçilen zeminin tipi dikkate alınarak üretilmiş ve geliştirilmiştir. Dinamik analizlerde, zemin profilinin tabaka kalınlıkları, tabakaların birim hacim ağırlığı, malzeme parametreleri, zemin sınıfı ve zeminin kayma dalgası hızı( $V_s$ ) değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, sahaya özgü deprem özellikleri, temsili zemin profilleri dikkate alınarak bir boyutlu doğrusal olmayan yöntemle DeepSoil v6.1 programı kullanılarak belirlenmiştir. İnceleme alanında 124 adet sondaj kuyusu ve bu sondajlardan elde edilen standart penetrasyon deneyi vuruş sayısına bağlı olarak kayma dalgası hızı değerleri İyisan (1996)'ya göre belirlenmiş ve sondaj kuyularının bir boyutlu analizleri yapılmıştır.

## 2.2 Metod

İnceleme alanında yapılan 124 adet sondajın ortalama derinliği 15-20 m arasında, yeraltı su seviyesi derinliği ise 3-6 m arasında değişmektedir. Sondaj kuyularında yapılan Standart Penetrasyon Testlerinde (SPT), ASTM D 1586-99 standardı esas alınmıştır.

Bu kapsamda standart penetrasyon deneyinden elde edilen numuneler üzerinde su muhtevası, Atterberg limitleri, elek analizi ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar test sonuçları değerlendirilmesi sonucu her bir tabakanın zemin sınıflandırması yapılarak derinliğe bağlı çalışma bölgesinin genel jeolojisi oluşturulmuştur.

Çalışma alanında zemin profilinin 0-7.50 metre arası düşük plastisiteli kil(CL) ve yüksek plastisiteli kil(CH) bulunurken 7.50-18.00 metre arası siltli kum (SM) ve killi kum (SC), 18.00-20.00 metre arasında da düşük plastisiteli kil(CL) ve yüksek plastisiteli kil(CH) formasyonlarından oluşmaktadır. Sondaj kuyularından alınan numunelerin su muhtevaları % 6.58 ile % 38.60 arasında, doğal birim ağırlıkları ise 15.27-19.93 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

**Çizelge 1.** Çalışma alanındaki sondaj kuyularının derinliğe bağlı olarak genel SPT ve Kayma dalga hızı değerleri

Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	SPT Değeri ( $N_{30}$ )	Kayma Dalga Hızı ( $V_s$ )
1.50-1.95	CH-CL	14	201
3.00-3.45	CL-CH	14	201
4.50-4.95	CL-CH	14	201
6.00-6.45	CL-CH	15	208
7.50-7.95	SM	17	222
9.00-9.45	SM-SC	17	222
10.50-10.95	SM-SC	20	242
12.00-12.45	SM-SC	21	248
13.50-13.95	SM	22	254
15.00-15.45	SM	21	248
16.50-16.95	SM	22	254
18.00-18.45	CL-CH	16	215
19.50-19.95	CL-CH	13	193

Kayma dalgası hızlarının 180-360 arasında olduğu bölgeler ZD yerel zemin sınıfını yani "Sert zemin" (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil) tabakalarından oluştuğunu göstermektedir.

**Çizelge 2.** Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018).

Zemin Sınıfı	$V_{s30}$ (m/sn)	Zemin Cinsi
ZA	>1500	Sert Kaya
ZB	760-1500	Kaya
ZC	360-760	Sert zemin veya yumuşak kaya
ZD	180-360	Sert zemin
ZE	<180	Yumuşak Zemin
ZF	N/A	Sahaya özel değerlendirme gerekli

İnceleme bölgesi zeminleri için her sondaj noktasında SPT-N değerlerinden kayma dalgası hızını belirlemek amacıyla İyisan (1996) tarafından geliştirilen tüm zeminler için geçerli ampirik bağıntı tercih edilmiştir.

$$V_s = 51.5N^{0.516} \quad (1)$$

$V_s$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

N: Ham SPT darbe sayısı



Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) ve KD-GB yönlü faylar üzerinde meydana gelmiş olan bütün depremler Afyonkarahisar ve çevresinin sismik tehlike açısından oldukça aktif bir sistemin içinde olduğunu göstermektedir. Akşehir-Simav Fay Sistemi üstünde, bölgenin kuzeybatıda Çukurören ile güneydoğusunda Çobanlar ilçesi arasında kalmış olan yaklaşık olarak 113 km uzunluğa sahip hat boyunca normal/oblik/doğrultu atımlı fay sistemlerinden oluşmaktadır.

Anakaya mostrasındaki yer hareketi olarak bu faylanma türleri dikkate alınarak yönetmeliğe göre seçilmiş olan 11 farklı deprem kaydı Çizelge 3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları(AFAD, PEER)

Deprem Adı	İstasyon	Derinlik (km)	PGA (g)	Büyükklük (Mw)
19/08/1976 Denizli	2001	20	0.35	5.0
13/03/1992 Erzincan	2402	23	0.41	6.6
17/01/1995 Kobe	Takarazuka	17.6	0.82	6.9
01/10/1995 Dinar	0302	5	0.28	6.1
27/06/1998 Ceyhan	0105	23	0.22	6.2
17/08/1999 Kocaeli	4106	15.9	0.21	7.4
21/09/1999 Chi Chi	TCU	8	0.18	7.3
12/11/1999 Düzce	8101	11	0.41	7.2
01/05/2003 Bingöl	1201	6	0.55	6.1
23/10/2011 Van	6503	19.02	0.18	6.7
20/03/2019 Denizli	2017	10.76	0.36	5.5

Olası bir depremin mevcut yapı ve yapı stoğu üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde deprem özelliklerinin ve zemin yüzeyindeki olası zemin davranışlarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla zemin kesitindeki zemin tabakaları kapsamlı bir şekilde belirlenmiş ve incelenen bölgede sismik tehlike analizine uygun ivme zaman kayıtları seçilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında aşağıda dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

**DD-1 Deprem Yer Hareketi;** En büyük deprem yer hareketi olarak ifade edilmektedir. Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu “Çok Seyrek” deprem yer hareketini ifade etmektedir.

**DD-2 Deprem Yer Hareketi;** Standart tasarım deprem yer hareketi olarak da ifade edilmektedir. Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu “Seyrek Deprem” yer hareketini ifade etmektedir.

**DD-3 Deprem Yer Hareketi;** Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu “Sık Deprem” yer hareketini belirtmektedir.

**DD-4 Deprem Yer Hareketi;** Servis deprem yer hareketi olarak da ifade edilmektedir. Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığının %50) ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu “Çok Sık Deprem” yer hareketini ifade etmektedir.

Gerçek deprem kayıtlarının yönetmeliklerde belirlenen şartları sağlayacak şekilde seçilip tasarım ivme spektrumu ile uyuşacak şekilde ölçeklenmesi gerekir. Gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklenmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, zaman tanım alanındaki yöntemler ve frekans tanım alanındaki yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde kaydın frekans içeriği değiştirilmeksizin sadece kaydın genliği ile oynanır. Frekans tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna bir eşlik bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilir. Türkiye Deprem Şartnamesinde tanımlanan esaslara uygun olarak seçilen gerçek deprem kayıtları zaman ve frekans tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak önerilen tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmiştir. Sismik tehlike çalışmasında belirlenmiş en büyük ivme ve ivme spektrumu ile de

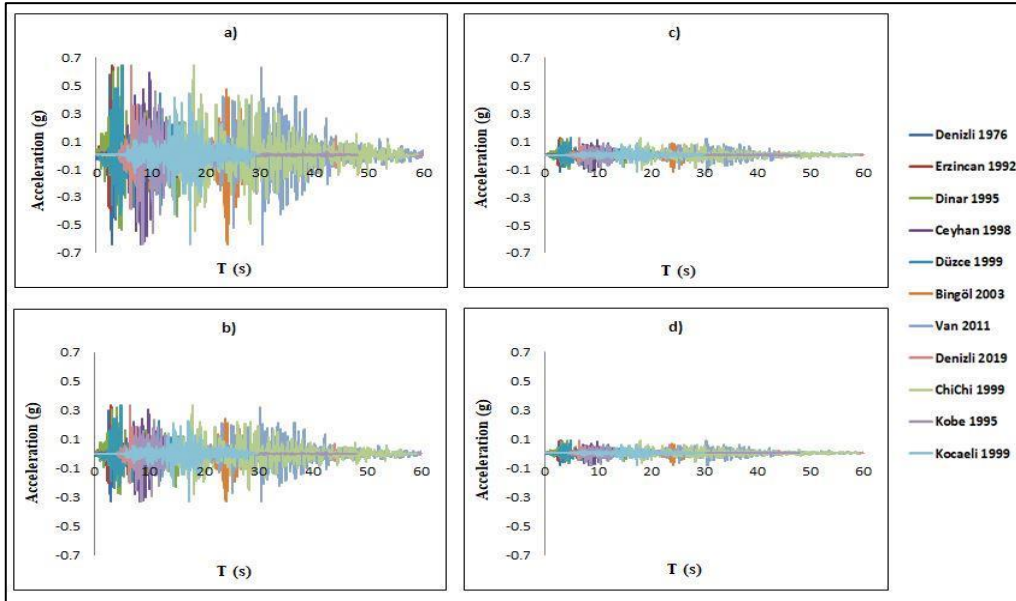
uyumluluk aranmalıdır. Tasarım depremine uyumluluk, kaydedilmiş ivme büyüklüklerinin sabit bir katsayı kullanılarak ölçeklendirilmesi ile sağlanabilir. Genellikle yer hareketinin modellenmesi sahada farazi olarak yüzeylemiş anakayanın varlığı kabul edilerek yapılır(Civelekler vd. 2018).

İnceleme alanı için özel olarak belirlenen deprem yer hareketleri de en büyük ivme kaydına göre analiz programında bire bir ölçeklendirilerek kullanılmış ve Çizelge 4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.** İnceleme alanının deprem yer hareketi düzeyine göre ivme değerleri (<https://deprem.afad.gov.tr>)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	İvme Değerleri (g)
DD-1 (Tekrarlanma periyodu 2475 Yıl)	0.64
DD-2 (Tekrarlanma periyodu 475 Yıl)	0.33
DD-3 (Tekrarlanma periyodu 72 Yıl)	0.12
DD-4 (Tekrarlanma periyodu 43 Yıl)	0.08

Yönetmelik uyarınca seçilen 11 farklı gerçek deprem kaydı, çalışma alanı için sistemden elde edilen maksimum ivme değerlerine göre DeepSoil analiz programında DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketi seviyesine göre bire bir ölçeklendirilerek her bir kuyunun tabanında tanımlanmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Çalışma alanı ivmelerine göre ölçeklendirilmiş gerçek deprem kayıtları a)DD-1 deprem yer hareketi seviyesi, b)DD-2 deprem yer hareketi seviyesi, c)DD-3 deprem yer hareketi seviyesi, d)DD-4 deprem yer hareketi seviyesi.

### 2.2.1 Sıvılaşma Analizi Örnek Uygulaması

Bir zemin profilinde aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi ile birlikte zeminde sıvılaşma potansiyelinin artmasına yol açabilmektedir. DeepSoil programında sıvılaşma analizi, Doğrusal olmayan analiz yöntemiyle General Quadratic Model (GQ/H) formülasyonu kullanılmıştır.

Program kapsamında zemin çökeline meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının yayılması ve

tekrardan dağılması, zeminin iç ve dış tabakalarındaki suyun akış hızı ve belirli bir süre zarfındaki boşluk suyu basıncı oranına bağlı olarak analizler gerçekleştirilmektedir. Aşırı boşluk suyu basıncı oranı 1 değerine ulaştığında veya yaklaştığında, başka bir ifade ile efektif gerilmenin sıfır olması şartıyla, bu tip zemin tabakalarında sıvılaşma riski “vardır” veya “yüksek” olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle, inceleme alanında yer alan geoteknik veriler kullanılarak, temsili zemin profilleri oluşturulmuştur. Temsili zemin profillerinin oluşturulması aşamasında, inceleme alanı için analizlerde Darendeli (2001) dinamik davranış modeli seçilmiştir.

Bunun yanı sıra, doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılacak olan aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modellerinden Dobry ve Matasovic (1993) ve Matasovic ve Vucetic (1995) seçilerek bu modellere ait parametreler hesaplanmıştır.

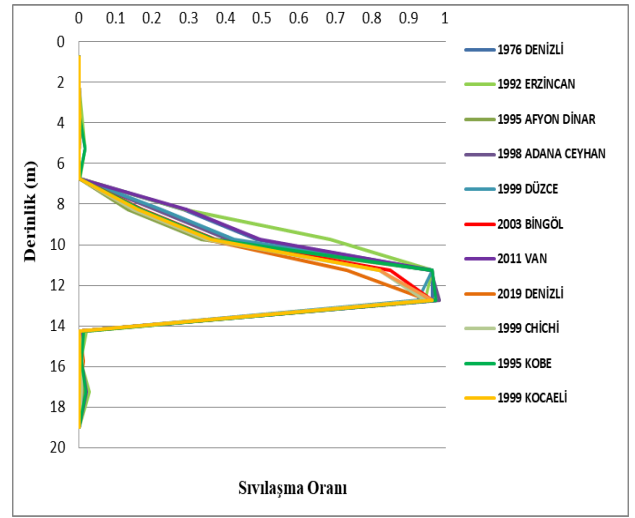
Oluşturulan temsili zemin profilleri ve hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı oluşum parametreleri DEEPSOİL programına aktarıldıktan sonra, analizlerde kullanılacak olan anakaya girdi hareketi seçilmiştir.

ZD yerel zemin sınıfına sahip çalışma bölgesinin zemin davranış analizleri için bir boyutlu olarak; yönetmeliğe göre sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılmayacağı için sıvılaşma analizleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada anakaya girdi hareketi olarak Çizelge 3'deki deprem kayıtları, Çizelge 4'deki ivme değerlerine göre ölçeklendirilerek 11 adet ivme kaydı kullanılmıştır.

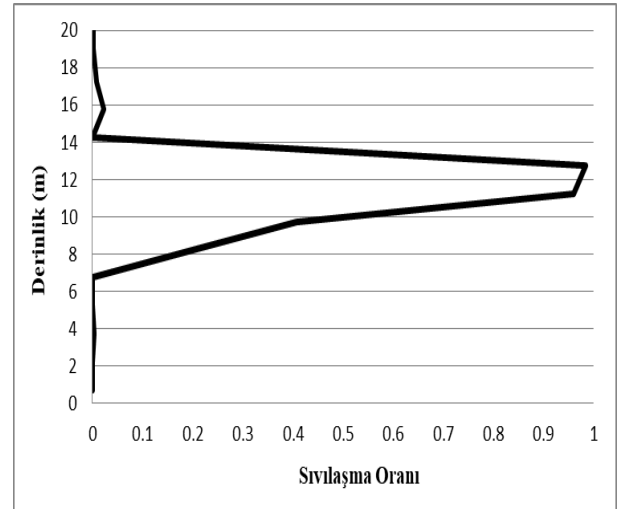
Çalışmada kullanılan tüm sondaj profillerinin zemin mühendislik özellikleri ve parametreleri analiz programına girilerek doğrusal olmayan analiz yöntemi ile boşluk suyu basıncına bağlı olarak sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Sıvılaşma analizi için, örnek olarak SK-62 zemin profilinin analizi yapılmış ve analizlere bağlı olarak program aşağıda gösterilen örnek sonucu vermiştir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.

Yukarıda 11 deprem kaydı için verilen sıvılaşma oranı değerlerinin ortalaması alınarak derinlikle değişimi Şekil 5'de sunulmuştur. Şekil 6'ya baktığımızda örnek SK-62 zemin profiline uygulanan ivmenin, zemin profili boyunca sıvılaşma riskini göstermektedir.



**Şekil 6.** Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun ortalama sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.

Çalışma alanının genel zemin profili de dikkate alındığında 20 m derinlikten itibaren kil zeminde sıvılaşma oranı 0 iken, kumlu zemine doğru (8.00-14.00 m arası) yukarı doğru hareketi esnasında sıvılaşma riski oranı artmış ve (11.00-13.00 m arası) bu oran maksimum %96 olarak tespit edilmiştir.

Genel zemin profiline göre 10.00 m'den itibaren ana kaya deprem ivmesinin tekrar kil zemin tabakasına girmesi sonucunda sıvılaşma riski oranında ani bir azalış görülerek %1 sıvılaşma oranına düştüğü görülmektedir.

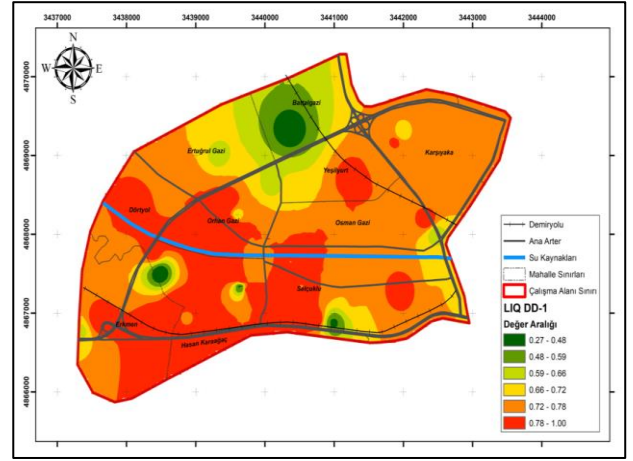
### 3. Bulgular

Bir boyutlu DeepSoil analiz programında, yönetmeliğin ön gördüğü şekilde zaman alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için çalışma alanının zemin tipine göre aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri kullanılarak elde edilen sıvılaşma analizi haritaları Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Deprem yer hareketlerine göre DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 şeklinde ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Aşırı boşluk suyu basıncı oranı 1 değerine ulaştığında veya yaklaştığında, başka bir ifade ile efektif gerilmenin sıfır olması şartıyla, bu tip zemin tabakalarında sıvılaşma riski "vardır" veya "yüksek" olarak ifade edilmektedir. Çalışma alanı için analizleri yapılan bölgelerde elde edilen sıvılaşma değer aralıkları da Çizelge 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir.

#### 3.1. Deprem Yer Hareketi DD-1'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları

DD-1 doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 7 incelendiğinde en küçük sıvılaşma riski 0.48 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Yeşilyurt, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sıvılaşma riski en yüksek bölgeler olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Deprem yer hareketi DD-1'e göre sıvılaşma analiz haritası.

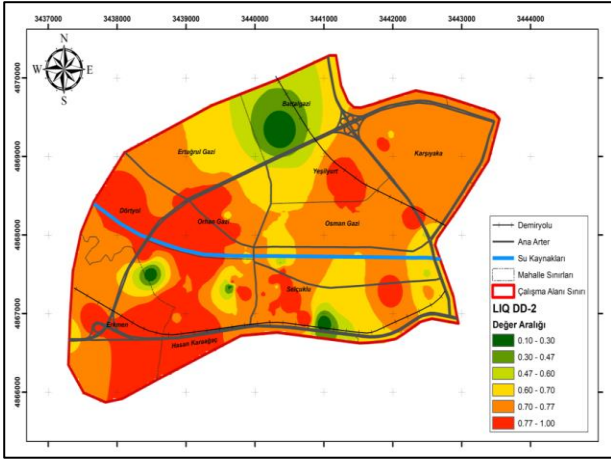
Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değer aralığında sıvılaşma riskine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Deprem yer hareketi DD-1'e göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.

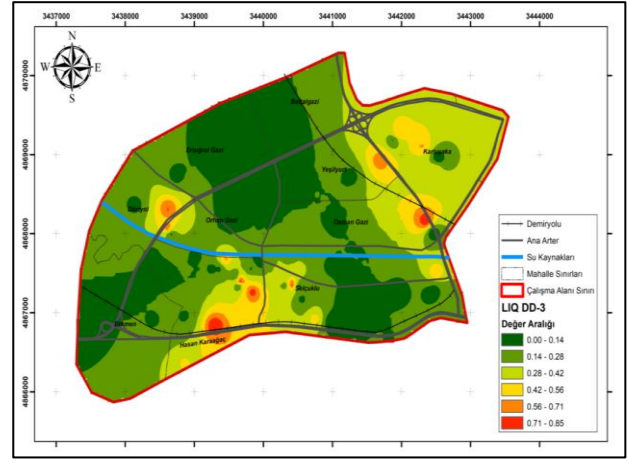
Mahalle Adı	Sıvılaşma Oranı
Erkmen	0.78 - 1.00
Hasan Karaağaç	0.78 - 1.00
Selçuklu	0.72 - 0.78
Osman Gazi	0.72 - 0.78
Karşıyaka	0.72 - 0.78
Yeşilyurt	0.78 - 1.00
Battal Gazi	0.48 - 0.59
Ertuğrul Gazi	0.56 - 0.72
Orhan Gazi	0.78 - 1.00
Dört Yol	0.78 - 1.00

#### 3.2. Deprem Yer Hareketi DD-2'ye Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları

DD-2 doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 8 incelendiğinde en küçük sıvılaşma riski 0.30 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sıvılaşma riski en yüksek bölgeler olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Deprem yer hareketi DD-2'ye göre sıvılaşma analiz haritası.



Şekil 9. Deprem yer hareketi DD-3'e göre sıvılaşma analiz haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değer aralığında sıvılaşma riskine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Deprem yer hareketi DD-2'ye göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.

Mahalle Adı	Sıvılaşma Oranı
Erkmen	0.77 - 1.00
Hasan Karaağaç	0.77 - 1.00
Selçuklu	0.60 - 0.70
Osman Gazi	0.70 - 0.77
Karşıyaka	0.70 - 0.77
Yeşilyurt	0.70 - 0.77
Battal Gazi	0.30 - 0.47
Ertuğrul Gazi	0.70 - 0.77
Orhan Gazi	0.77 - 1.00
Dört Yol	0.77 - 1.00

### 3.3. Deprem Yer Hareketi DD-3'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları

DD-3 doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 9 incelendiğinde en küçük sıvılaşma riski 0.00 değeri ile Battal Gazi, Ertuğrul Gazi ve Orhan Gazi mahallesinde görülürken, Hasan Karaağaç mahallesinde ise 0.56 değeri belirlenmiştir. Yüzde olarak bu bölgenin %56 sıvılaşma riski vardır diyebiliriz.

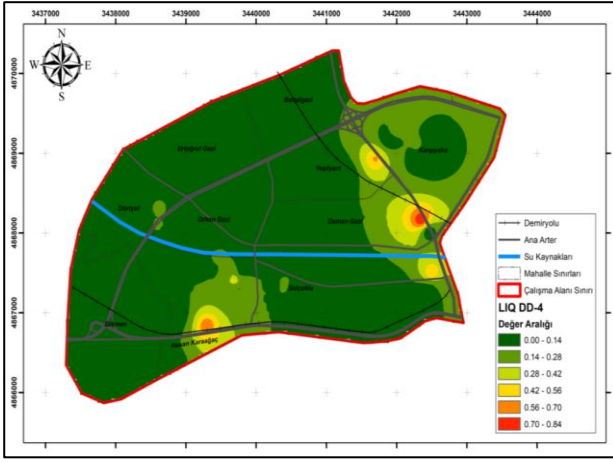
Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değer aralığında sıvılaşma riskine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Deprem yer hareketi DD-3'e göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.

Mahalle Adı	Sıvılaşma Oranı
Erkmen	0.14 - 0.28
Hasan Karaağaç	0.42 - 0.56
Selçuklu	0.14 - 0.28
Osman Gazi	0.14 - 0.28
Karşıyaka	0.28 - 0.42
Yeşilyurt	0.14 - 0.28
Battal Gazi	0.00 - 0.14
Ertuğrul Gazi	0.00 - 0.14
Orhan Gazi	0.00 - 0.14
Dört Yol	0.14 - 0.28

### 3.4. Deprem Yer Hareketi DD-4'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları

DD-4 doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 10 incelendiğinde en küçük sıvılaşma riski 0.00 ile Erkmen, Selçuklu, Yeşilyurt, Battal Gazi, Ertuğrul Gazi, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde görülürken, Hasan Karaağaç, Osman Gazi ve Karşıyaka mahallelerinde ise 0.28 değeri belirlenmiştir. Yüzde olarak oran verecek olursak bu üç bölgenin %28 sıvılaşma riski vardır diyebiliriz.



Şekil 10. Deprem yer hareketi DD-4'e göre sıvılaşma analiz haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değer aralığında sıvılaşma riskine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Deprem yer hareketi DD-4'e göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.

Mahalle Adı	Sıvılaşma Oranı
Erkmen	0.00 - 0.14
Hasan Karaağaç	0.14 - 0.28
Selçuklu	0.00 - 0.14
Osman Gazi	0.14 - 0.28
Karşıyaka	0.14 - 0.28
Yeşilyurt	0.00 - 0.14
Battal Gazi	0.00 - 0.14
Ertuğrul Gazi	0.00 - 0.14
Orhan Gazi	0.00 - 0.14
Dört Yol	0.00 - 0.14

İnceleme alanında kum, silt ve kil gibi zeminleri bünyesinde içeren tabakaların, meydana gelebilecek deprem anında sıvılaşma riskini belirleyebilmek amacıyla arazi deneyleri ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen zemin parametreleri ile ve sismik verilerin birlikte kullanıldığı birçok kriter, deneysel formüller, ampirik bağıntılar ve analiz programları dikkate alınmıştır. Bütün bu kriterlerin yanı sıra inceleme alanında yeraltı su seviyesinin yüksek olması, zemin yapısının alüvyon olması ve aktif fayların bulunması sıvılaşma

riski dikkate alınarak bir boyutlu dinamik analiz programı kullanılarak sıvılaşma risk analizi yapılmıştır.

Zemin tabakasının sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar düşük kohezyonlu ya da kohezyonsuz zeminlerin deprem etkisi altında boşluk suyu basıncı artışına paralel kayma mukavemeti ve rijitliğinde ciddi oranda azalış olduğu gözlenmektedir. Deprem yer hareket düzeylerinin hepsi için sıvılaşma analizleri yapılmış fakat yapı tasarımlarında DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre de inceleme bölgesinin genelinde DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketlerine göre yüksek sıvılaşma riskinin olduğu anlaşılmıştır. İnceleme alanının, aktif fayların meydana getirebileceği deprem etkisi altında bulunduğu göz önüne alınır sıvılaşmaya bağlı oturmaların olması kaçınılmaz bir gerçektir. Bu tip oturmaların yapılar ciddi hasarlar verebilecek düzeyde olması sebebiyle, tasarlanan yapının temel zemininde iyileştirme yapılması gerekmektedir. Deprem sarsıntısı esnasında yanal zemin direncinin de ciddi oranda azalacağı dikkate alınmalıdır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

- Deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sıvılaşma riski 0.48 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Yeşilyurt, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sıvılaşma riski en yüksek bölgeler olarak tespit edilmiştir.
- Deprem yer hareketi düzeyi (DD-2) doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sıvılaşma riski 0.30 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sıvılaşma riski en yüksek bölgeler olarak tespit edilmiştir.



- Deprem yer hareketi düzeyi (DD-3) doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sıvılaşma riski 0.00 değeri ile Battal Gazi, Ertuğrul Gazi ve Orhan Gazi mahallesinde görülürken, Hasan Karaağaç mahallesinde ise 0.56 olarak tespit edilmiştir.
- Deprem yer hareketi düzeyi (DD-4) doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sıvılaşma riski 0.00 ile Erkmen, Selçuklu, Yeşilyurt, Battal Gazi, Ertuğrul Gazi, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde görülürken, Hasan Karaağaç, Osman Gazi ve Karşıyaka mahallelerinde ise 0.28 olarak tespit edilmiştir.
- Sıvılaşma analizi sonuçlarına göre inceleme alanı için önerilen zemin iyileştirme metodlarından Jet Grout, Deep Mixing vb. yöntemler kullanılarak granüler zeminlerin başlangıçtaki boşluk oranları ve sıkışabilirliklerin azaltılması bunun yanı sıra içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sıvılaşmaya karşı olan dirençlerin artırılması ile meydana gelebilecek olumsuzlukların önüne geçilebileceği düşünülmektedir.
- İnceleme alanının alüvyon yapısı ve yeraltı su seviyesinin yüksek olması, deprem etkisiyle birlikte yer hareketlerini önemli ölçüde etkileyebileceği gözlenmiştir. Bu nedenle önemli yapılar için sahaya özel bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir.
- Elde edilen mikrobölgeleme haritaları, mevcut yapıların depreme dayanıklılığının değerlendirilmesinde ve yeni inşa edilmesi planlanan yapıların tasarımında faydalı olacağı düşünülmektedir. Daha güvenli yapılaşma için aynı alanda yapılan zemin etüt sonuçlarından elde edilen zemin profilinin de göz ardı edilemeyeceği açıkça görülmektedir.

- İnceleme alanında yeraltı su seviyesinin yüksek olması, zemin profili ve deprem etkisinden dolayı sıvılaşma riskini artırmaktadır. Önemli parametrelerden birisi olan yeraltı su seviyesinin drenaj yapılarıyla düşürülmesi ve sonrasında derin sıkıştırma yöntemleri ile iyileştirme yapılmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.
- Önerilen metodların uygulamada ekonomik ve güvenli sonuçların elde edilmesinde yararlı olacağı beklenmektedir. Bu metodların sıvılaşma potansiyeli olan zemin profillerinde zemin sıvılaşma potansiyelini azaltıcı ve sıvılaşmayı önleyici yöntemler olarak kullanılabileceği görülmüştür.

## 5. Kaynaklar

- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A., Kozacı, Ö., 2006. 3 Şubat 2002 Çay Depreminde Meydana Gelen Yüzey Kırığı Üzerinde Palaeosismolojik Araştırmalar, *Yerbilimleri*, **27**, 41-52.
- Ansal, A. ve Tönük, G., 2007. Source and Site Effects for Microzonation, Theme Lecture. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, **4**, 73-92.
- Bayrakçı, E., Pekkan, E., Avdan, U., Güney, Y., 2013. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sondaj Derinliğinin Sıvılaşma Analizine Etkisinin Belirlenmesi (Eskişehir Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**, 50-60.
- Bray, J., Cubrinovski, M., Zupan, J. and Taylor, M., 2014. Liquefaction Effects on Buildings In The Central Business District of Christchurch, *Earthquake Spectra*, **30**, 85-109.
- Civelekler, E., Okur, D. V., Afacan, K. B., 2018. Eşdeğer Analiz Yöntemi İle Belirlenen Zeminin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği, VII. Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu, Eskişehir, 1-10.
- Darendeli, M. B., 2001. Development of A New Family of Normalized Modulus Reduction and Material



- Damping Curves. Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- Değerliyurt, M., 2014. Settlement Suitability Analysis of Local Ground Characteristics In Iskenderun: A Case Study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **120**, 637-644.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadiriöğlü, F. T., Başarır, Baştürk, N., 2018. Seismotectonic Database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16**, 3277-3316.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., 2003. Surface Faulting Associated with The Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, **74**, 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., 2018. Active Fault Database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16**, 3229-3275.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., and Elmacı, H., 2011. Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250000), Afyon (NJ 36-5) Quadrangle. General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, **7**, 1.
- Erişen, B., 1996. Afyon Bölgesi Ömer-Gecek Jeotermal Alanında Yapılan AF-1 ve AF-3 Sondajlarına İlişkin Kuyu Bitirme Raporu, *MTA Dergisi Rapor, Ankara, No:5623*, **96**.
- İyisan, R., 1996. Relationship Between Shear Wave Velocity and Penetration Test Results in Soils. *Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, **7**, 371-374.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27**, 1-15.
- Koçyigit, A., Özacar, A., 2003. Extensional Neotectonic Regime Through The NE Edge of Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **12**, 67-90.
- Koçyiğit, A., Unay, E., Saraç, G., 2000. Epipodic Graben Formation and Extensional Neotectonic Regime In West Central Anatolia and Isparta Angle: A Case Study In The Akşehir Afyon Graben, Turkey. *Journal Geological Society of London*, **173**, 405-421.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 254-303.
- Matasovic, N., Dobry, R., 1993. Seismic Response of Composite Horizontally-layered Soil Deposits, Ph.D. Thesis, University of California, Los Angeles, 450-452.
- Matasovic, N., Vucetic, M., 1995. Generalized Cyclic Degradation-Pore Pressure Generation Model for Clays. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **121**, 1, 33-42.
- Özden, S., Kavak, K. Ş., Koçbulut, F., Över, S., Temiz, H., 2002. 2002.02.03 Çay (Afyon) Earthquakes. *Geological Bulletin of Turkey*, **45**, 49-56.
- Özkan M.Y., 2017. Zemin Dinamiğine Giriş, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 315-316.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., 2017. Geologic, Geomorphologic and Geodetic Analyses of Surface Deformations Observed in Bolvadin (Afyon-Akşehir Graben, Afyon). *Geological Bulletin of Turkey*, **60**, 169-188.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), 2020.
- Saita, J., Nakamura, Y. and Sato, T., 2012. Liquefaction Caused by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and the Result of the Prior Microtremor Measurement. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Portugal.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **17**, 405-418.
- Taşdelen, S., Çelik, S.B., Akyol, E., 2016. Irgılı Beldesi (Denizli) Yerleşim Alanının Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **22**, 213-219.
- Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H., Uysal, M., 2018. Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in The Western Part of The Sultandağı Fault In Turkey. *Annals of Geophysics*, **61**, 333-335.
- Toprak, S. and Jinguuji, M., 2006. A New Test for Liquefaction Prediction: Electrical Resistivity Vibration

Penetration Test, Eighth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, San Francisco, California.

**İnternet kaynakları**

1-<http://www.afad.gov.tr>, (15.07.2020)

Toprak, S., Jinguuji, M., Manav, Y. and Manav, R., 2016. Soil Liquefaction At Hinode Area During 2011 Great East Japan Earthquakes, 4th International Conference on New Developments In Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, TRNC,535-541, June 2-4, Near East University, Nicosia.

2-<http://www.koeri.boun.edu.tr>, (29.09.2020)

3-<https://ngawest2.berkeley.edu>, (30.10.2020)

Tunçel, A., Özdağ, Ö.C., Pamuk, E., Akgün, M., 2019. Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North). *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **34**, 43-52.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018. Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazetesi, Tarih: 18 Mart 2018.

Ulutürk, Y., 2009. Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Dolayının Jeolojisi ve Suların Kökenselel Yorumu, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 179.

Yamaguchi, A., Mori, T., Kazama, M. and Yoshida, N., 2012. Liquefaction in Tohoku District During The 2011 Off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Soils Foundation*, **52**, 811-829.

Yasuda, S., Harada, K., Ishikawa, K. and Kanemaru, Y., 2012. Characteristics of Liquefaction in Tokyo Bay Area by The 2011 Great East Japan Earthquake, *Soils Foundation*, **52**, 793-810.

Yıldız, A., Dumlupınar, İ., Bağcı, M., Ulutürk, Y., Başaran, C., Erdoğan, E., 2012. Afyonkarahisar ve Çevresinin Depremselliği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **12**, 2, 1-7.

Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç., Selçuk, L., 2003. Could the Coseismic Fractures of a Lake Ice Reflect The Earthquake Mechanism? (Afyon Earthquakes of 2 February 2002, Central Anatolia, Turkey), *Geodinamica Acta*, **16**, 83-87.

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045701 (922-926)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045701 (922-926)

DOI: 10.35414/akufemubid.862875

Araştırma Makalesi / Research Article

## Elastin Çözeltilerinin Viskoelastik Karakterizasyonları

**Guler Bengusu TEZEL***Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gököy Yerleşkesi, 14030, Bolu*Sorumlu yazar e-posta: [gulerbengusutezel@ibu.edu.tr](mailto:gulerbengusutezel@ibu.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0671-208X>

Geliş Tarihi: 17.01.2021

Kabul Tarihi: 31.07.2021

### Öz

**Anahtar kelimeler**

Elastin; Reoloji;

Doğrusal

viskoelastiklik;

Doğrusal olmayan

viskoelastiklik

Bu çalışmada, izole ağırlıkça %0,1-%3 (w/w) elastin sulu çözeltilerinin viskoelastik karakterizasyonları incelenmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan viskoelastik testleri reometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düşük derişimlerde, Newtonumsu akış özelliği gösterirken, özellikle %2, %2,5 ve de %3' de artan elastik davranışları ile Newtonumsu olmayan viskoelastik akış özellikleri hakim olmaktadır. Bu kapsamda, eşik akış streslerine de yüksek derişimlerde rastlanmaktadır. Frekans aralığı 0.1-10 s<sup>-1</sup> de tutulan, elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') derişimlerinin frekans derişimi ile doğrusal davrandığı gözlenmiştir. Artan derişimlerle, G' modülün G'' modülüne göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, %3' lük elastin çözeltisinin dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak taramalı elektron mikroskopuyla, hidrojel yapılarının oluşumu gözlenmiştir.

## Viscoelastic Characterizations of Elastin Solutions

### Abstract

**Keywords**

Elastin; Rheology;

Linear viscoelasticity;

Non-linear

viscoelasticity

In this study, viscoelastic characterizations of isolated 0.1%-3% (w/w) elastin solutions were investigated. Linear and non-linear viscoelastic test were performed by using rheometer. At low concentrations, solutions behaves Newtonian flow, especially for 2%, 2.5%, 3% of elastin solutions have non-Newtonian viscoelastic flow properties. In this context, yield stress are also observed at high concentration values. It is indicated that elastic modulus (G') and viscous modulus (G'') change linearly within the frequency range of 0.1- 10 s<sup>-1</sup>. G' and G'' are found to be increased with increased concentration of elastin. In addition, 3% of elastin solutions using freeze dried method were analyzed with scanning electron microscopy, and hydrogelling formations are observed.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Elastin, son dönemde kozmetik dünyasında, şampuan, yaşlandırma karşıtı kremlerin yapısında sıklıkla kullanılan, inek, sığır kaslarından ya da çeşitli rekombinant gen teknikleri kullanılarak izole edilebilen bir proteindir (Kristensen ve Karsdal, 2016). Omurgalı dokularının ana yapısını oluşturan cildin, ciğerlerin, birçok kasın elastikliğini sağlayan fibröz proteinlerinden olan elastin proteini (EL) günümüzde izole ya da karışım hallerinde doku mühendisliği çalışmalarında oldukça yoğun ilgi görmektedir (We et al. 2020, Nieve et al. 2016). EL, kolajenden sonra cildin yapısında en fazla bulunan ve de cildin karakteristik esnekliğine önemli ölçüde katkı sağlayan proteindir (Mithieux et al. 2005,

Saxene et al. 2004). EL, sağlıklı bireylerde, tahmini olarak 70 yıllık bir yarılanma ömrüne (Patterson et al. 2002) ve de 300- 600 kPa arasında derişen mukavemete, 100-220% arasında derişen maksimum uzama değerlerine sahip olan önemli bir protein grubudur (Fung 1993). Oldukça yüksek geri dönme katsayılarına sahip elastin moleküllerinin davranışları rastgele zincir modeli ile açıklanabilmekte ve elastinin biyomekanik olarak kauçuk gibi davranabildiği gözlenmektedir (Saxene et al. 2004).

Malzeme ve doku bilimi açısından, biyo-baskılama yöntemiyle elastin üretimi ve de canlı dokuya nakli oldukça ilgi çeken çalışmalar arasında (An et al. 2014, Cung et al. 2015, Nuutila et al. 2015) yer alsa da, bunun yanı sıra, çözelti halindeki viskoelastik yapısının araştırılmasına dair az sayıda reolojik çalışma bulunmaktadır. Reolojik çalışmalarda izole elastinden çok karışım halinde elastin benzeri polipeptid (ELP) çözeltileri ve hidrojelleri kullanılmıştır.

Xu ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada sistein aminoasiti içeren elastinimsi polipeptid (Cys-ELP) çözeltisi ve hidrojeli kullanılmıştır. Cys-ELP çözeltileri düşük kayma hızlarında yüksek viskozite değerlerine sahiptir. Bu tür yüksek viskozite davranışlarının ara yüzey çarpaz bağlanma yapılarından dolayı kaynaklandığını ileri sürülmektedir. Öte yandan, yüksek kayma hızlarında ise bu tür yapılaşmaların kırıldığını ve de viskozitenin azaldığı gözlenmiştir. Sugawara-Narutaki ve diğ. (2019) ELP' ler üzerine yaptıkları çalışmada, çok düşük konsantrasyondaki nano dispersiyonlarında dahil elastik davranışların viskoz davranışlara göre daha hakim olduğu tespit edilerek, bunun sebebi nano küresel fiber parçacıkların uzunluk ve çap oranının yüksek olmasından kaynaklanmasına bağlanmıştır. Otto (2015), yaptığı tez çalışmasında, ELP çözeltilerinin reolojik davranışlarının 20-45 °C sıcaklık aralığında değişimlerine bakmışlardır. Artan sıcaklıkla elastik davranışlarının azaldığını öte yandan viskoz davranışlarının arttığı rapor edilmiştir. Cipriani ve diğ. (2019), elastinimsi biyoaktif hidrojeli üzerinde yaptıkları reolojik çalışmalarda  $G'$  (~960 Pa) değerlerinin  $G''$  (~28 Pa) değerlerine göre oldukça yüksek olduğu tespit edilerek, kemik doku yenilenmesinde önemli rol aldığı gözlenmiştir. Contessotto ve diğ. (2021), yaptığı güncel çalışmada, elastinimsi hidrojelin zamana bağlı olarak 4 °C' de ( $G'$  ~50 Pa) düşük jelimsi özellik gösterirken, 37 °C' de artan elastik modül değerleri ile ( $G'$  ~750 Pa) jelimsi özelliklerinin hızlı bir şekilde artmış olduğu gözlenmiştir. Bu yüksek jelleşebilmenin koyun kalp dokusunda hızlı doku yenilenmesine ve mukavemet artışı sağladığını bulmuşlardır.

Sonuç olarak, izole elastin ya da elastin polipeptidin proteinimsi yapısı, yüksek mukavemetik özellikleri, biyolojik uyumlu malzeme olması yenilik ve de çığır

açıcı malzeme olarak görülmektedir. Güncel literatür çalışmalarında elde edilen bilgiler ışığında, elastin çözeltilerinin mekanik özelliklerinin araştırılmasında reoloji önemli bir araçtır. Bu kapsamda, bu çalışmada izole elastin proteinin doğrusal ve doğrusal olmayan viskoelastik testleri yapılmıştır. Burdan elde edilecek sonuçların, gelecekteki elastin içerekl malzeme tasarımlarında oldukça önem arz edeceği beklenmektedir.

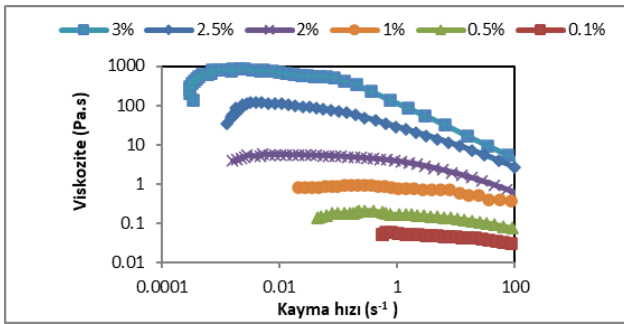
## **2. Materyal ve Metot**

Elastin (Sigma Aldrich, 9007-58-03, soluble, lyophilized powder form) toz hali suda 25 °C de 48 saat karıştırıldıktan sonra, ağırlıkça (w/w) %0.1-%3.0 elastin çözeltileri hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan viskoelastik malzemelerin dinamik mekanik karakterizasyonları, dinamik kayma hızı ölçümleri ve düşük salınımlı osilasyon testleri stres kontrollü cone-plate reometresi (Malvern Kinexus Pro, UK) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cone aparatının çapı 40 mm, açısı ise 4° olarak seçilmiştir. Ayrıca cone ve plate aparatları arasındaki boşluk 0.15 mm olarak ayarlanmıştır. Reometrenin sıcaklık probu hassasiyeti  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  dir. Ayrıca toz ve yüksek konsantrasyondaki (%3.0 w/w) elastinin taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile görüntülerine bakılmıştır. SEM örneklerinin hazırlık aşamasında, çözeltiler 24 saat buzdolabında bekletildikten sonra, dondurarak kurutma işlemi uygulanmıştır. Tamamen suyundan uzaklaştığından emin olduktan sonra, numuneler altın kaplama Ion-coater KIC-IA COXEM (Daejeon, South Korea) kullanılarak SEM (15 kV lik JSM 6480-JEOL) görüntüleri elde edilmiştir.

## **3. Bulgular**

Ağırlıkça farklı %0.1-%3.0 oranlarında hazırlanmış sulu elastin çözeltilerinin doğrusal ve de doğrusal olmayan viskoelastik analizleri yapılmıştır. Farklı derişimlerdeki elastin çözeltilerinin kayma streslerinin kayma hızına göre değişimini veren doğrusal olmayan viskoelastik test sonuçları Şekil 1 ve 2' de verilmiştir. Konsantrasyonun artmasıyla, Şekil 1' den görülebileceği üzere, ölçülebilen minimum kayma hızları artış göstermiştir. Bu durum, reometrenin tork limitasyonlarından

kaynaklanmaktadır. Örneğin, % 0.1 (w/w) elastin çözelti derişiminde yaklaşık olarak  $0.5 \text{ s}^{-1}$  kayma hızının altında, tekrar üretilebilen data sayısı az olduğundan  $0.5-100 \text{ s}^{-1}$  aralığında çalışılmıştır. Ayrıca artan konsantrasyonla, stres ve kayma hızı arasındaki doğrusal olmayan davranış artış göstermektedir. Bu durum, elde edilen yüksek derişimdeki elastin çözeltilerinin Newtonumsu akış olmayan davranışından kaynaklanmaktadır. Buna benzer bir durum Yapıcı ve diğ. (2014) çalışmasında, yüksek derişimde suspense olan nano-akışkanın davranışına benzemektedir. Özellikle %2.5 ve %3.0 elastin derişimleri için, kayma hızları sıfıra yaklaşırken, akış için gerekli olan minimum eşik stres değerlerine sahip oldukları Şekil 1’de görülmektedir.

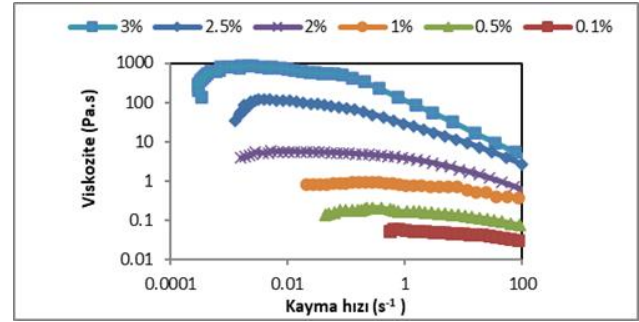


Şekil 1. Farklı derişimlerdeki elastin çözeltilerinin kayma streslerinin kayma hızına göre değişimi

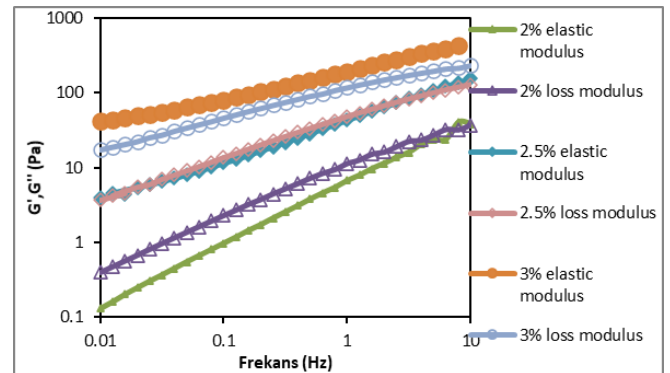
Şekil 2’de elastin viskozitesinin kayma hızı ile olan değişimi verilmiştir. Düşük derişimlerdeki elastin beklenildiği üzere daha düşük viskozitedir. Kayma hızı arttıkça, kayma incelmeye gösteren elastin çift sarmal konformasyonu ve iç içe geçmiş (entagle) molekül etkileşimleri, artan kayma hızı ile bozulmaktadır. Artan derişimlerde, sıfır kayma hızı bölgelerinde, ani viskozite artışına rastlanması moleküler yeniden düzenlemeden kaynaklanabileceği gibi, mevcut konvansiyonel reometrelerin torqu limitasyonlarından da kaynaklanmaktadır (Tezel 2017).

Elastinin viskoelastik özelliklerini incelemek için elastik ve viskoz (loss) modüllerinin frekansla değişimleri Şekil 3’de incelenmiştir. Bu tür reolojik testler doğrusal reolojik testler olarak bilinmekte olup, öncesinde örnek yapısına zarar vermeyecek olan, güvenli liner viskoelastik bölge taraması yapılmaktadır (Yapıcı ve diğ. 2014, Tezel 2017) Bu çalışmada bu bölge %0.01-%0,5 gerginlik (strain) aralığında tespit edilmiştir. Bu çalışmada %0,3 gerginlik değerinde doğrusal viskoelastik testler gerçekleştirilmiştir.

Elastik ve viskoz modüllerinin frekansla değişimi artan ve de doğrusal şeklindedir. Bu tür davranışlar tipik jel davranışları olarak yorumlanabilmektedir. %2.0 elastin çözeltisinde viskoz özellikler hakimken, %2.5 oranında çözeltide ise elastiklikle dengeli seyreden viskoz özellikler hakimdir. %3’lük elastin çözeltisinde ise elastik özellikler daha ön plana çıkmaktadır. Bu durumun artan elastin derişimle ortamda daha fazla artan elastin molekülleri arasındaki Van der Waals ve hidrojen bağları gibi ikincil moleküler etkileşimlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, elastin derişiminin yükselmesi ile çözeltilerdeki kompleks etkileşimler artmakta olup, elastik modül değerlerinde de Şekil 3’deki gibi artışlar görülmektedir.

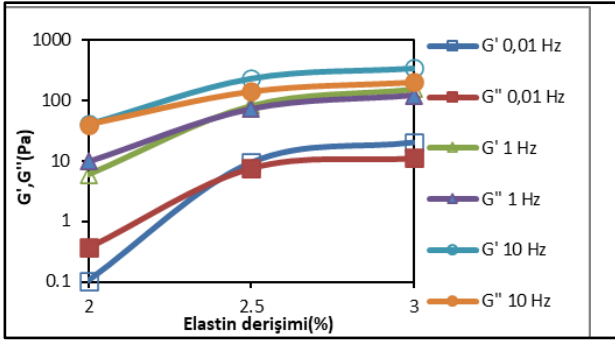


Şekil 2. Elastin viskozitesinin kayma hızı ile değişimi



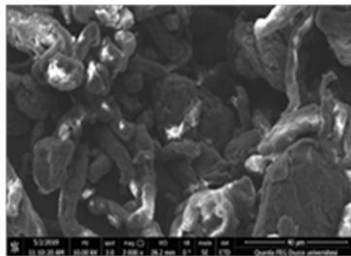
Şekil 3. Elastinin elastik ve viskoz modüllerinin frekansla değişimi

Doğrusal viskoelastik bölgesinde farklı frekans değerlerinde incelenen elastik ve viskoz modüllerin derişime bağlı değişimleri Şekil 4’de verilmiştir. Artan derişim değerleri ile artan elastik ve viskoz değerleri Şekil 3 ile de uyumludur. Yüksek frekans değerlerinde %2.5’lik ve %3.0’lık elastin viskoz davranışlara sahip olabilmektedir.

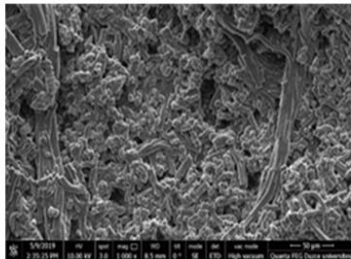


**Şekil 4.** Elastik ve viskoz modüllerinin elastin derişimi ile değişimi

Şekil 5' de elastin toz halinin ve de diğer derişimlere göre yüksek G' değerine sahip olan %3 lük jel halinin x1000 büyütme ile SEM görüntüleri verilmiştir. Jel halinde toza göre yapı daha sıkı ve de daha yoğun bir durumdadır. Jel halinde yapı globuler bir yapıdan daha çubuk yapısına dönmektedir. Bu durum daha kompleks olan elastin moleküllerinin arasına giren suyun yapıyı şişirip, hidrojele döndürmesinden kaynaklanmaktadır. Morfolojik yapıda gözlenen, sık yapı aynı zamanda güçlü jel dayanımı olarak da yorumlanabilmektedir (Tezel ve diğ. 2019).



(a) Toz elastin



(b) %3 lük elastin jel

**Şekil 5.** (a) Elastin (toz) SEM görüntüsü (b) %3 Elastin jelinin SEM görüntüsü

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı derişimlerde hazırlanan elastin reolojisi incelenmiştir. Elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük derişim değerlerinde elastin Newtonumsu akış özelliği göstermektedir. Öte yandan, yüksek derişim değerlerinde viskozite değerleri artış göstermiş ve de artan kayma hızları ile azalmıştır.
- Düşük derişimlerde eşik akış streslerine rastlanmamıştır.
- Doğrusal viskoelastik testler sonucunda özellikle yüksek derişimlerde elastik davranışların, viskoz davranışlara göre daha fazla artış göstermiştir.
- Yüksek elastik modülüne sahip olan %3' lük elastinin SEM görüntülerinde çubuk yapısında şişen hidrojelleyen yapılar gözlenmiş ve de reolojik davranışlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.
- Özellikle doku çalışmalarında, çığır açıcı malzeme olarak görülen elastinin gelecekte karışım halindeki reolojik davranışlarının incelenmesi planlanmaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- An B., Kaplan D. L., Brodsky B. 2014 Engineered recombinant bacterial collagen as an alternative collagen-based biomaterial for tissue engineering. *Frontiers in Chemistry*, **2** (40), 1–5.
- Chang, D. T., Chai, R., DiMarco, R., Heilshorn, S. C., Cheng, A. G. 2015 Protein-engineered hydrogel encapsulation for 3-D culture of murine cochlea. *Otology & Neurotology*, **36** (3), 531–538.
- Cipriani F., Palao B. A., Gonzalez F., Castrillo, V. A., Hernandez J.A., Alonso M., Barcia I.A. A., Sanchez A., Diaz V.G., Pena M.L, and Cabello, J., 2019. An elastin-like recombinamer-based bioactive hydrogel embedded with mesenchymal stromal cells as an injectable scaffold for osteochondral repair, *Regenerative Biomaterials*, **6**, 335-345.
- Contessotto P., Orbanić D., Da Costa M., Jin C., Owens, P., Chantepie S., Chinello C., Newell J., Magni F., Papy-Garcia D., Karlsson Niclas G., Kilcoyne M., Dockery P., Rodríguez-Cabello J. C., Pandit A. 2021. Elastin-like recombinamers-based hydrogel modulates post-ischemic remodeling in a non-transmural myocar, *Science Translational Medicine*, **13**, 53-80.
- Fung, Y.-C. 1993. *Bioviscoelastic Solids*. In *Biomechanics*; Springer: New York, NY, 1993; 242–320.

- Kristensen, J.H. Karsdal, M.A. 2016. Biochemistry of Collagens, Laminins and Elastin Structure, Function and Biomarkers, Structure, Function and Biomarkers, Academic Press, New York, 197-201.
- Miranda-Nieves D., Chaikof L.E., 2017. Collagen and Elastin Biomaterials for the Fabrication of Engineered Living Tissues, *ACS Biomaterial Science Engineering*, 2017, **3**,694–711.
- Mithieux S. M., Weiss A. S., 2005. Elastin. *Adv. Protein Chemistry*, **70**, 437–461.
- Nuutila K., Peura M., Suomela S., Hukkanen M., Siltanen A., Harjula A., Vuola, J., Kankuri E. 2015. Recombinant human collagen III gel for transplantation of autologous skin cells in porcine full-thickness wounds. *Journal of Tissue Engineering Regenerative Medicine*, **9**, 1386–1393.
- Otto K. M., 2015. Characterization of Highly Concentrated Elastin-Like Polypeptide Solutions: Rheometric Properties and Phase Separation Analysis, Ms. C. Thesis, Cleveland State University, Ohio, 205.
- Patterson, C. E.; Gao, J.; Rooney, A. P.; Davis, E. C. 2002. Genomic Organization of Mouse and Human 65 kDa FK506-Binding Protein Genes and Evolution of the FKBP Multigene Family. *Genomics* , **79**, 881–889.
- Saxena T., Karumbaiah L., Valmikinathan, C. M. 2014. Proteins and Poly (Amino Acids), Elsevier Inc.: New York, 187-208.
- Sugawara-Narutaki A., Yasunaga S., Sugioka Y., and Le H.T., 2019. Rheology of Dispersions of High-Aspect-Ratio Nanofibers Assembled from Elastin-Like Double-Hydrophobic Polypeptides, *International of Journal of Molecular Science*, **24**, 2-12.
- Tezel G.B., 2017. Low shear rate rheology of Carbopol Solutions using MRI, *Material Science: Indian Journal*, **15**, 121-129.
- Tezel G., Uzuner, S., Akdemir Evrendilek G. 2019. Structural and Rheological Properties of Gelatin-Carrageenan Mixtures, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* , **6** , 525-532.
- Yapıcı K., Cakmak N.K, İlhan N., Uludag Y., 2014. Rheological characterization of polyethylene glycol based TiO<sub>2</sub> nanofluids, *Korea-Australia Rheology Journal*, **26**, 355-363.
- Xu D., Asai D., Chilkoti A., and Craig S.L. 2012. Rheological Properties of Cysteine-Containing Elastin-Like Polypeptide Solutions and Hydrogels, *BioMacromolecules*, **13**, 2315-2321.
- Wen Q., Mithieux S.M., and Weiss S. A. 2020. Elastin biomaterials in Dermal Repair, *Trends in Biotechnology*, **38**, 280-291.



AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045801 (927-933)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045801 (927-933)

DOI: 10.35414/akufemubid.871475

Araştırma Makalesi / Research Article

## Falcon Konsantratör ile Ermenek Linyitinden Kül ve Kükürdün Uzaklaştırılması

Aydan AKSOĞAN KORKMAZ\*

\*Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan MYO, Maden Teknolojisi Bölümü, Malatya.

e-posta: aydan.aksogan@ozal.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3309-9719>

Geliş Tarihi: 30.01.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Linyit; Falcon konsantratör; Kül; Kükürt.

Bir kömürün kalitesini belirleyen en önemli içeriği kül ve kükürttür. Bu bileşenler genellikle kömür içerisinde, ince taneler halinde dissemine şekilde bulunmaktadır. Dolayısıyla kömürlerden kül ve kükürdün uzaklaştırılması oldukça zordur. Falcon konsantratör, özellikle ultra ince kömürlerin yüksek merkezkaç kuvvetleri ile zenginleştirildiği yeni teknolojilerden biridir. Bu çalışmada, Konya Ermenek linyitinin Falcon Konsantratörü ile zenginleştirilme olanakları incelenmiştir. 1,5 l/dk besleme hızı sabit tutularak, -75+38 µm tane boyutlu linyite, farklı katı oranları (%20, %30, %40 ve %50) ve farklı merkezkaç kuvvetlerinde (20G, 100G, 176G ve 300G) testler uygulanmıştır. En iyi sonuçlar, %40-50 katı oranı ve 100G'den büyük merkezkaç kuvvetlerde elde edilmiştir.

## Removal of Ash and Sulfur from Ermenek Lignite with the Falcon Concentrator

### Abstract

#### Keywords

Lignite; Falcon concentrator; Ash; Sulfur.

Ash and sulfur are the most important ingredients that determine the quality of coal. These components are generally found in coal in a disseminated form as fine grains. Therefore, it is very difficult to remove ash and sulfur from coals. The Falcon concentrator is one of the new technologies in which ultra-fine coals are enriched with high centrifugal forces. In this study, enrichment possibilities of Konya Ermenek lignite with Falcon Concentrator were investigated. By keeping the velocity of 1.5 L/min constant, -75+38 µm particle size lignite have at different solid ratios (20%, 30%, 40%, and 50%) and at different centrifugal forces (20G, 100G, 176G, and 300G) tests have been applied. The best results were obtained with 40-50% solid rates and centrifugal forces greater than 100G.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Gelişen teknoloji ile beraber, enerji kullanımına yönelik talepteki artış sebebiyle fosil yakıtların kullanımının arttığı fakat bunun bazı çevresel sorunlara sebep olduğu bilinmektedir. En yaygın kullanılan fosil yakıt petroldür. Ancak petrolün rezervlerinin az olması alternatif kaynakların bulunmasını gerekli kılmaktadır. Kömür, petrole kıyasla daha ucuz ve daha boldur. Yeni teknolojiler ile petrol ve doğal gaz kaynaklarının genişletilmesine rağmen, uzmanlar önümüzdeki yüzyılda ucuz petrol kaynaklarının beklenenden daha erken

bitebileceğini belirtmektedirler. Bu da kömürün ileride daha da önemli olacağını göstermektedir. 2030 yılında, dünya enerji ihtiyacının %45'inin kömürden karşılanacağı düşünülmektedir (Balat 2007). BP Statistical Review of World Energy 2015 verilerine göre; dünya kömür rezervlerinin 115 yıl daha yeterli olacağı tahmin edilmektedir (Int Kyn.1). Bunun yanında diğer fosil yakıtlardan, petrolün 39 yıl ve doğal gazın ise 63 yıl sonra dünyadaki rezervlerinin tükeneceği tahmin edilmektedir (Schobert and Song 2002, Demirbaş 2007). Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde linyit oluşumlarına rastlanmaktadır. Linyit rezervi

açısından zengin bir ülke olmamıza karşılık yüksek değerli linyitlerimizin miktarı azdır. Nem, kül ve kükürt içeriği yüksek olan, düşük ısı değerli linyitlerin miktarı ise toplam rezervlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Türkiye, giderek artan enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltacak ve güvenilir bir şekilde tüketilmesine olanak sağlayacak enerji kaynaklarından linyit kömürü dışında önemli bir fosil yakıt rezervine sahip değildir. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında, linyit kömüründen faydalanmak zorunlu bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Uzun yıllar çevresel etkilerinden dolayı yeterince kullanılmayan linyit kömürleri arama, üretim ve tüketim aşamalarında daha verimli, daha temiz ve daha ekonomik bir şekilde faydalanılmasına olanak sağlayacak uygun teknolojilerin kullanılmasıyla, enerji tüketiminde uzun bir süre daha kullanılacak önemli bir yerli kaynaktır (Balat 2008).

Bu yüzden, linyitlerimizden optimum verim alabilmek için kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması gerekmektedir. İnce boyuttaki kömürden kül ve kükürdün uzaklaştırılmasında, köpük flotasyonunun yerine son zamanlarda Falcon konsantratör, Multi-Gravite separatör, Altar jig, Kelsey jig, ve Knelson konsantratör gibi gravite ayırıcıların kullanıldığı görülmektedir (Tao vd. 2006, Can vd. 2010, Oruç vd. 2010, Zhang vd. 2011, Boylu 2013, Boylu 2014; Xia vd. 2015).

Falcon konsantratör özellikle çok ince boyutlu kömürler için uygun olan bir gravite zenginleştirme yöntemidir. Çeşitli gelişmiş gravite ayırıcılardan elde edilen mevcut veriler nicel olarak karşılaştırıldığında, Falcon konsantratörün 300G maksimum santrifüj gücünde düşük ayırma yoğunluğunu (D50) sağladığı görülmüştür (Luterell vd. 1995). Dönme hızı, su basıncı ve pülp te katı oranı Falcon konsantratörün ayırma etkinliğinde önemli rol oynayan faktörlerdir (Xia vd. 2015).

Literatürde Falcon konsantratörle yapılmış kömür çalışmalarının istenen şekilde külü azaltmadığı sonucuna varılan çalışmalar olduğu gibi (Can vd. 2010; Oruç vd. 2010; Boylu 2013), linyitlerden kül ve piritik kükürt uzaklaştırmanın başarılı sonuçlar verdiği çalışmalar da bulunmaktadır. (Tao vd. 2006;

Kroll-Rabotin vd. 2013; İbrahim vd. 2014; Zhang vd. 2017; Zhu vd. 2017; Tozsın vd. 2018; Xian vd. 2021).

Bu çalışmada kullanılan Konya Ermenek linyiti literatürde az çalışılmış linyitlerden biridir. Acar Bozkurt vd. (2016) Ermenek linyitinin gazlaşma özelliklerini; Altınar vd. (2016) petrografik özelliklerini; Tongur ve Aydın (2013) ile Tongur vd. (2014) adsorpsiyon özelliklerini; Canel vd. (2016) piroliz özelliklerini; Şensöğüt vd. (2002) termogravimetrik özelliklerini; Kiraz vd. (2004) ise şişme özelliklerini incelemişlerdir. Dolayısıyla Ermenek linyitinin zenginleştirme olanakları daha önce araştırılmamış olup, bu çalışma alanında bir ilk olacaktır. Deneylerden elde edilecek olan sonuçlar özellikle linyit zenginleştirme açısından, diğer araştırmacılar için bir fikir verebilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan Ermenek linyiti, yeraltından çıkarılan kömürün boşaltıldığı silo çıkışından belirli aralıklarla alınmıştır. Daha sonra numune azaltma yöntemleriyle temsili örnekler hazırlanmıştır. Linyitin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, kısa analiz (nem, kül, uçucu madde, sabit C), elementel analiz (C, H, N, S), ısı değer, XRD ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yüzey nemi ASTM D1412'ye, bünye nemi ASTM D3173'e, kül analizi ASTM D3174'e, uçucu madde içeriği ise ASTM D3175'e göre hesaplanmıştır. Kömür örneklerinin sabit karbon içerikleri ise; nem, kül ve uçucu madde içerikleri toplamının 100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Toplam kükürt miktarı elementel analiz yönteminde kullanılan LECO marka CHNS-932 cihazıyla, kalorifik değeri ise IKA C1 marka kalorimetre bombasıyla belirlenmiştir. XRD analizi için Rigaku D Max 2B cihazı ve FTIR analizi için Varian 1000 FT-IR cihazı kullanılmıştır.

Falcon konsantratör, temel olarak bir ayırma oluğu ile devamlı çalışan bir santrifüjün kombinasyonudur. Çok yüksek dönme hızı ve buna bağlı olarak yüksek merkezkaç kuvveti nedeni ile farklı yoğunlukta olan çok küçük tanelerin ayırımında kullanılmaktadır (Falconer 2003). Üstten beslenen malzeme, dönüş hareketinin yarattığı yüksek merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yoğunluk farkına göre konik gövdede

tabakalaşmaktadır. Malzeme üst bölgeye ulaştığında yoğunlukça yüksek olan mineraller, yatay dairesel akordeon şeklindeki toplayıcıda birikmekte, birikmiş malzeme belirli aralıklarla yıkanarak buradan alınmaktadır (Kemal ve Arslan 2010, Yıldız 2014).

Deneysel çalışmalar, Şekil 1’de verilen Sepro L40 model Falcon konsantratör cihazında gerçekleştirilmiştir.

Ayırma etkinliği, hem yanabilir verim hem de kül/kükürt uzaklaştırma için hesaba katılması gereken bir parametredir. Ayırma etkinliği, konsantrerede minimum kül içeriği ile tüm yanıcı maddelerin geri kazanımı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu çalışmadaki ayırma sonuçlarının değerlendirmesinde ayırma etkinliği göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan Falcon L40 cihazı.

Falcon deneylerinde yanabilir verim, kül/kükürt uzaklaştırma verimi ve ayırma etkinliği aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır (Boylu 2013, Boylu 2014).

$$R_{comb.}(\%) = \frac{C \times (100 - c)}{F \times (100 - f)} \quad (1)$$

$$R_{ash/S}(\%) = \frac{T \times t}{F \times f} \quad (2)$$

$$Eff_{sep.}(\%) = \left[ \frac{C \times (100 - c)}{F \times (100 - f)} \times 100 \right] - \left[ \frac{T \times t}{F \times f} \times 100 \right] \quad (3)$$

$R_{comb.}$  : Yanabilir verim

$R_{ash/S}$  : Kül/Kükürt uzaklaştırma verimi

$Eff_{sep.}$  : Ayırma etkinliği

F: Besleme miktarı

f: Beslemedeki kül/kükürt içeriği

C : Konsantrerede miktarı

c: Konsantrerede kül/kükürt içeriği

T: Atık miktarı

t: Atıktaki kül/kükürt içeriği

Deneysel çalışmada 1,5 l/dk besleme hızı sabit tutularak, -75+38 µm tane boyutlu linyitlere, %20, %30, %40 ve %50 katı oranlarında, 20G, 100G, 176G ve 300G merkezkaç kuvvetlerinde testler uygulanmıştır.

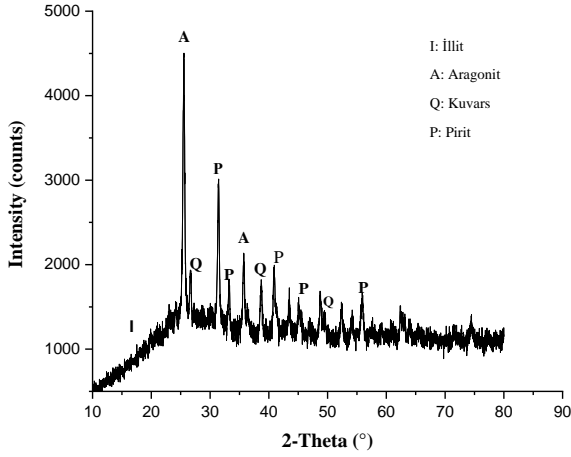
### 3. Bulgular ve Tartışma

Ermenek linyitinin havada kuru bazda gerçekleştirilen elementel analiz sonuçlarına göre %39,49 C, %5,32 H, %0,90 N ve %3,94 S içerdiği belirlenmiştir. ASTM standartları ile belirlenen kısa analiz (havada kuru bazda) sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Acar Bozkurt vd. (2016) yaptıkları çalışmada, Ermenek linyitinin kül içeriğini %21, S içeriğini ise %3,80 olarak belirlemişlerdir.

Çizelge 1. Ermenek linyitinin kısa analiz sonuçları

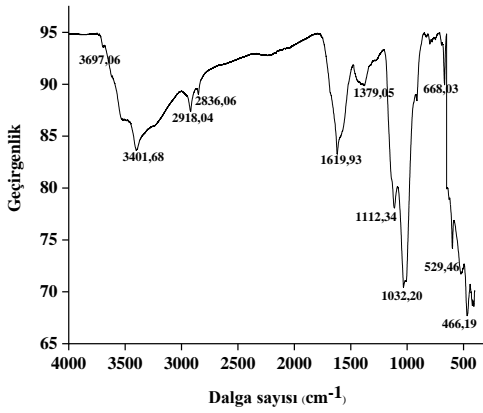
Nem (%)	6,20
Kül (%)	18,15
Uçucu madde (%)	39,75
Sabit C (%) (fark ile)	35,90
Kalorifik değer (kcal/kg)	3199

Linyit örneğinin XRD analizi sonucu Şekil 2’de verilmiştir. Linyitin XRD spektrumunda aragonit, kuvars, pirit ve illit pikleri belirlenmiştir. Bu pikler Altiner vd.’nin (2016) Ermenek linyiti ile yaptıkları çalışmasıyla uyumludur. Piklerin keskin ve simetrik olması nedeniyle inorganik minerallerin kristal yapıda olduğu düşünülmüştür.



**Şekil 2.** Ermenek linyitinin XRD analiz sonucu.

Yapısal analizi desteklemek ve fonksiyonel grupları belirlemek amacıyla yapılan FTIR spektrumu Şekil 3'de verilmiştir.



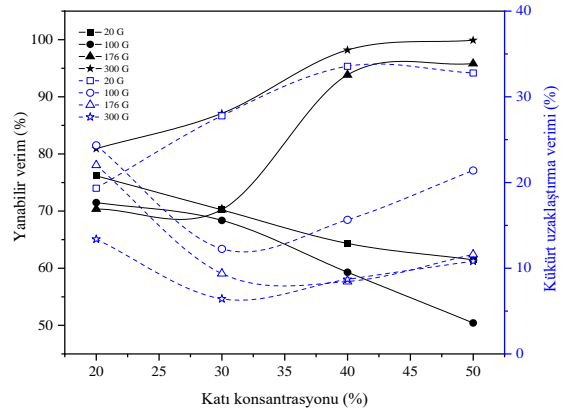
**Şekil 3.** Ermenek linyitinin FTIR spektrumu.

Şekil 3'de yaklaşık  $3697\text{ cm}^{-1}$  piki, linyit içindeki kilden kaynaklanan O-H gerilme pikidir (Dingcheng et al. 2018). Yaklaşık  $3402\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen pik, sudaki hidroksil gruplarına ya da fenolik bileşiklere bağlı olarak ortaya çıkan tipik O-H gerilme pikidir (Meng et al. 2014). Alifatik yapının göstergesi olan ve hidrokarbon türlerine bağlı olarak ortaya çıkan C-H titreşim bandı ise  $2918\text{ cm}^{-1}$  değerinde görülmektedir.  $2836\text{ cm}^{-1}$  bandı bazı araştırmalarda bildirilmiş ancak tespit edilmemiştir (Wang and Griffiths 1985, Michaelian and Friesen 1990).  $1620\text{ cm}^{-1}$  pikinin aromatik C=C ve C=O karbonil gerilmelerini,  $1379\text{ cm}^{-1}$  pikinin ise yapıdaki metal (Ca, Mg, Na, K) iyonlarının karboksilat gruplarını göstermektedir.  $1112\text{ cm}^{-1}$  piki fenol C-O gerilmesine aittir (Qi et al. 2011). Yaklaşık  $1032\text{ cm}^{-1}$

piki M-O-M gerilimini (Si-O-Al / Fe / Mg),  $668\text{ cm}^{-1}$  piki ise C-H aromatik bileşenleri göstermektedir (Lievens et al. 2013, Özbayoğlu et al. 2009, Feng et al. 2006).  $529\text{ cm}^{-1}$  ve  $466\text{ cm}^{-1}$  piklerinin ise yapıdaki piritte bağlı olabileceği belirtilmiştir (Li vd. 2013).

-75+38  $\mu\text{m}$  tane boyutlu linyitin pülpte katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerinde yanabilir/kükürt uzaklaştırma verim, kül/kükürt içeriği ve ayırma etkinliği hesaplanmıştır. Sonuçlar sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

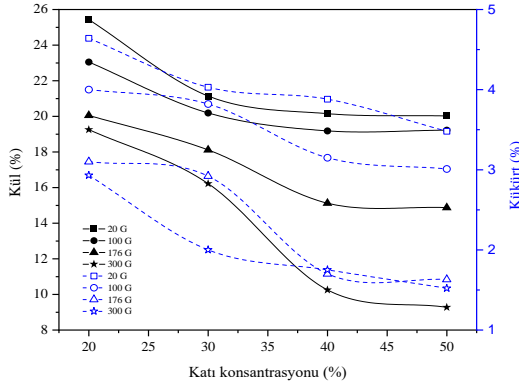
Falcon konsantratör gibi gelişmiş yerçekimi kuvvetli ayırıcılarda, düşük özgül yoğunluklarına rağmen, parçacıklar çökme eğilimi göstermektedir. Yani yüksek özgül ağırlıklı parçacıklar gibi hareket ederler. Genellikle serbest çökme koşulları % 15-20'den düşük katı konsantrasyonlarında, engelli çökme koşulları ise % 20'nin üzerindeki katı konsantrasyonlarında gerçekleştirilir (Boylu 2013).



**Şekil 4.** Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerde yanabilir/ kükürt uzaklaştırma verimi.

Şekil 4 incelendiğinde, tüm G kuvvetlerinde katı konsantrasyonu arttıkça kükürt uzaklaştırma veriminin arttığı görülmüştür. 100 G'ye kadar olan kuvvetlerde artan katı oranıyla birlikte yanabilir verim azalırken, daha yüksek G kuvvetlerinde ise artmıştır. Şekil 5'e göre artan katı oranıyla birlikte tüm G kuvvetlerinde konsantredeki kül ve kükürt içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Konsantredeki en düşük kül (%9,27) ve kükürt (%1,52) içeriği, %50 katı oranında ve 300 G kuvvette elde edilmiştir. %50 katı oranında merkezkaç kuvvet 176'dan 300 G'ye çıkarıldığında, kül içeriği %15,25'den %9,27'ye düşmüştür. Bu durum, yüksek katı

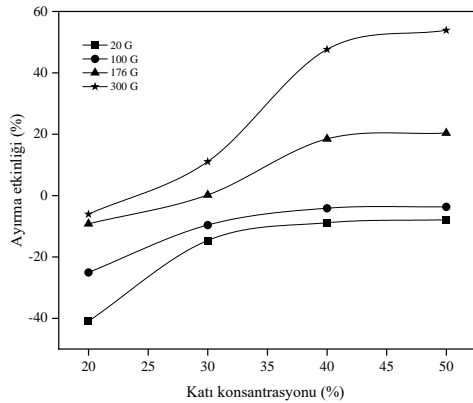
konsantrasyonunda yüksek G kuvveti ile çalışılması gerektiğini göstermiştir.



**Şekil 5.** Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerde konsantredeki kül ve kükürt miktarı.

Zhang vd. (2017) Falcon konsantratörle ham linyitte %26,51 olan kül içeriğini %9,51'e düşürmeyi başarmışlardır. Tozsın vd. (2018) -0,15 mm boyutta %25 katı oranında yaptıkları Falcon zenginleştirme sonucunda ham linyitte %41,78 olan kül içeriğini %26,56'ya düşürmüşlerdir. Yine Zhu vd. (2017) Falcon ile kül içeriğini %31,47'den %14,60'a indirmişlerdir.

Linyit zenginleştirmede, özellikle gravite ayırımının kullanıldığı yöntemlerde, lavedeki piritik kükürt serbestleşmeye bağlı olarak azaltılabilirken, yapısal kükürt külün uzaklaştırılmasına bağlı olarak yükselmektedir. Bu durum kükürdün göreceli olarak azaltılmamasına engel teşkil etmektedir (Honaker vd. 2000).



**Şekil 6.** Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerdeki ayırma etkinliği.

Şekil 6'dan %30'un altındaki katı oranlarında çalışıldığında, ayırma etkinliğinin sıfırın altında olduğu görülmüştür. Bu durum, zenginleştirme

sırasında killi minerallerin konsantreye karıştığını göstermektedir (Boylu 2014). Sadece %30 katı oranında 300 G kuvvette ayırma etkinliği çok düşük olsa da sıfırın üzerinde bir değerdedir. Optimum ayırma etkinliği 300 G kuvvette, %50 katı oranında sağlanmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Besleme hızı (1,5 l/dk) ve tane boyutu (-75+38 µm) sabit tutularak yapılan bu çalışmada, yüksek katı oranının (%50) uygulanması ile daha yüksek ayırma etkinliği gerçekleştirilmiştir. Ayırma işleminde uygulanan merkezkaç kuvvetinin de katı oranı kadar önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. G kuvveti arttıkça, ayırma etkinliğinin de arttığı görülmüştür. Engelli çökelme koşulları 100 G'den daha yüksek kuvvetlerde elde edilmiştir. En yüksek ayırma etkinliği (%53,12), 300 G'de ve %50 katı oranında sağlanmıştır. Bu şartlarda elde edilen lavede beslemeye göre %18,15 olan kül içeriği %9,27'ye ve %3,94 olan kükürt içeriği %1,52'ye düşürülmüştür. Falcon ayırıcısında serbestleşmeye bağlı olarak piritik kükürdün %2,42'sinin uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla ince taneli Ermenek linyitinden kül ve kükürt uzaklaştırılmasında kullanılan Falcon konsantratörünün başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Kaynaklar

- Acar Bozkurt, P., Koç, S., Mısırlıoğlu, Z., and Canel, M., 2016. Effect of Demineralization Process on the CO<sub>2</sub> Gasification of Lignite. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, **21(1)**, 201-207.
- Altın, M., Ürünveren, A., ve Ural, S., 2016. *Kömürlerin petrografik özellikleri ile dayanımları arasındaki ilişkinin araştırılması*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (s: 3249-3254). Adana.
- Balat, M., 2007. Status of fossil energy resources: a global perspective. *Energy Sources, Part B*, **2**, 31-47.
- Balat, M., 2008. Energy consumption and economic growth in Turkey during the past two decades. *Energy Policy*, **36**, 118-127.
- Boylu, F., 2013. Modeling of free and hindered settling conditions for fine coal beneficiation through a Falcon

- concentrator. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **33**, 277-289.
- Boylu, F., 2014. Autogenous medium fine coal washing through Falcon concentrator. *Separation Science and Technology*, **49**, 627-633.
- Can, M.F., Özgen, S. and Sabah, E., 2010. A study to recover coal from Turkish lignite fine coal tailings: comparison of Falcon concentrator and multi gravity separator. International Pittsburgh Coal Conference (pp:1897-1912). İstanbul.
- Canel, M., Mısırlıoğlu, Z., Canel, E., and Acar Bozkurt, P., 2016. Distribution and comparing of volatile products during slow pyrolysis and hydrolysis of Turkish lignites. *Fuel*, **186**, 504-517.
- Demirbaş, M.F., 2007. Progress of fossil fuel science. *Energy Sources, Part B*, **2**, 243-257.
- Dingcheng, L., Qiang, X., Guangsheng, L., Junya, C. and Jun, Z., 2018. Influence of heating rate on reactivity and surface chemistry of chars derived from pyrolysis of two Chinese low rank coals. *International Journal of Mining Science and Technology*, **28**, 613-619.
- Falconer, A., 2003. Gravity separation: Old technique/New methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, **12**, 31-48.
- Feng, J., Li, W-Y. and Xie, K-C., 2006. Thermal decomposition behaviors of lignite by pyrolysis-FTIR. *Energy Sources, Part A*, **28**, 167-175.
- Honaker, R.Q., Singh, N., and Govindarajan, B., 2000. Application of dense-medium in an enhanced gravity separator for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*, **13**, 415-427.
- İbrahim, S.S., Anadoly, B.E., Farahat, M.M., Selim, A.Q., and Menshawy, A.H., 2014. Separation of pyritic sulfur from Egyptian coal using Falcon concentrator. *Particulate Science and Technology* **32**, 588-594.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 2010. *Kömür Teknolojisi*. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.33, 45-65.
- Kiraz, A., Sinağ, A., Tekeş, T., Mısırlıoğlu, Z., and Canel, M., 2004. Effect of pre-swelling on extractability and solvent swelling of Ermenek lignite (Turkey). *Energy Sources*, **26**, 431-439.
- Kroll-Rabotin, J-S., Bourgeois, F. and Climent, E., 2013. Physical analysis and modeling of the Falcon concentrator for beneficiation of ultrafine particles. *International Journal of Mineral Processing*, **121**, 39-50.
- Li, X., Li, C., Qi, T., Zhou, Q., Liu, G., and Peng, Z., 2013. Reaction behavior of pyrite during Bayer digestion at high temperature. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, **23(3)**, 829-835.
- Lievens, C., Ci, D., Bai, Y., Ma, L., Zhang, R., Chen, Y.J., Gai, Q., Long, Y. and Guo, X., 2013. A study of slow pyrolysis of one low rank coal via pyrolysis-GC/MS. *Fuel Processing Technology*, **116**, 85-93.
- Luterell, G.H., Honaker, R.Q. and Phillips, D.L., 1995. *Enhanced gravity separators: new alternatives for fine coal cleaning*. Proceedings, 12th International Coal Preparation Conference (pp.281-287). Kentucky.
- Meng, F., Yu, J., Tahmasebi, A., Han, Y., Zhao, H., Lucas, J. and Wall, T., 2014. Characteristics of chars from low-temperature pyrolysis of lignite. *Energy and Fuels*, **28**, 275-284.
- Michaelian, K.H. and Friesen, W.I., 1990. Photoacoustic FT-i.r. spectra of separated Western Canadian coal macerals: Analysis of the CH stretching region by curve-fitting and deconvolution. *Fuel*, **69**, 1271-1275.
- Oruç, F., Özgen, S. and Sabah, E., 2010. An enhanced-gravity method to recover ultra-fine coal from tailings: Falcon concentrator. *Fuel*, **89**, 2433-2437.
- Özbayoğlu, G., Depci, T. and Ataman, N., 2009. Effect of microwave radiation on coal flotation. *Energy Sources, Part A*, **31**, 492-499.
- Qi, Y., Hoadley, A.F.A., Chaffee, A.L. and Garnier, G., 2011. Characterisation of Lignite as an Industrial Adsorbent. *Fuel*, **90**, 1567-1574.
- Schobert, H.H. and Song, C., 2002. Chemicals and materials from coal in the 21st century. *Fuel*, **81**, 15-32.
- Şensöğüt, C., Yıldırım, Ö.S., Çınar, İ., ve Özdeniz, A.H., 2002. *Bazı yerli kömürlerin termogravimetrik*

karakteristiklerine istatistiksel yaklaşım. Türkiye 13. Kömür Kongresi (s: 145-150). Zonguldak.

Utilization, and Environmental Effects, **39(22)**, 2098-2104.

Tao, Y., Luo, Z., Zhao, Y. and Tao, D., 2006. Experimental research on desulfurization of fine coal using an enhanced centrifugal gravity separator. *Journal of China University of Mining and Technology*, **16**, 399-403.

Zhu, X., Tao, Y. and Sun, Q., 2017. Separation of flocculated ultrafine coal by enhanced gravity separator. *Particulate Science and Technology*, **35(4)**, 393-399.

Tongur, S., and Aydın, M.E., 2013. Adsorption kinetics of chloroform from aqueous solutions onto activated lignite. *Clean Soil Air Water*, **41(1)**, 32-36.

#### İnternet Kaynakları

IntKyn.1:www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf (11.12.2019)

Tongur, S., Yorulmaz, F., Sevimli, M.F., and Kucukcongar, S., 2014. *Investigation of adsorption capacity of acid yellow dye onto activated Ermenek (Karaman-Turkey) region lignite*. Digital Proceeding Of The ICOEST'2014 (pp: 859-865). Antalya.

Tozsın, G., Acar, C. and Sivrikaya, O., 2018. Evaluation of a Turkish lignite coal cleaning by conventional and enhanced gravity separation techniques. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **38(3)**, 135-148.

Wang, S.H. and Griffiths, P.R., 1985. Resolution enhancement of diffuse reflectance i.r. spectra of coals by Fourier self-deconvolution: 1. C-H stretching and bending modes. *Fuel*, **64**, 229-236.

Xia, W., Xie, G. and Peng, Y., 2015. Recent advances in beneficiation for low rank coals. *Powder Technology*, **277**, 206-221.

Xian, Y., Tao, Y., and Ma, F., 2021. Study on separation of low-rank coal macerals in enhanced gravity field. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 1-15.

Yıldız, N., 2014. *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 1.Cilt*. Ankara, Türkiye: Ertem Basım, 612-635.

Zhang, B., Yang, F., Akbari, H., Mohanty M.K., Brodzik, P., Latta, P., and Hirschi, J.C., 2011. Evaluation of a new fine coal cleaning circuit consisting of a stack sizer and a Falcon enhanced gravity concentrator. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **31**, 78-95.

Zhang, L., Tao, Y., Yang, L. and Man, Z., 2017. Spatial distribution of fine high-sulfur lean coal in enhanced gravity field. *Energy Sources, Part A: Recovery*,



## Zayıf Kaya Kütlelerinde Açılan Modifiye At Nalı Kesitli Tünellerdeki Deformasyon Dağılımının Sayısal Modelleme ile Belirlenmesi

Alaattin SAKCALI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.

Sorumlu yazar e-posta: alaattinsakcali@atauni.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9246-917X>

Geliş Tarihi: 10.05.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

### Öz

Tünel kazısı sonrası tünel çevresindeki kaya kütlelerinde meydana gelen deformasyonları karakterize etmek tahkimat tasarımı için bir yardımcı araç olarak kullanılabilir. Tünel kazısı sonrası tünel aynasına dik doğrultuda aynanın ön ve arkasındaki deformasyonlar uzunlamasına deformasyon profili (Longitudinal Deformation Profile (LDP)) ile belirlenebilir. Literatürde farklı parametrelerin etkileri de göz önünde bulundurularak LDP'nin oluşturulmasına yönelik eşitlik önerileri vardır. Bu eşitlikler hidrostatik koşullarda tünel kazısı gerçekleştirildiği varsayımı yapılarak dairesel kesitli tüneller için önerilmiştir. Türkiye'de karayolu tünelleri genellikle modifiye at nalı kesitli açılmakta olup tünel aynası çevresindeki deformasyonların tam olarak tahmin edilmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Tünel çevresindeki kaya kütlelerinde deformasyonları sayısal modelleme ile analiz etmek mümkündür. Bu çalışmada, Türkiye'de kara yolu tünel kazılarında en çok tercih edilen 2 farklı boyuttaki modifiye at nalı kesitli tünel ele alınmıştır. Belirlenen kesitlerde zayıf kaya kütlelerinde açılacak tünel kazısı sonlu farklar yöntemine dayalı FLAC3D ile modellenmiştir. Hidrostatik koşullarda açılan tünelin yanı sıra hidrostatik olmayan koşullar da değerlendirilmiştir. Yatay gerilme / dikey gerilme oranı (k-değeri) 0,5 ile 2 arasında değişen koşullar için belirlenen kesitlerde tüneller tahkimatsız olarak modellenmiştir. Modelden elde edilen deformasyon dağılımlarına ve tavandan tabana doğru 15°'lik açışal değişimle belirlenen yerlerde kaydedilen deformasyon değerleri incelenmiştir. Bu çalışma ile, dairesel olmayan (modifiye at nalı kesitli) tünel kazılarında LDP'nin belirlenmesinde sayısal modellemenin iyi bir yardımcı araç olabileceği sonucu elde edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Deformasyon dağılımı;  
Modifiye at nalı kesit;  
Sayısal modelleme;  
Tünel

## Determination of Deformation Distribution around Modified Horseshoe Cross-sectional Tunnels in Weak Rock Mass

### Abstract

Characterization of deformations occurring in the rock mass around the tunnel after tunnel excavation can be used as an auxiliary tool for support design. After the tunnel excavation, the deformations in front and behind of the tunnel face in perpendicular direction can be determined with the longitudinal deformation profile (LDP). There are equality proposals by considering the effects of different parameters for the establishment of the LDP in the literature. These equations are proposed for circular section tunnels by assuming that tunnel excavation is carried out under hydrostatic conditions. The highway tunnels in Turkey are generally opened with modified horseshoe cross-section and difficulties are encountered in precisely predicting deformations around the tunnel face. It is possible to analyze the deformations in the rock mass around the tunnel by numerical modeling. In this study, the most preferred modified horseshoe cross-sectional tunnels of 2 different sizes in highway tunnel excavation in Turkey are discussed. The tunnel excavations to be opened in the weak rock mass in the determined sections were modeled with FLAC3D based on finite difference method. In addition to the tunnel opened under hydrostatic conditions, non-hydrostatic conditions were also evaluated. The tunnels in the determined sections for conditions with horizontal stress / vertical stress ratio (k-value) between 0.5 and 2 were modeled as unsupported. The deformation distributions obtained from the model and the deformation values recorded in the points determined with an angular change of 15° from the roof to the base were examined. With this study, it is concluded that numerical modeling can be a good auxiliary tool in determining LDP in tunnel excavations with non-circular (modified horseshoe cross-section).

### Keywords

Deformation  
distribution; Modified  
horseshoe cross-  
sectional; Numerical  
modelling; Tunnel

## 1. Giriş

Tünel kazısı sonrası tünel çevresindeki kaya kütlelerinde oluşacak gerilme ve deformasyonları karakterize etmek tahkimat tasarımı için bir yardımcı araç olarak kullanılabilir. Tünel aynası çevresindeki kaya kütlelerinde meydana gelecek gerilme ile deformasyon ilişkisi zemin tepki eğrisi (Ground Reaction Curve (GRC)) ile analiz edilebilirken kullanılacak tahkimat sistemi ise tahkimat karakteristik eğrisi (Support Characteristic Curve (SCC)) ile belirlenebilmektedir. Zemin tepki (GRC) ve tahkimat karakteristik (SCC) eğrileri kullanılarak tahkimat sisteminin davranışı analitik olarak analiz edilebilmektedir. Kapanma-yakınsama (Convergence-Confinement) yönteminde tünel aynasına dik doğrultuda tünel çevresindeki kaya kütlelerinde meydana gelecek deformasyonlar ise uzunlamasına deformasyon profili (Longitudinal Deformation Profile (LDP)) ile belirlenebilir.

LDP tünel aynasının önünde ve gerisinde tünel çepherinde meydana gelecek deformasyonların karakterize etmek için yaygın olarak kullanılmakta olup, literatürde LDP'nin belirlenmesine yönelik önerilmiş eşitlikler vardır. Panet ve Guenot (1982) ve Panet (1995) tarafından tünel aynası arkasına ( $L/R \geq 0$ ) doğru meydana gelecek deformasyonların belirlenmesi için Eşitlik 1 önerilmiştir. Corbetta vd. (1991) ise yaptıkları sayısal modelleme çalışmaları sonucunda tünel aynası arkasında ( $L/R \geq 0$ ) meydana gelecek deformasyonların Eşitlik 2 ile belirlenebileceğini belirtmişlerdir. Carranza-Torres ve Fairhurst (2000) çalışmasında, Hoek (1999) tarafından önerilen Eşitlik 3'ü kullanmıştır. Hoek (1999) bu eşitlik önerisini Chern vd. (1998)'nin çalışmasındaki verilere dayanarak yapmıştır.

$$\frac{u_r}{u_r^M} = 0,25 + 0,75 \left[ 1 - \left( \frac{0,75}{0,75 + L/R} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\frac{u_r}{u_r^M} = 0,25 + 0,71 \left[ 1 - e^{(-1,5(L/R)^{0,7})} \right] \quad (2)$$

$$\frac{u_r}{u_r^M} = \left[ 1 + e^{\left( \frac{-L/R}{1,1} \right)^{-1,7}} \right]^{-1,7} \quad (3)$$

Eşitliklerde  $u_r$  radyal deformasyon,  $u_r^M$  en büyük radyal deformasyon,  $L$  tünel aynasına dikey yöndeki

uzaklık,  $R$  ise tünel kazı yarıçapıdır. Bazı araştırmacılar LDP'nin sadece tünel aynasına olan mesafe ( $L$ ) ve tünel kazı yarıçapı ( $R$ )'nin bir fonksiyonu olmadığını bunun yanı sıra farklı parametrelerin de etkili olduğunu belirtmişlerdir. Unlu ve Gerçek (2003) Poisson's oranının ( $\nu$ ) deformasyon üzerindeki etkisini araştırmış ve aynaya olan mesafe ile kazı yarıçapının yanı sıra Poisson's oranının da deformasyona etki edeceğini vurgulamışlardır. Tünel aynası önünde ( $L/R \leq 0$ ) ve arkasındaki ( $L/R \geq 0$ ) deformasyonların belirlenmesi için sırasıyla Eşitlik 4 ve 5'i önermişlerdir.

$$\frac{u_r}{u_r^M} = u_{r0} + A_a \left[ 1 - e^{(-B_a(L/R))} \right] \quad (4)$$

$$\frac{u_r}{u_r^M} = u_{r0} + A_b \left\{ 1 - \left[ B_b / (B_b + (|L/R|)) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Eşitliklerdeki  $u_{r0}$  aynada meydana gelen deformasyon  $u_{r0}=0,22\theta+0,19$ ;  $A_a=-0,22\theta-0,19$ ;  $B_a=0,73\theta+0,81$ ;  $A_b=-0,22\theta+0,81$ ;  $B_b=0,39\theta+0,65$  ile belirlenir.

Vlachopoulos ve Diederichs (2009) ise LDP'nin aynaya olan uzaklık ve kazı yarıçapının yanı sıra plastik zon yarıçapına ( $R_p$ ) bağlı bir fonksiyon olduğunu belirtmiş ve aynada, aynanın önünde ve arkasındaki deformasyonların hesaplanmasında kullanılmak üzere sırasıyla Eşitlik 6, 7 ve 8'i önermişlerdir.

$$\frac{u_{r0}}{u_r^M} = \frac{1}{3} e^{-0,15R^*} \quad (6)$$

$$\frac{u_r}{u_r^M} = \frac{u_{r0}}{u_r^M} e^{L/R} \quad (7)$$

$$\frac{u_r}{u_r^M} = 1 - \left( 1 - \frac{u_{r0}}{u_r^M} \right) e^{-((3L/R)/2R^*)} \quad (8)$$

Eşitliklerdeki  $u_{r0}$  aynadaki deformasyon,  $R_p$  plastik zon yarıçapı ve  $R^*=R_p/R$  ile belirlenmektedir. Tünel çevresinde meydana gelecek en büyük deformasyon ( $u_r^M$ ) düzlem-birim deformasyon (plain-strain) analizi ile belirlenebilmektedir.

Basarir vd. (2010) radyal deformasyonu ( $u_r$ ) tünel yarıçapına ( $R$ ) göre normalize edip düzlem-birim deformasyon analizine gerek olmadan kaya kütleleri

sınıflama sistemlerinden RMR, aynaya olan uzaklık ve yarıçap kullanılarak LDP'nin belirlenebileceğini vurgulamışlardır. Uzunlamasına yönde tünel aynası önünde ( $L/R \leq 0$ ) ve arkasında ( $L/R \geq 0$ ) oluşacak deformasyonların tahmin edilmesine yönelik sırasıyla Eşitlik 9 ve 10'u önermişlerdir.

$$\frac{u_r}{R} = aRMR^b c^{L/D} \quad (9)$$

$$\frac{u_r}{R} = aRMR^b L/D^c \quad (10)$$

Eşitliklerdeki RMR kaya kütle kalitesini verirken; a, b ve c katsayıları derinliğe (100-400 m arasında, 100 m aralıklarla) bağlı olarak değişmektedir (Basarir vd., 2010).

Sakcalı ve Yavuz (2019a)'un çalışmasında ise en büyük deformasyon ve aynada meydana gelen deformasyonun belirlenmesinde düzlem-birim deformasyon analizi yerine kaya kütlesi özellikleri ve arazi gerilmesinin kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. 50-300 m arasında, 50 m aralıklarla değişen derinlikler için tünel çevresindeki en büyük deformasyon ( $u_r^M$ ) ve aynadaki deformasyonunun ( $u_{r0}$ ) belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 11 ve 12'in kullanılabilmesi belirtilmiştir. Uzunlamasına yönde gelişen deformasyon dağılımının tahmin edilmesine yönelik ise Eşitlik 13'ü önermişlerdir.

$$\frac{u_r^M}{R} = a(GSI. m_i)^b \left( \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_0} \right)^c \quad (11)$$

$$\frac{u_{r0}}{R} = a(GSI. m_i)^b \left( \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_0} \right)^c \quad (12)$$

$$\frac{u_r - u_{r0}}{u_r^M - u_{r0}} = \frac{1,0628(L/R)}{0,571 + (L/R)} \quad (13)$$

Eşitliklerdeki GSI jeolojik dayanım indeksinin değeri,  $m_i$  kaya malzemesi için Hoek-Brown sabiti,  $\sigma_{ci}$  kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ve  $\sigma_0$  arazi gerilmesidir. Eşitlik 11 ve 12'de; a, b ve c katsayıları farklı derinlikler için değişmektedir (Sakcalı ve Yavuz, 2019a).

LDP'nin oluşturulması için önerilen eşitliklerin yanı sıra bazı araştırmacılar sayısal modelleme yaparak tünel çevresindeki deformasyon dağılımlarını ve

uzunlamasına yöndeki deformasyon profillerini belirlemişlerdir (Meguid vd., 2003; Hoek, 2004; Soroush vd., 2006; Bi ve Zhou, 2015; Sakcalı ve Yavuz, 2019b).

LDP eşitlikleri hidrostatik koşullarda dairesel kesitli tünel çevresindeki deformasyon dağılımlarının belirlenmesi için önerilmiştir. Carranza-Torres ve Fairhurst (2000) çalışmasında dairesel olmayan tünellerde kesitin en büyük ve en küçük boyutunun ortalaması alınıp kazı yarıçapının belirlenebileceğini ve böylelikle kapanma-yakınsama yöntemiyle değerlendirmenin yapılabileceğini vurgulamıştır. Fakat farklı kazı kesitindeki tünellerde farklı boyut etkileri söz konusu olabilir. Bu nedenle deformasyon dağılımlarının belirlenmesinde o koşul için modelleme yapmak tünel aynası çevresindeki kaya kütlelerinin davranışını daha iyi analiz edecektir.

Türkiye'de karayolu tünelleri genellikle modifiye at nalı kazı kesitinde açılmakta olup en çok tercih edilen 2 farklı boyuttaki kazı kesiti bu çalışma için ele alınmıştır. Zayıf kaya kütlelerinde açılan 2 farklı boyuttaki modifiye at nalı kazı kesitli tüneller modellenmiştir. Kazı derinliği ve kaya kütlesi özellikleri en büyük deformasyonu etkilediği ve LDP oluşturulurken bu değere göre normalize edildiği için 250 m kazı derinliğinde GSI değeri 25, kaya malzemesi basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) 30 MPa ve  $m_i$  değeri 15 olan kaya kütlelerindeki kazının modellenmesi yeterli görülmüştür.

Arazi gerilmesi oranları tünel aynası çevresindeki deformasyon dağılımlarını etkileyeceği için ise farklı k-oranı ele alınmıştır. 0,5 ile 2 arasında değişen k değerleri için yatay ve dikey gerilmeler verilerek kazı modelleri oluşturulmuştur. Modellerden tünel çevresinde meydana gelen deformasyon dağılımları ve yenilme zonunda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca, tünel tavanından tabanına doğru 15°'lik açılarda belirlenen bölgelerden alınan deformasyon değerleri ile bu bölgeler için LDP'ler oluşturulmuştur. Dairesel olmayan tünellerde önerilen LDP eşitlikleri yerine özel koşullar için modelleme yapmanın daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesi

Kaya kütlesini tanımlamada Q (Barton vd., 1974), RMR (Bieniawski, 1989), RMI (Palmström, 1995), GSI (Hoek ve Brown, 1997) gibi farklı kaya kütlesi sınıflama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kaya kütlesini karakterize etmek için GSI tercih edilmiş ve GSI sınıflama sisteminde zayıf kaya kütlesi için tanımlanan aralığa göre kaya kütlesi özellikleri belirlenmiştir.

GSI sınıflama sistemine göre zayıf kaya kütlesi için GSI değeri 10 ile 50 arasında değişmektedir (Hoek ve Brown, 1997). Benzer olarak RMR sınıflama sisteminde zayıf kaya kütlesinin tanımlandığı RMR aralığı 20-40'dır. Hoek ve Brown (1997)'a göre RMR değeri GSI değerinden 5 puan büyük olup RMR için tanımlanan zayıf kaya kütlesi aralığında GSI değeri 15 ile 35 arasında değişmektedir. Zayıf kaya kütlesini temsil etmesi için ortalama bir değer olarak GSI, 25 alınmıştır.

Kaya malzemesinin basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) zayıf kaya kütlesi için 5 ile 25 MPa arası, orta kalitede kaya kütlesi için 25 ile 50 MPa arasında değişmektedir (Hoek ve Brown, 1997). Kaya kütlelerinde basınç dayanımı daha geniş aralıklarda değişebileceği göz önünde bulundurularak kaya malzemesinin basınç dayanımını 30 MPa olarak belirlenmiştir.

Eşitlik 14 ile gösterilen Hoek-Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi yenilmesi  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  Hoek-Brown sabitleri ve  $\sigma_{ci}$  ile tanımlanırken kaya malzemesinin yenilmesi  $m_i$  ve  $\sigma_{ci}$ 'nin bir fonksiyonudur.  $m_i$  değeri kaya kökeni, tipi, grubu ve dokusuna göre değişkenlik göstermekte olup ortalama bir değeri temsil etmesi için 15 alınmıştır. Modeller için zayıf kaya kütlesinin yenilme davranışını karakterize etmede kullanılan  $m_b$ ,  $s$  ve  $a$  Hoek-Brown sabitleri Eşitlik 15, 16 ve 17 ile belirlenmiştir.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (14)$$

$$m_b = m_i e^{\left( \frac{GSI-100}{28-14D_F} \right)} \quad (15)$$

$$s = e^{\left( \frac{GSI-100}{9-3D_F} \right)} \quad (16)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (17)$$

Eşitliklerdeki  $\sigma'_1$  en büyük asal gerilmeyi,  $\sigma'_3$  en küçük asal gerilmeyi,  $\sigma_{ci}$  kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımını,  $m_i$  kaya malzemesi için Hoek-Brown sabitini,  $m_b$ ,  $s$  ve  $a$  kaya kütlesi Hoek-Brown sabitlerini, GSI jeolojik dayanım indeks değerini vermektedir.  $D_F$  ise örselenme faktörü olup 0 alınmıştır. Deformasyon modülünün ( $E_m$ ) belirlenmesinde Hoek ve Brown (1997)'da kullanılan Eşitlik 18 kullanılırken kayma ( $G$ ) ve hacimsel esneme modülünün ( $K$ ) belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 19 ve 20 kullanılmıştır (Itasca, 2005). Zayıf kaya kütlesini temsil etmesi için Poisson's oranı 0,3 olarak alınmıştır.

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{((GSI-10)/40)} \quad (18)$$

$$G = \frac{E_m}{2(1+\nu)} \quad (19)$$

$$K = \frac{(1+\nu)G}{(3/2)(1-2\nu)} \quad (20)$$

Modellerde kullanılacak zayıf kaya kütlesini temsil eden malzeme sabitleri  $m_b=1,029$ ;  $s=0,00024$ ;  $a=0,531$  olarak hesaplanmış ve  $\sigma_{ci}=30$  MPa olarak seçilmiştir. Belirlenen kaya kütlesi özellikleri zayıf kayayı temsil etmesi için kullanılabilir (Sakcalı ve Yavuz, 2019a). Kaya kütlesinin elastik özellikleri ise kayma ve hacimsel esneme modülü ile sırasıyla  $G=0,50$ ;  $K=1,08$  olarak tanımlanmıştır.

### 2.2. Modifiye at nalı kesitli tünellerin boyutları

Tüneller kullanım amaçlarına göre farklı boyut ve kesitlerde inşa edilmektedir. Kazı kesitleri dairesel olduğu gibi at nalı ve dikdörtgen kesitli de olabilmektedir. Madencilik amaçlı at nalı kesitli açılacak galerilerde farklı boyutlu kazılar gerçekleştirilebilse de B-5, B-8, B-10, B-14 ve B-18 en yaygın kullanılan at nalı kazı kesitleridir. Bu kesitlerde kazı genişliği 2,6 - 5,8 m, kazı yüksekliği ise 2,3 - 4,2 m arasında değişmektedir (Biron ve Arıoğlu, 1983; Yavuz, 2006).

Geçmişten günümüze farklı at nalı kesitli tünellerde kazılar yapılsa da son yıllarda Türkiye’de karayolu tünellerinin birçoğu modifiye at nalı kazı kesitte gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de karayolu tünelleri genellikle 10 m genişlik, 8 m yükseklikte ve 12 m genişlik, 9 m yükseklikte modifiye at nalı kesitte açılmaktadır (Kaya vd, 2011; KGM, 2013; Kanik, 2019).

Karayolu tünel projelerinde en çok tercih edilen bahsi geçen modifiye at nalı kesitteki tünel kazısı sonrası tünel çevresindeki kaya kütlelerinde meydana gelecek deformasyon dağılımlarının belirlenmesi amacıyla zayıf kaya kütlelerindeki kazı modellenmiştir.

### 2.3. Modelleme çalışmaları

Modelleme çalışması gerçekleştirilirken kaya kütleleri modellemelerinde yaygın olarak kullanılan, sonlu farklar yöntemine dayalı çözüm yapan FLAC3D kullanılmıştır (Itasca, 2005). Zayıf kaya kütleleri ve tünel geometrisinin yanı sıra model ağ sayısı, boyutları, başlangıç ve sınır koşulları modellemenin doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu parametrelerin etkilerin ortadan kaldırılması amacıyla farklı model ağları oluşturulmuş ve modelleme için en uygun koşullar belirlenmiştir.

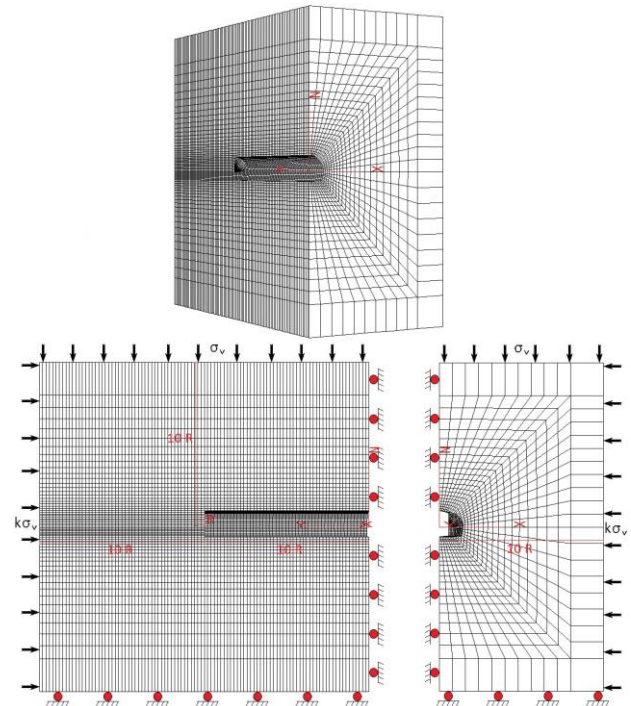
Model sınırları (x ve z yönünde) tünel üst yarıçapının 10 katı olarak belirlenirken kazı yönündeki (y yönü) model sınırı üst yarıçapın 20 katı olarak belirlenmiştir. Simetrik olacağı için dikey yönde yarı model oluşturulmuş ve iç sınırları yüzeye dik yönde harekete izin vermeyecek şekilde sınırlandırılmıştır. Dış yüzeylerden ise dikey ( $\sigma_v$ ) ve yatay ( $\sigma_h$ ) yönde arazi gerilmeleri verilmiştir.

Kazının gerçekleştirildiği yerdeki dikey gerilme derinlik (H) ve birim hacim ağırlığının ( $\gamma$ ) bir fonksiyonudur. Model sınırlarına uygulanacak dikey gerilme belirlenirken Eşitlik 21 kullanılmıştır (Brown ve Hoek, 1978).

$$\sigma_v = \gamma \cdot H \quad (21)$$

Dikey gerilme değişimini temsil eden zayıf kaya kütleleri ortalama birim hacim ağırlığı  $23 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır. 250 m derinlikteki bir kazı için dikey yöndeki dış sınıra ( $\sigma_v$ )  $5,75 \text{ MPa}$ ’lık bir gerilme uygulanmıştır. Farklı arazi gerilmelerinde (yatay gerilme / dikey gerilme oranı) deformasyon değişimlerin incelenmesi amacıyla k değerinin 0,5 ile 2,0 arasında değiştiği durumlar için yatay gerilmeler belirlenmiştir. Model sınırlarındaki yatay gerilmeler ( $\sigma_h$ ) ise k-oranı 0,5; 0,75; 1; 1,5 ve 2,0 için sırasıyla  $2,875$ ;  $4,3125$ ;  $5,75$ ;  $8,625$  ve  $11,5 \text{ MPa}$  olarak uygulanmıştır.

Dikey ve yatay yönde dış yüzeylere uygulanan gerilmeler yine aynı yönlerdeki başlangıç gerilmesi (in situ stress) olarak uygulanmıştır. Kazısı yapılacak kaya kütleleri “model Hoek-Brown” ile tanımlanmış olup kazı, üst yarıçapın 10 katı kadar mesafede (y yönünde) “model null” kullanılarak modellenmiştir. Model boyutları ve sınır koşulları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Model boyutları ve sınır koşulları.

Kazı genişliği 10 m, kazı yüksekliği 8 m olan tünel modeli için zon sayısı 108000, grid noktası sayısı ise 113322’dir. Kazı genişliği 12 m, kazı yüksekliği 9 m olan tünel modelleri için ise zon ve grid noktası sayıları sırasıyla 129600 ve 135762’dir. Çözümleme denge durumuna gelinceye kadar yaptırılmıştır.



### 3. Bulgular

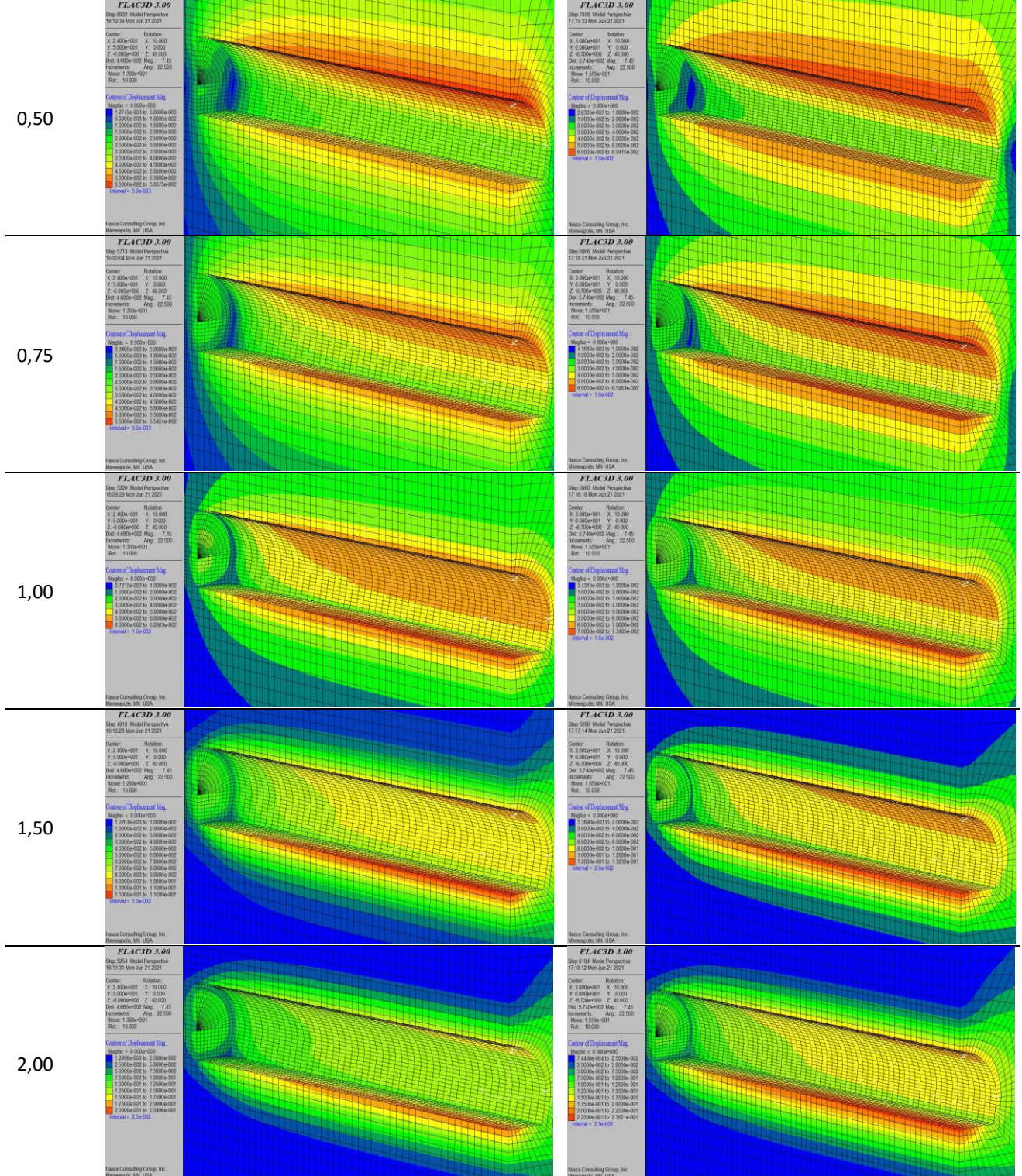
Dairesel kesitli tünellerde kazı sonrası tünel aynasına dik yöndeki mesafelerde tünel duvarında meydana gelecek deformasyon dağılımı LDP ile

belirlenebilir. LDP eşitlikleri dairesel kesitli tüneller için kullanılırken dairesel olmayan kesitler için ise en büyük kesit ve en küçük kesit boyutunun ortalaması alınarak dairesel kesit gibi davrandığı varsayımı yapılarak belirlenebilir (Carranza-Torres, 2000).

**Çizelge 1.** Farklı boyutlardaki modifiye at nalı kesitli tünellerde değişen arazi gerilmeleri için tünel çevresindeki deformasyon dağılımları

**k-oranı Kazı genişliği : 10 m, Kazı yüksekliği : 8 m**

**Kazı genişliği : 12 m, Kazı yüksekliği : 9 m**



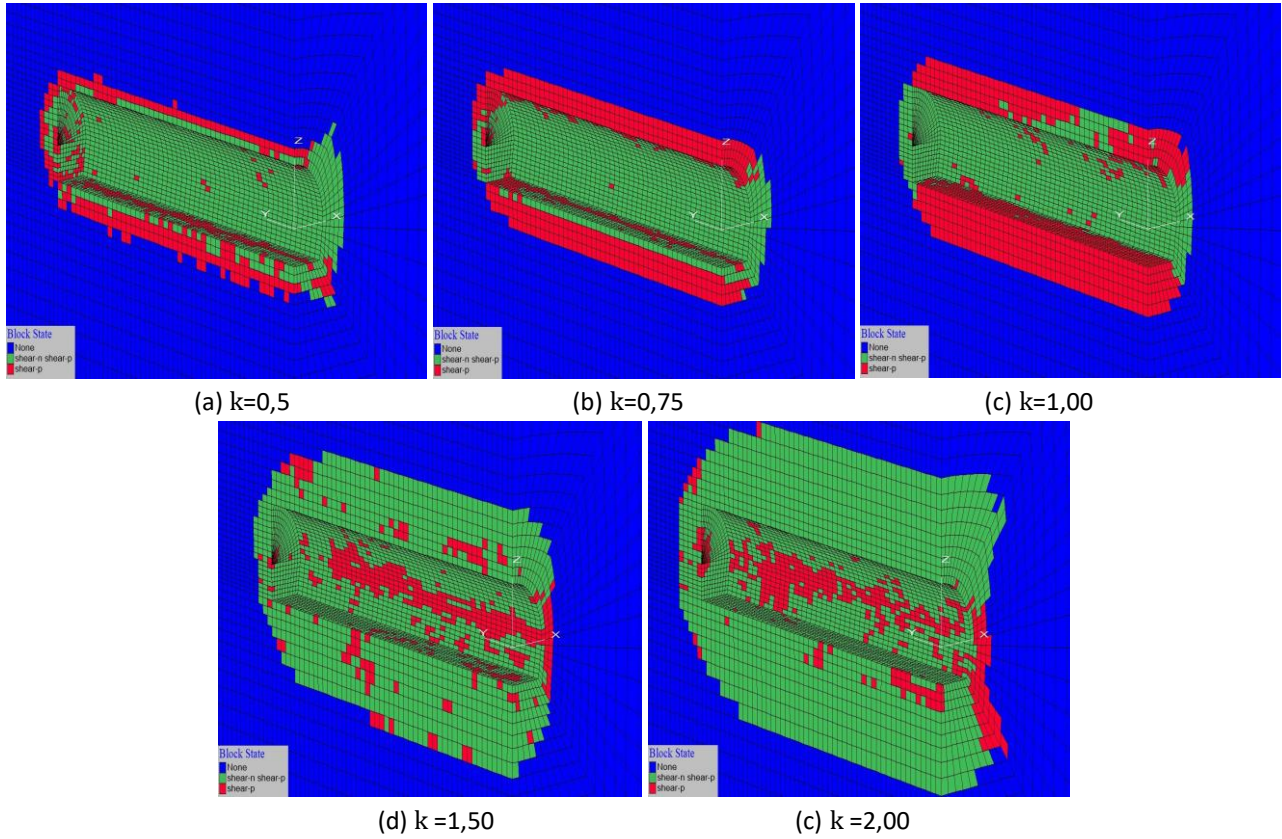


Fakat bu analitik yaklaşımda deformasyonlar belirlenirken varsayımdan yola çıkılmaktadır. Deformasyon dağılımını tünel koşulu için sayısal modelleme yaparak belirlemek daha gerçekçi sonuçlar verecektir. 10 m genişliğinde 8 m yüksekliğinde ve 12 m genişliğinde 9 m yüksekliğindeki zayıf kaya kütlelerinde (GSI 25,  $\sigma_{ci}$  30 MPa,  $m_i$  15) gerçekleştirilen modifiye at nalı kesitli tünel kazısı tahkimatsız olarak modellenmiştir. 250 m derinlikte farklı k-oranlarındaki gerilme koşulları için oluşturulmuş modellerde tünel çevresindeki deformasyon dağılımları Çizelge 1’de verilmiştir.

Modifiye at nalı kesitli tünellerde deformasyon dağılımları kesit boyutuna göre değiştiği gibi arazi gerilme oranına bağlı olarak ta değişmektedir. Kesit yüksekliği ve kesit genişliğinin artması deformasyon değişimine neden olmaktadır. Yatay gerilme / dikey gerilme oranı değişiminin deformasyon dağılımına etkisine bakılacak olursa; k değeri 0,5’den 0,75’e arttıkça maksimum deformasyonda azalma olurken

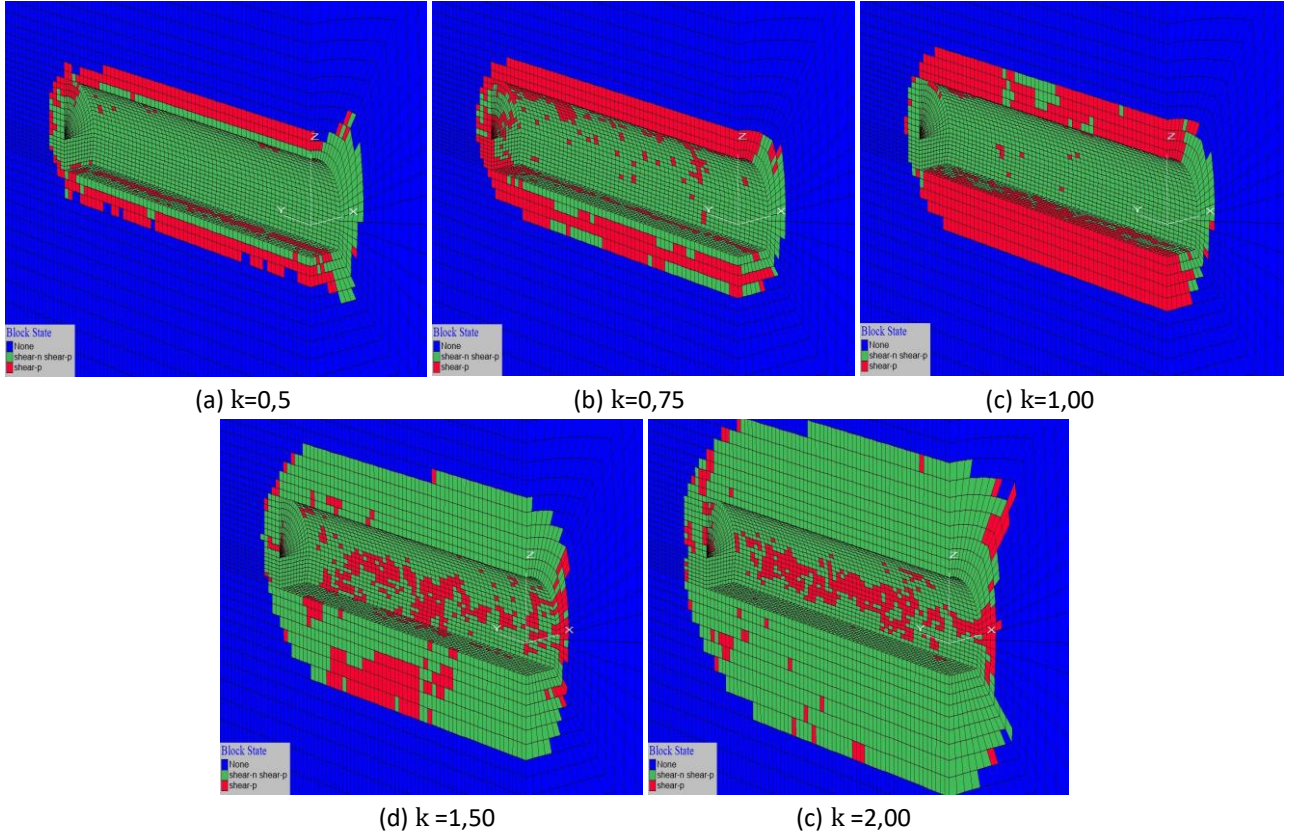
0,75’ten sonra maksimum deformasyonda artış söz konusu olmuştur. Yatay gerilme / dikey gerilme oranı 1’e kadar olan durumlar için maksimum deformasyon tünel tavanında meydana gelirken, 1’de bu değer yaklaşık olarak eşit, 1’den büyük olduğu durumda ise tabanda olduğu görülmektedir.

Belirtilen zayıf kaya kütleleri koşullarında modifiye at nalı kesitte 10 m genişliğinde, 8 m yüksekliğinde açılan tünellerde k-oranı değişimi ile meydana gelen yenilme zonu değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’te ise 12 m genişlik, 9 m yükseklikteki modifiye at nalı kesitli tünellerde k-oranı değişiminde meydana gelen yenilme zonları gösterilmiştir. Şekil 2 ve 3’te kırmızı renkli zonlarda kesme yenilmesi olmuş fakat şu an elastik özellik göstermektedir. Yeşil renkli zonlarda ise kesme yenilmesi söz konusudur. Şekil 2 ve 3’e bakıldığında, modifiye at nalı kesitli tünellerde yenilme zonu k-oranı değişimi ve kesit boyutlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir.



**Şekil 2.** Zayıf kaya kütlelerinde 10 m genişliğinde, 8 m yüksekliğinde modifiye at nalı kesitli açılan tünellerde k-oranının yenilme zonlarındaki değişime etkileri; (a) k=0,50 (b) k=0,75 (c) k=1,00 (d) k=1,50 (e) k=2,00.

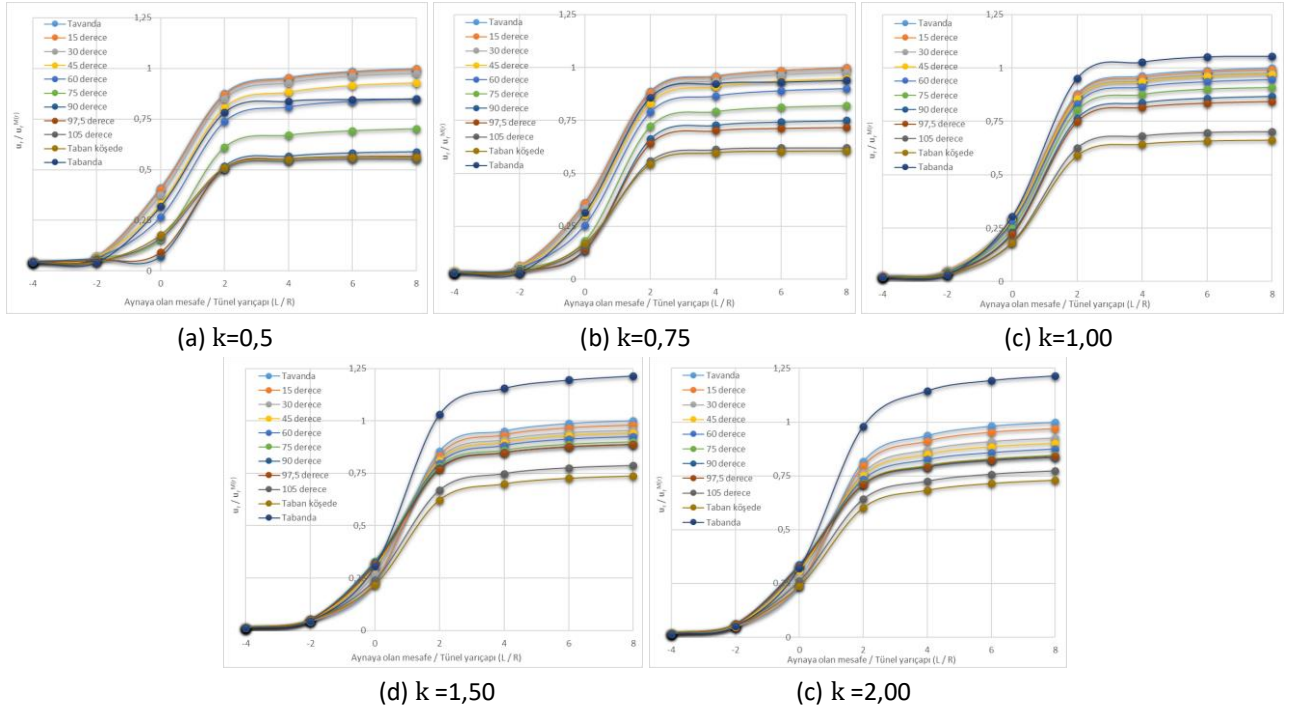




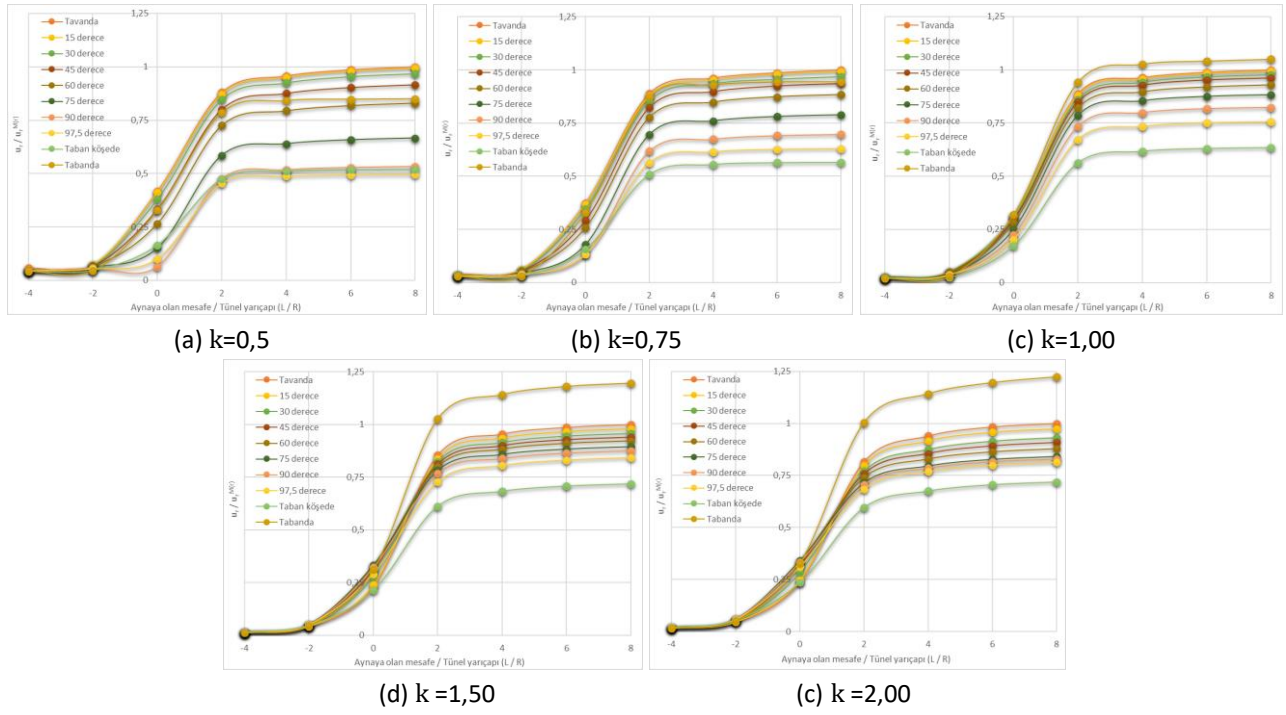
**Şekil 3.** Zayıf kaya kütlelerinde 12 m genişliğinde, 9 m yüksekliğinde modifiye at nalı kesitli açılan tünellerde k-oranının yenilme zonlarındaki değişime etkileri; (a) k=0,50 (b) k=0,75 (c) k=1,00 (d) k=1,50 (e) k=2,00.

Tavandan tabana doğru 15°'lik açısal değişimle belirlenen noktalardan alınan deformasyon değeri

tavanda meydana gelen maksimum deformasyona göre normalize edilerek LDP'ler oluşturulmuştur.



**Şekil 4.** Tünel kesitinin farklı noktalarında uzunlamasına deformasyon profili (LDP) değişimi (Genişlik: 10 m, yükseklik: 8 m); (a) k=0,50 (b) k=0,75 (c) k=1,00 (d) k=1,50 (e) k=2,00.

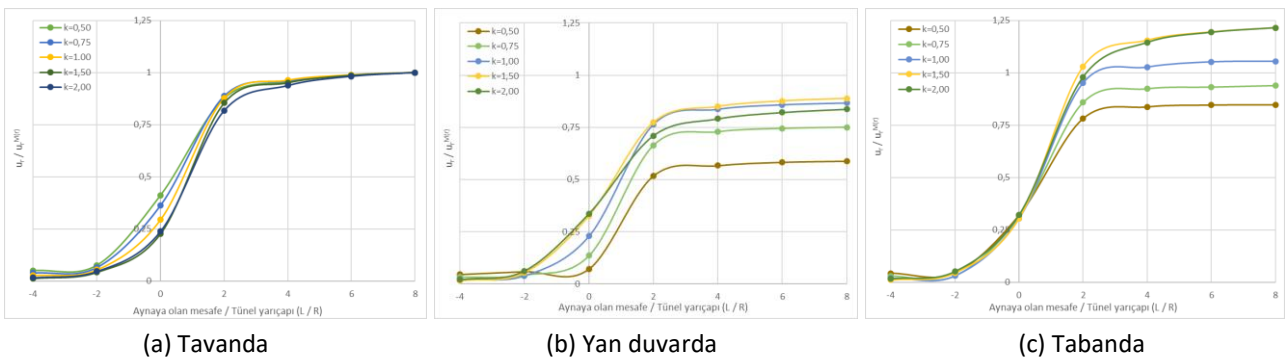


**Şekil 5.** Tünel kesitinin farklı noktalarında uzunlamasına deformasyon profili (LDP) değişimi (Genişlik: 12 m, yükseklik: 9 m); (a)  $k=0,50$  (b)  $k=0,75$  (c)  $k=1,00$  (d)  $k=1,50$  (e)  $k=2,00$ .

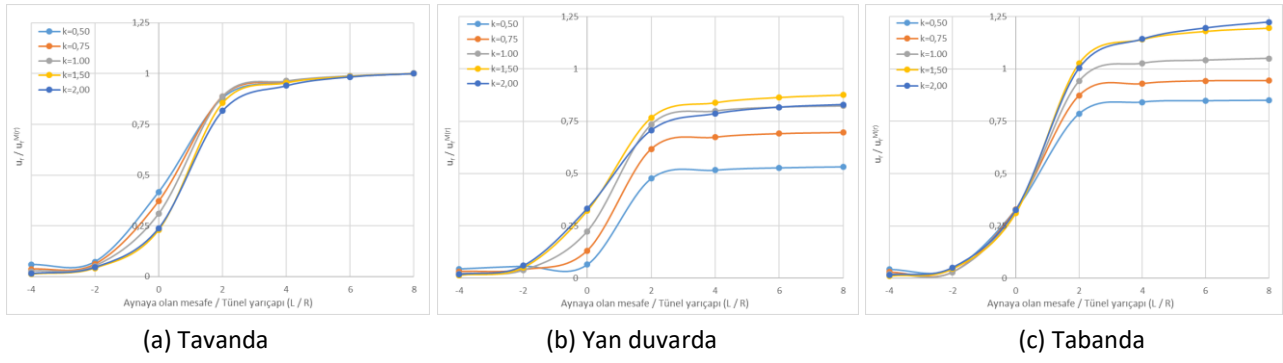
Genişliği 10 m, yüksekliği 8 m ve genişliği 12 m, yüksekliği 9 m olan farklı gerilmeler altında kazılan tünellerde kesitin farklı noktadaki uzunlamasına deformasyon profilleri sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Şekil 4 ve 5'e bakıldığında modifiye at nalı kesitli tünellerde uzunlamasına deformasyon profili (LDP) tünel açılacak yerdeki arazi gerilmesi oranına bağlı olarak değiştiği gibi kesitteki farklı noktalarda da değiştiği görülmektedir. Ayrıca, kesit boyutlarının da deformasyon dağılımına etkisi söz konusu olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı  $k$ -oranlarında 10 m genişlik, 8 m yükseklik ve 12 m genişlik, 9 m yükseklikte kazılan tünellerde

tavan, yan duvar ve tabanda oluşan deformasyon dağılımları ise sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Arazi gerilmeleri tavana normalize radyal deformasyonda büyük değişime neden olmamasına rağmen yan duvarda dağılım aralıkları açılmaktadır. Tünel tabanında ise tünel aynası arkasında yarıçap kadar aynaya olan mesafede büyük bir değişim söz konusu değil iken yarıçap kadar aynaya olan mesafe sonrasında  $k$ -oranı artışı ile dağılımda artmaktadır. Kesit boyutlarında çok büyük fark söz konusu olmadığı için, kesit boyutunun deformasyon dağılımlarına etkisi çok düşük olmuştur.



**Şekil 6.** Farklı yatay gerilme / dikey gerilme oranlarında uzunlamasına deformasyon profilindeki (LDP) değişim (Genişlik: 10 m, yükseklik: 8 m); (a) Tavana (b) Yan duvarda (c) Tabanda.



**Şekil 7.** Farklı yatay gerilme / dikey gerilme oranlarında uzunlamasına deformasyon profilindeki (LDP) değişim (Genişlik: 12 m, yükseklik: 9 m); (a) Tavanda (b) Yan duvarda (c) Tabanda.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Kapanma-yakınsama yöntemi tünel projelerinde deformasyon analizi ve tahkimat sistemi tercihinde kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu yöntemde tünel aynasına göre uzunlamasına yönde deformasyon dağılımları LDP ile belirlenebilir. Uzunlamasına deformasyon profili hidrostatik koşulda açılan dairesel kesitli tüneller için kullanılabilir.

Modifiye at nalı kesitli açılan tünellerde deformasyon dağılımının belirlenmesi kazı öncesi tünel etrafındaki kaya kütlelerinin davranışı hakkında bir ön bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda zayıf kaya kütlelerini temsil eden bir kaya kütlesi tercih edilmiş ve Türkiye’de karayolu tünel projelerinde en çok tercih edilen 2 kazı profilinde gerçekleştirilen tünel kazısı tahkimatsız olarak modellenmiştir. Kazı derinliği ise ortalama bir değer olarak 250 m alınmıştır. Kaya kütlesi özellikleri ve derinlik değişimi ile tünel aynası çevresinde meydana gelecek deformasyonlar değişmesine rağmen LDP oluşturulurken maksimum deformasyona göre normalize edilerek bu parametrelerin etkileri yok edilmiştir. Bu nedenle, farklı zayıf kaya kütlesi özellikleri ve derinlikteki kazının modellenmesine gerek duyulmamıştır.

Deformasyon dağılımına, tünele etkileyen dikey arazi gerilmesi kadar yatay gerilmenin de etkisi söz konusudur. Modellere değişen k-oranları için farklı yatay gerilmeler uygulanmış ve bu parametrenin deformasyon dağılımı üzerine etkisine bakılmıştır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Deformasyon dağılımına kesit boyutlarının etkisi söz konusudur.
- Yatay gerilme / dikey gerilme oranının (k-oranı) deformasyon dağılımına etkisi çok fazladır.
- Modifiye at nalı kesitli tünellerde kesitteki deformasyon dağılımına bakıldığında tavandan tabana doğru tünel çevresindeki kaya kütlelerinde meydana gelen deformasyon azalmaktadır.
- Modifiye at nalı kesitli tünellerde k-oranı 1’den küçük olan arazi gerilmelerinde maksimum deformasyon tavanda oluşurken, 1’den büyük arazi gerilmelerinde tabandaki yükselmeden kaynaklı deformasyon en büyüktür. Hidrostatik koşulda ise tavan ve tabandaki deformasyon yaklaşık olarak eşit ve maksimumdur.
- Arazi gerilmesi oranının LDP değişimine etkisine bakıldığında tavanda çok büyük farklılıklar gözükmesine de yan duvar ve tabanda k-oranı değişiminin LDP üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.*, **6(4)**, 189-239.
- Basarir, H., Genis, M. and Ozarslan, A., 2010. The analysis of radial displacements occurring near the face of a circular opening in weak rock mass. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **47(5)**, 771-783.
- Bi, J. and Zhou, X.P., 2015. Numerical simulation of zonal disintegration of the surrounding rock masses around a deep circular tunnel under dynamic unloading. *Int. J. Comp. Meth.*, **12(3)**, 1550020, 1-23.

- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. *Wiley*, New York, 251.
- Biron, C. and Arioglu, E., 1983. Design of supports in mines. *John Wiley & Sons*, New York, 283.
- Brown, E.T. and Hoek, E., 1978. Trends in relationships between measured and in situ stresses and depth. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **15(4)**, 211-215.
- Carranza-Torres, C. and Fairhurst, C., 2000. Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* **15**, 187-213.
- Chern, J.C., Shiao, F.Y. and Yu, C.W., 1998. An empirical safety criterion for tunnel construction. *Proceed of the Reg Symp on Sediment Rock Eng.*, 222-227.
- Corbetta, F., Bernaud, D. and Nguyen-Minh., D., 1991. Contribution a la methode convergerce-confinement par le principe de la similitude. *Rev. Fr. Geotech.*, **54**, 5-11.
- Hoek, E., 1999. Personal communication conducted by Carranza-Torres and Fairhurst. Taken from Carranza-Torres and Fairhurst (2000).
- Hoek, E., 2004. Numerical modelling for shallow tunnels in weak rock - unpublished notes.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int J Rock Mech Min Sci.*, **34(8)**, 1165-1186.
- Itasca, 2005. Version 3.0 user manuals. *Itasca Consulting Group, Inc. Mill Place, Minnesota*.
- Kanik, 2019. Evaluation of the limitations of RMR<sub>89</sub> system for preliminary support selection in weak rock class. *Comp. Geotech.*, **115**, 103159, 1-11.
- Kaya, A., Bulut, F., Alemdağ, S. and Sayin, S., 2011. Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study from Turkey. *Sci. Res. Ess.*, **6(31)**, 6566-6583.
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), 2013. NATM uygulamalı yeraltı tünel işleri teknik şartnamesi. *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Meguid, M.A., Rowe, R.K. and Lo, K.Y., 2003. Three-dimensional analysis of unlined tunnels in rock subjected to high horizontal stresses. *Can. Geotech. J.*, **40**, 1208-1224.
- Palmström, A., 1995. RMI-A rock mass characterization system for rock engineering purposes. *PhD. Thesis Norway: University of Oslo*, 400.
- Panet, M. and Guenot, A., 1982. Analysis of convergence behind the face of a tunnel. *Proceed Int Sym Tunneling, Inst Min Metall.*, 197-204.
- Panet, M., 1995. Calcul des tunnels par la methode convergence-confinement. *Press de l'ecole Natinale des Ponts et Chaussees*.
- Sakcali, A. and Yavuz, H., 2019a. Estimation of radial deformations around circular tunnels in weak rock masses through numerical modelling. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, **123**, 104092, 1-14.
- Sakcali, A. and Yavuz., H., 2019b. Numerical modelling analysis of radial deformations around a circular tunnel excavated in weak rock masses. *Süleyman Demirel Uni J Nat Appl Sci.*, **23(1)**, 66-73.
- Soroush, A., Foroozan, R. and Asadollahi, P., 2006. Simulation of 3D effect of excavation face advancement using a neural network trained by numerical models. *E. J. Geotech. Eng.*, **11**, 1-6.
- Unlu, T. and Gercek, H., 2003. Effect of Poisson's ratio on the normalized radial displacements occurring around the face of a circular tunnel. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, **18(5)**, 547-553 (2003).
- Vlachopoulos, N. and Diederichs, M.S., 2009. Improved displacement profiles for convergence confinement analysis of deep tunnels. *Rock Mech. Rock Eng.*, **42(2)**, 131-146.
- Yavuz, H., 2006. Support pressure estimation for circular and non-circular openings based on a parametric numerical study. *S. Afr. Inst. Min. Metal.*, **106**, 129-138.



AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045901 (945-957)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045901 (945-957)

DOI: 10.35414/akufemubid.889551

Araştırma Makalesi / Research Article

## Güneş Enerjili Yeni Tip Bir Kurutucuda Granny Smith Elmanın Kuruma Davranışının İncelenmesi

Doğan Burak SAYDAM<sup>1,3</sup>, \* Kamil Neyfel ÇERÇİ<sup>2</sup>, Ertaç HÜRDOĞAN<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Türkiye<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye, Türkiye\*Sorumlu yazar e-posta: doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8453-2917>

e-posta: kneyfcelcerci@tarsus.edu.tr.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3126-707X>

e-posta: ehurdogan@osmaniye.edu.tr.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1054-9964>

Geliş Tarihi: 02.03.2021

Kabul Tarihi: 18.08.2021

### Öz

Tarımsal ürünlerin kurutularak dayanıklılığının artırılması ve kalitenin yükseltilmesi yöntemi, ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemidir. Kurutma işlemi, direk güneş altında açık sergi yöntemi ile yapılabileceği gibi teknik ekipmanlar ve metotlar kullanılarak da yapılabilir. Bu çalışmada, yeni tip bir kabin tasarımına sahip güneş enerji destekli kurutucuda kurutulan Granny Smith elmanın kuruma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca deneylerden elde edilen verilerle belirlenen nem oranı (MR) için matematiksel ve Gauss Proses Regresyonu (GPR) kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. İki gün kesintisiz devam eden kurutma işlemi sırasında sıcaklık, nem ışınım ve ağırlık gibi farklı parametreler ölçülmüştür. Deneyler sonucunda; ürünlerin kuruma davranışının iklim şartlarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. İlk ürün ağırlığı 1400 gr olan Granny Smith elmalardan iki günlük deney sonucunda yaklaşık 1100 gr nem çekilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, kurutulan elma dilimlerinin ortalama kuruma hızı  $0,0017 (gr_{su}/gr_{km})/dk$ , en yüksek kuruma hızı ise  $0,0094 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olarak tespit edilmiştir. MR için matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında en iyi tahmin Sigmoid matematiksel modeli ile elde edilmiştir. MR'nin dört farklı GPR yöntemi ile tahmin edilmesinin sonucunda ise en iyi yakınsamanın Experimental GPR'de olduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Kurutma; Granny Smith  
Elma; Güneş Enerjisi;  
Osmaniye

## Investigation of Drying Behavior of Granny Smith Apple in a Novel Solar Drier

### Abstract

The method of increasing the durability and increasing the quality by drying agricultural products is the oldest and most common food storage method that has been applied since ancient times. Drying can be done under direct sunlight by open exhibition method or by using technical equipment and methods. In this study, the drying performance of Granny Smith apple dried in a solar energy assisted dryer with a novel type of cabinet design was experimentally investigated. In the study, mathematical and predictive models were created using Gaussian Process Regression (GPR) for moisture ratio (MR) determined by the data obtained from experiments. During the uninterrupted drying process for two days, different parameters such as temperature, humidity, radiation and weight were measured. As a result of the experiments; It has been observed that the drying behavior of the products changes depending on the climatic conditions. Approximately 1100 g of moisture was removed from Granny Smith apples with a product weight of 1400 g after two days of experiment. As a result of the calculations, the average drying rate of apple slices was determined as  $0,0017 (gr_w/gr_{dm})/min$ , and the highest drying rate was determined as  $0,0094 (gr_w/gr_{dm})/min$ . Among the mathematically generated thin layer drying models for MR, the best estimate was obtained with the Sigmoid mathematical model. As a result of the estimation of MR by four different GPR methods, it was seen that the best convergence was in Experimental GPR.

### Keywords

Drying; Granny Smith  
Apple; Solar Energy;  
Osmaniye

## 1. Giriş

Kurutma herhangi bir maddenin içerisinde bulunan nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutma işleminde nemin ürün içerinden uzaklaştırılabilmesi için gereken ısı, kurutulacak ürünü sıcak gazlar ile doğrudan temas ettirerek taşınım veya ışınım ile sağlanabildiği gibi kurutulacak malzemeye direk temasta olan katı yüzeyden iletim vasıtası ile de transfer edilebilir. Kurutma işleminin pek çok kullanım alanı (gıda, kimya, kâğıt, tekstil, deri sanayi vs.) vardır (Tırıs vd. 1997). Gıda sektöründe kurutma, tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatmasının yanında hacimsel yönden nakliye ve depolama konusunda da avantaj sağlamaktadır (Çelen vd. 2018). Kurutma temelde bir ısı ve kütle transferi işlemidir ve kurutma işlemini iki farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan ilki ürünlerin direk güneş enerjisi altında açık sergi yöntemi ile kurtulması, ikincisi ise farklı ekipmanlar kullanarak teknik metotlarla ürünlerin kurutulmasıdır (Aktaş vd. 2012). Direk güneş ışınımı altında açık sergi yöntemi ile kurutma işleminde kuruma süresi uzun olabilmekte ve kuruma prosesi kontrol edilememektedir. Ayrıca açık sergi yöntemi ile kurutulan gıda maddeleri, dış ortam şartları altında kurdukları için zararlı böcekler ve kuşların yanı sıra toz, toprak gibi dış etkilere maruz kalmaktadır (Tokdemir vd. 2018). Teknik metotlar ile kurutma işleminde ise kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular; doğrudan, dolaylı ve birleşik tip güneş enerjili kurutucular olarak adlandırılmaktadırlar (Akman vd. 2018). Uygun şekilde tasarlanmış bir güneş enerjili kurutucuda, açık sergi yöntemiyle güneşte kurutmanın getirdiği dezavantajlardan kaçınılabilmekte ve kurutulmuş ürünün kalitesi yükseltilebilmektedir (Sreekumar *et al.* 2018).

Dünya’da elma türlerinin sayısı 6500’ün üzerindedir. Bu sayı Türkiye’de ise 460’leri bulmaktadır. Elma, sahip olduğu mineraller ve vitaminler açısından gıda ürünü olarak kullanılmada önemli bir yere sahiptir. Elmanın içeriğinin %84’ü su, %16’sı ise kuru maddeden oluşmaktadır. Kuru madde içerisinde ise karbonhidratlar, proteinler,

vitaminler, pektinler ve mineral maddeler yer almaktadır (Erdoğan ve Adanacioğlu 2016). Elma, içerisinde barındırdığı yüksek su oranından dolayı hasat sonrası çok uzun süre saklanamayacağından soğuk hava depolarında depolanmaktadır. Bu da enerji girdilerinin yüksek olmasından dolayı hem çiftçiye hem de tüketiciye maliyet bakımından olumsuz olarak yansımaktadır. Elma taze olarak tüketilebileceği gibi reçel, marmelat, meyve suyu ve konserve yapılarak ya da kurutularak tüketilebilmektedir (Tarhan vd. 2009).

Güneş enerji destekli kurutma sistemleri ile elma kurutulması üzerine literatürde deneysel ve teorik olarak pek çok çalışma yer almaktadır (Aktaş vd. 2009, Menges vd. 2005, Ullah and Kang 2017, Cano vd. 2016, Atalay 2017). (Özgen 2014), yaptığı çalışmada elmanın kuruma özelliğini tespit etmek üzere konvektif tip bir kurutucu tasarlayıp imal etmiştir. Deneysel, 20x20x4 mm ebatlarında elma örnekleri kullanılmış ve farklı hava hızları kullanarak (V= 0,5, 1 ve 1,5 m/s) kuruma hızını etkileyen parametreler incelenmiştir. Deneysel sonucunda hava hızının kuruma işleminde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Lingayat *et al.* (2020), dolaylı tip bir güneş kurutucuda elma ve karpuzun kurutulmasını incelemişlerdir. Çalışmada, karpuz ve elma dilimlerinin kuruma performansı ve kurutma kinetiği analiz edilmiş ayrıca, deneysel analizden elma ve karpuzun difüzyon katsayısı, ısı transfer katsayıları ve aktivasyon enerjisi tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kurutma kabini içindeki sıcaklığın, güneş yoğunluğundaki sık değişim nedeniyle zamanla değiştiğini göstermiştir. Çalışmada elmanın nem içeriği 6,16’dan 0,799 kg / kg kuru bazda (db), karpuzun nem içeriği ise 10,76’dan 0,496 kg/kg db’a kadar düşürülebilmektedir. Moussaoui vd. (2021), gıda takviyesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere kurutulan elma kabuklarının zorlanmış taşınımına sahip güneş enerji destekli bir kurutucuda, farklı kurutma hızlarında ve farklı kurutma sıcaklıklarında kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kurutma deneyleri sırasında tüketilen toplam enerjinin yüksek sıcaklıkta ve düşük hava akışında minimum, yüksek sıcaklık ve yüksek hava akışında ise maksimum değerlere ulaştığını tespit etmişlerdir. Heybeli ve

Ertekin (2007), sanayi tipi bir prototip raflı kurutucuda, Starking Delicious elma için kurutma havası sıcaklığı değişiminin ürünün kuruma süresi, kuruma hızı, hacimsel ağırlığı, hacimsel büzülme, yeniden su alma, renk ve duyu özelliklerine etkisini incelemiştir. Deneyler, elma dilim kalınlığı 5mm, kuruma hava sıcaklığı 40, 50, 60, 70 ve 80 °C ve kuruma hava hızı 4,1m/s sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kuruma havası sıcaklığının renk parametresini değiştirmediği görülmüş ayrıca kuruma hava sıcaklığının artışı ile ürünün kuruma süresinin azaldığını, kuruma hızının ise arttığı görülmüştür. Wang *et al.* (2007), konvektif bir kurutucuda elma posasının sıcak kurutma havası ile laboratuvar ölçekli bir kurutucuda kurutulmasını incelemiştir. Yazarlar kurutma deneylerini 75, 85, 95 ve 105°C'de ve 1,20 ± 0,03 m / s hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca elma posasının kuruma davranışı ile farklı matematiksel modeller test edilmiştir. Çalışma sonucunda, Logaritmik modelin deneysel sonuçları diğer matematiksel modellere göre daha iyi tahmin edebileceği görülmüştür.

Bu çalışmada, güneş enerji destekli yeni tip bir kurutma kabineye sahip bir kurutma sisteminin performansı, Osmaniye ili iklim şartlarında Granny Smith elmanın kurutulması ile deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak kurutma performansı için önemli bir parametre olan nem oranının (MR) matematiksel ve GPR ile modellenmesi yapılmıştır. Çalışma bu yönüyle yapılacak olan çalışmalara özgün bir örnek olmayı hedeflemektedir.

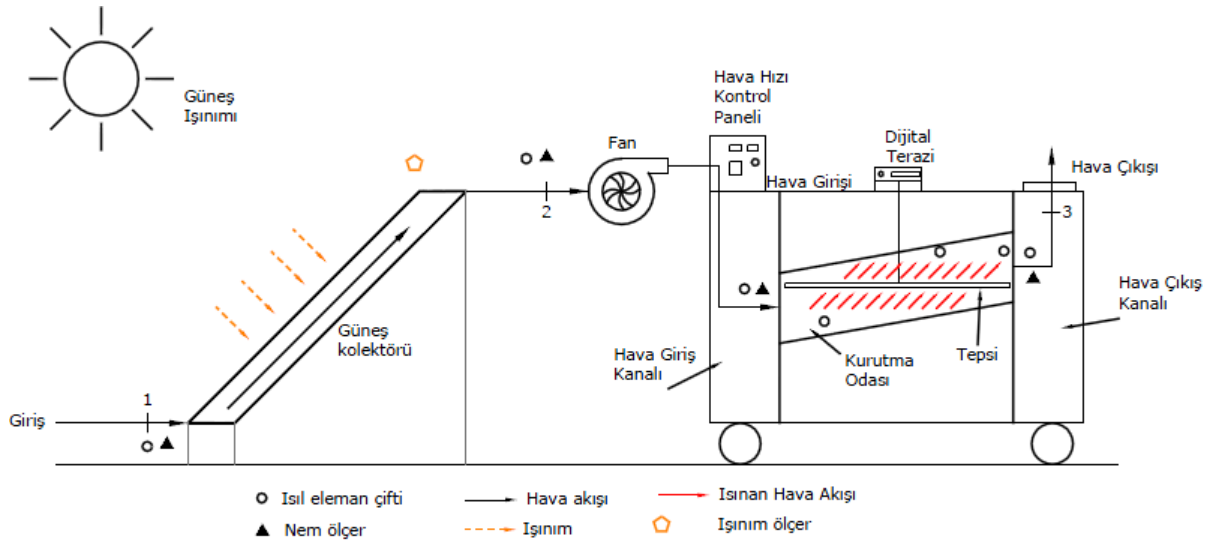
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel Düzenek

Bu çalışmada, güneş enerji destekli bir kurutma sistemi tasarlanmış ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Laboratuvarlarında imal edilmiştir

(Akman 2017, Akman vd. 2018,). Deneysel düzenek şematik ve gerçek görselleri Şekil 1'de yer almaktadır. Kurutma sistemi havalı güneş kolektörü ve kurutma kabini olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Dış ortamdan (1) kolektöre giren hava, ısınarak bir fan yardımıyla kolektörden çıkmakta (2) ve kurutma kabineye aktarılmaktadır. Kurutma kabinde (oda) dolaşan hava ürün üzerindeki nem olarak sistemden (3) atılmaktadır. Sistemde kullanılan 190x90x10 cm ölçülerindeki havalı güneş kolektörünün dış çerçevesi pleksiglas malzemeden imal edilmiştir. Ayrıca kolektörde ısı kayıplarının azaltılabilmesi için kolektörün alt ve yan yüzeyleri camyünü yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Sistemde havanın sirkülasyonunu sağlamak için kullanılan fan 70W gücünde olup, fana bağlı olan bir kontrol ünitesi ile sistem farklı hava debilerinde çalıştırılabilmektedir. Sistemde sızdırmazlığının sağlanabilmesi amacı ile tüm bağlantı noktaları yalıtılmış ayrıca kurutma kabinde ısı kayıplarının azaltılabilmesi için kabin çevresi 50 mm kalınlığında alüminyum kaplı cam yünü şilte ile kaplanmıştır. Kurutulacak ürünler, bir tepsi yardımı ile kurutma odasına yerleştirilmektedir. Kabinde kurutulacak ürünlerin gözlemlenebilmesi için şeffaf plastik malzemeden yapılmış bir gözetleme camı da yer almaktadır. Ürünlerin kuruması için kabin içerisine yerleştirilen tepsi yaklaşık 0,5 m<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olup hava geçişinin sağlanabilmesi için alüminyum telden yapılmıştır. Sistemde ürünlerdeki ağırlık değişiminin anlık izlenebilmesi için tepsi ve hassas terazi arasında bir askı sistemi kurulmuştur. Çalışmada tasarlanan kurutma kabini geleneksel kurutma kabinlerinin aksine eğimli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede kabine giren havanın, ürünler üzerindeki dolaşımının kurutma performansına pozitif etki yaratması hedeflenmiştir.





(a)



(b)

Şekil 1. Kurutma sisteminin şematik (a) ve gerçek (b) resimleri (Akman 2017, Akman vd. 2018)

## 2.2. Ölçüm sistemi ve Hata Analizi

Kurutma sisteminde farklı noktalardan sıcaklık, nem, hava hızı, ağırlık ve ışınlam gibi ölçümler gerçekleştirilmiştir. Verilerin anlık olarak izlenebilmesi ve kayıt altına alınabilmesi için bilgisayar destekli bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, sonuçlar kadar önemli bir başka nokta ise ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli

parametre ise, deneyler sırasında farklı sebeplerden dolayı ortaya çıkabilecek hatalardır. Bu hataların tespiti için hata analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada hata analizi Holman (2001), tarafından önerilen metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1’de ölçümlerde kullanılan cihazlara ve yapılan hata analizine ait bilgiler yer almaktadır.

**Çizelge 1.** Cihaz ve hata analiz bilgileri

Ölçüm Parametresi	Cihaz	Hassasiyet
Sıcaklık	COLE PARMER K tipi Isıl Eleman Çifti	0,1 °C
Rölatif nem	EPLUSE nem ölçer	2-3 %
Ağırlık	DIKOMSAN elektronik terazi	0,1 g
Hava hızı	TESTO 435 hava hızı ölçüm probu	0,1 m/s
Işınım	TRITEC ışınım sensörü	±5 %
Veri kayıt	IOTECH PD3001	16 bit
<b>Hesaplanan Parametreler</b>		<b>Hata (%)</b>
MR		2,3
DR		2,6

### 2.3. Kuruma Kinetiklerinin Modellenmesi

Bu makale kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise deneysel olarak elde edilen ürünlerin nem oranı (MR) değerlerinin, 21 farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin etmektir. MR (Boyutsuz), Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmaktadır (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Burada,  $M_t$ , herhangi bir zamandaki nem miktarı,  $M_0$ , kuruma başlangıcındaki nem miktarı,  $M_e$  ise, ürünün denge nem miktarı olarak tanımlanmaktadır.  $M_e$  değeri,  $M_t$  ve  $M_0$  değerlerinin yanında çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple MR'nin hesaplanma işlemini basitleştirmek için  $M_t/M_0$  Eşitlik 1 yerine kullanılmaktadır (Çerçi et al. 2018)

Gıda ürünlerinin içerisinde barındırdığı nem miktarı, ürünün bünyesinde bulunan su ağırlığı olarak ifade edilmekte ve kurutma işlemlerinde en önemli parametre olarak değerlendirilmektedir. Hesaplamalarda kuruma davranışlarının belirlenmesinde zamana bağlı olarak değişen nem içeriği ve kuruma hızı (DR,  $gr_w/gr_{dm}$ ) kullanılmaktadır. DR, Eşitlik 2'de verilmiştir (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003).

$$DR = \left( \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte  $M_{t+dt}$  ürünün belirli zaman ( $t+dt$ ) anındaki kuru baza (d.b.) göre nem içeriğini ifade etmektedir. En iyi modelin seçilmesi için gerekli regresyon analizleri OriginPro 2017 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.4. MR'nin Matematiksel Modellenmesi

Literatürde, kurutma sistemlerinde sisteme giren ve çıkan parametreler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan matematiksel, istatistiksel, sayısal ve analitik tekniklerden çoğunlukla yararlanılmaktadır. Çizelge 2'de farklı araştırmacılar tarafından üretilmiş ve bu çalışmada MR'nin tahmini için ele alınmış 21 modele ait bilgiler yer almaktadır.

**Çizelge 2.** MR' nin modellenmesinde kullanılan yöntemler

Model No	Model Adı	Formül	Referans
1	Lewis	$y = \exp(-k*x)$	(Bruce, 1985)
2	Page	$y = \exp(-k*x^n)$	(Page, 1949)
3	Modifiye Page	$y = \exp(-k*x)^n$	(White et al. 1981)
4	Henderson and Pabis	$y = a*\exp(-k*x)$	(Henderson and Pabis, 1961)
5	Hii et al.	$y = a*\exp(-k_0*x^n) + b*\exp(-k_1*x^n)$	(Hii et al. 2009)
6	Logaritmik	$y = a*\exp(-k*x) + c$	(Togrul and Pehlivan, 2002)
7	Two-term	$y = a*\exp(-k_0*x) + b*\exp(-k_1*x)$	(Henderson, 1974)
8	Midilli et al.	$y = a*\exp(-k*x^n) + b*x$	(Sharma and Prasad, 2004)
9	Weibull	$y = \exp(-(x/b)^a)$	(Corzo, 2008)
10	Parabolic	$y = a + b*x + c*x^2$	(Sharma and Prasad, 2004)
11	Cubic	$y = a + b*x + c*x^2 + d*x^3$	(Dalvand, 2012)
12	Sigmoid	$y = a + (b/(1 + \exp(k*(x-c))))$	(Figiel, 2009)
13	Vega-Galvez II	$y = \exp(n+k*x)$	(Lemus-Mondaca and Miranda, 2009)
14	Mod Midilli II	$y = \exp(-k*x) + b*x$	(Erbay and Icier, 2010)
15	Noomhorn and Verma	$y = a*\exp(-k_0*x) + b*\exp(-k_1*x) + c$	(Noomhorn and Verma, 1986)
16	Approximation of diffusion	$y = (a*\exp(-k*x)) + ((1-a)*\exp(-k*b*x))$	(Yaldiz and Ertekin, 2001)
17	Verma et al.	$y = a*\exp(-k*x) + (1-a)*\exp(-g*x)$	(Verma et al. 1985)
18	Two-term exponential	$y = a*\exp(-k*x) + (1-a)*\exp(-k*a*x)$	(Sharaf-Eldeen et al. 1980)
19	Simplified Fick's diciton equation (SFFD)	$y = a*\exp(-c*(x/L^2))$	(Diamante and Munro, 1991)
20	Modified page equation II	$y = \exp(-k*(x/L^2)^n)$	(Diamante and Munro, 1991)
21	Wang and Singh	$y = 1 + a*x + b*x^2$	(Wang and Singh, 1978)

Çizelge 2'deki modellerin en uygun olanlarının tespit edilebilmesi için istatistiksel analiz parametreleri korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), kare ortalamalarının kökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) kullanılmıştır. Elma ürünü için nem oranı MR'yi en iyi tahmin eden modelin seçilmesi, tahmin sonuçları ile deneysel veriler arasında elde edilen en yüksek  $R^2$  değeri, en düşük RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahip olan modellerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. İstatistiksel parametreleri hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003, Çerçi *et al.* 2018).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i}) \cdot \sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i})^2] \cdot [\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (5)$$

Bura da  $MR_{exp,i}$ , deneysel gözlemden elde edilen MR değerini,  $MR_{pre,i}$ , öngörülen MR değerini, N ise gözlemden elde edilen veri sayısını ve n sabitlerini ifade etmektedir (Akpınar ve Toraman 2016, Çerçi *et al.* 2018).

## 2.5. MR'nin GPR ile Modellenmesi

Gauss süreci (GP), tahminsel bir modeldir. Tahminsel süreç herhangi bir sınırlı sayıda koleksiyonu ve ortak bir Gaussian dağılımını takip eder. Gauss proses modeli, fonksiyonlar üzerinde önceki dağılımları belirtmenin doğal bir yolunu sağlaması bakımından özeldir (Liu *et al.* 2018). Gauss Proses Regresyonu (GPR) parametrik olmayan bir olasılık modelidir. Bu makine öğrenme yöntemi, literatürde son birkaç yılda giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem yalnızca tahmin için uygulanabilir değil, aynı zamanda tahminde belirsizliği ölçen ve tahmindeki her bir nokta için tutarlılık aralığını da sağlayabilmektedir. Temel olarak, bir Gauss süreci, ilgili olasılık dağılımının genel tanımıdır. Gauss dağılımı bir girdi vektörü almakta ve özellikleri bir ortalama ve

varyans olan olasılığını hesaplamaktadır. Bir giriş zaman serisi vektörünün, her bir zaman aşaması için olasılığı hesaplamaktadır. Bu nedenle yönsüz olan ortalama ve varyansa sahip olmak yerine, GPR modeli ortalama ve kovaryans vektörünü hesaplamaktadır (Karasu vd. 2017, Sharifzadeh *et al.* 2019). Çizelge 3'te GPR modelinde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri yer almaktadır. Çalışmada, Experimental GPR, Matern5/2 GPR, Rational Quadratic GPR ve Squared Exp. GPR modelleri olmak üzere dört farklı GPR modeli incelenmiştir.

**Çizelge 3.** GPR modelinde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri

Giriş			
Parametreler	Birim	Min	Max
Zaman	Saniye	0	116100
Çıkış			
MR	-	0	1

Denetimli öğrenmede, benzer öngörü değerlerinin ( $x_i$ ) ve yanıt değerlerinin ( $y_i$ ) yakın olması beklenmektedir. Gauss süreçlerinde bu benzerlik ilgili bir kovaryans fonksiyonu tarafından verilmektedir.  $i \neq j$  için iki gizli değişken  $f(x_i)$  ve  $f(x_j)$  arasındaki kovaryans belirlenmektedir. Tahmincinin sinyal uzunluğu  $N$  olarak ifade edilmektedir (Liu *et al.* 2018).

Gauss, gerçek değerli değişkenler üzerine bir Bayesian çıkarımdır. Önceki veya gizli fonksiyonun  $f$  olduğu varsayılarak  $f$  fonksiyonu;

$$f = N(m_f, k_{ff}) \quad (6)$$

Burada  $m_f$ , gizli veya önceki işlevin ortalamasıdır.  $k_{ff}$  ise önceki işlevin kovaryans matrisidir

$$y = f + n \quad (7)$$

Burada "f" ve "n" nin her ikisi de Gauss fonksiyonudur, dolayısıyla yukarıdaki iki fonksiyonun toplamı Gauss fonksiyonu olmaktadır. Bu özellik, Gauss fonksiyonunun toplamsal özelliği veya basitçe Gauss fonksiyonunun toplamsal özelliği olarak adlandırılmaktadır.

Olasılık işlevi,  $y$  ve  $f$  bazı  $t$  giriş değerleriyle indekslenmişse,

$$p(f|y) = \frac{p(y|f)p(f)}{p(y)} \quad (17)$$

$$P(y(t)f(t)) = p(y|f)p(f) =$$

$$N\left(\begin{matrix} f \\ y \end{matrix} \begin{matrix} m_f \\ m_y \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{ff} & k_{fy} \\ k_{y^*y^*}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (8)$$

$$k_{fy} = E\left[(f - m_f)(y - m_y)^T\right] = k_{ff} \quad (9)$$

$$k_{fy} = k_{ff} + \sigma_n^2 l \quad (10)$$

Burada  $\sigma_n^2$  gürültünün varyansı ve  $l$  uzunluk ölçüğünü ifade etmektedir.

Ortalama  $m_f$  ve kovaryans işlevi  $k_{ff}$ , giriş değerleri  $t$  tarafından indekslendiğinden,  $m_f$  ve  $k_{ff}$  aşağıdaki gibi olur:

$$m_f = \begin{bmatrix} m_f(t_1) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ m_f(t_n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ve;

$$k_{ff} = \{k(t_i, t_j)\} \quad (12)$$

$$i, j = 1 \dots \dots \dots n. \quad (13)$$

Eğer  $f$  ve  $y$  ayrı ayrı Gauss işlemine tabi tutulmuşsa, o zaman  $f$  ve  $y$  birlikte Gauss fonksiyonu olur ve bu da Eşitlik 14'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} f \\ y \end{bmatrix} = N\left(\begin{matrix} m_f \\ m_y \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{ff} & k_{fy} \\ k_{y^*y^*}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (14)$$

Burada;

$$k_{ff} = \sigma_f^2 \exp\left\{-\frac{1}{2l^2}(t_i - t_j)^2\right\} \quad (15)$$

$f$  'deki  $y$  fonksiyonu ise Eşitlik 16'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$f|y = N\left(\begin{matrix} k_{ff} k^{-1}_{jj}(y - m_y) + \\ +m_f, k_{ff} - k_{ff} k^{-1}_{yy} k^T_{ff} \end{matrix}\right) \quad (16)$$

Daha sonra, önceki veya gizli verilen veriler üzerindeki çıkarım, daha basit doğrusal cebirdir.

Veri gözlemlerini tahmin etmek için  $y^*$ :

$$\begin{bmatrix} f \\ y \end{bmatrix} = N\left(\begin{matrix} m_f \\ m_{y^*} \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{yy} & k_{y^*y} \\ k_{y^*y}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (18)$$

Aşağıdaki denklem ile önceki veya gizli olanı yalnız bırakılabilmektedir,

$$p(y) = \int p(y|f)p(f) df \quad (19)$$

$$y = N(m_f, k_{ff}) \quad (20)$$

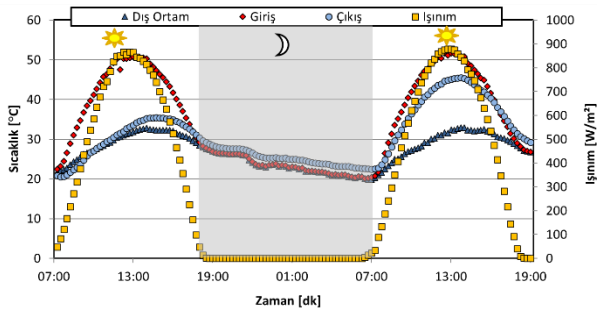
#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, Osmaniye ili iklim koşullarında birbirini takip eden sıralı iki günde yapılan deneyler kapsamında, havalı güneş kolektörü destekli yeni bir kurutucuda elmanın kuruma karakteristikleri incelenmiştir.

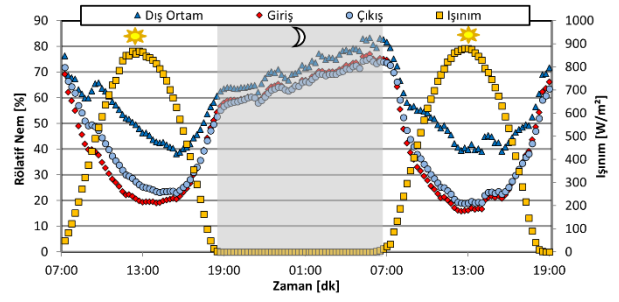
Deneylerde Elbistan/Kahramanmaraş'ta yetiştirilmiş (üretilmiş) olan Granny Smith elmalar kullanılmıştır. Deneyden önce elmalar temizlenerek kabukları soyulmuş ve eşit parçalara dilimlenmiştir. Dilimlenen bu parçalar kurutma kabini içerisindeki tepsiye tek sıra olacak şekilde dizilmiştir. Kurutma işlemi kurutma kabini içerisinde yer alan ürünler denge nemine ulaşana kadar devam etmiştir. Kurutma prosesi boyunca, güneş ışınımı, ürünün ağırlık kaybı, farklı noktalarda sıcaklık ve rölatif nem ölçümü yapılmıştır.

Şekil 2'de, kesintisiz iki gün devam eden deneyde farklı noktalarda ölçülen sıcaklık ve ışınım değerinin zamanla değişimi yer almaktadır. Şekilden sıcaklıkların gün içerisinde ışınımına bağlı olarak değiştiği, dış ortamdan sisteme giren havanın kolektörde ısınarak kabine girdiği ve ürün üzerindeki nemi alıp soğuyarak çıktığı görülmektedir. Her iki gün için de kurutma havası sıcaklıkları öğle saatlerine kadar ışınım ile doğru orantılı bir şekilde artış göstermekte, akşam saatlerinde ise ışınımın sıfır olmasıyla düşmektedir. Şekil 3'de iki günlük deney sonucunda sistem üzerindeki farklı noktalarda ölçülen rölatif nemin zaman ile değişimi yer almaktadır. Havalı güneş kolektör destekli kurutma sisteminde kolektör girişi, kabin girişi ve kabin çıkışı olmak üzere üç farklı noktada kurutma havası rölatif nemi ölçülmektedir. Şekilden rölatif nemin en yüksek değere kabin çıkış noktasında ulaştığı görülmektedir. Bunun nedeni ise ürünlerin

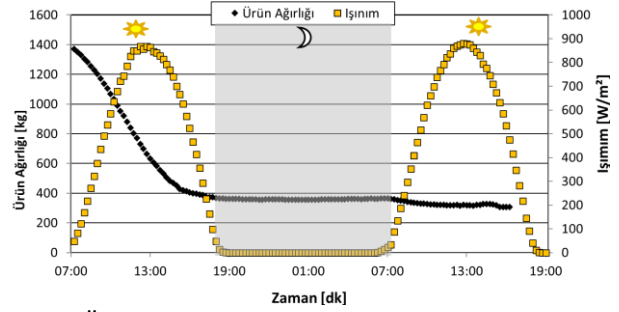
içerisinde bulunan nemin, sıcak hava ile ürün üzerinden uzaklaşarak havanın nemini arttırmasıdır. Şekilden ayrıca ışıma bağı olarak ısınan havadan dolayı rölatif nemin öğle saatlerinde düştüğü görülmektedir. Şekil 4’de iki günlük kurutma deneyinin ürün ağırlığı ve ışımanın zamana göre değişimi verilmiştir. Kurumaya başlamadan önceki ağırlığı yaklaşık 1400 gr olan elma dilimlerinden kurutma işlemi sonucunda yaklaşık 1100 gr nem uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir. Ürünün deney sonucunda denge nemine ulaştığı ağırlık değişimi olmamasından görülmektedir. Üründeki ağırlık kaybı, ışıma bağı olarak gün içerisinde, akşam saatlerine göre daha fazla olmuştur. Ayrıca üründeki ağırlık kaybı ilk gün, ikinci güne oranla da daha fazla olmuştur. Aynı etki nem oranı (MR) için de görülmektedir (Şekil 5). Şekil 6’de elma dilimlerinin kuruma hızının (DR) zaman ile değişimi verilmiştir. Şekilden ışımanın yüksek olduğu zamanlarda kuruma hangi aşamada olursa olsun kuruma hızında bir artış olduğu ayrıca üründeki nem kaybından dolayı azalan hızda kurumanın gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 7’de DR’nin MR ile değişimi yer almaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ürünlerin ortalama kuruma hızının  $0,0017 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olduğu belirlenmiştir. En yüksek kuruma hızı ise  $0,0094 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olduğu grafikte görülmektedir. Şekil 8’de Granny Smith elmalara ait numunelerin güneş enerji destekli kurutma sisteminde kurumadan önceki ve kurumadan sonraki görselleri görülmektedir. Elmalarda temel sorun ilk kesilme anından itibaren renk kaybının başlamasıdır. Elmalarda kuruma sonucunda renk kaybı meydana gelmiş fakat tat ve kokusunda bir değişiklik olmamıştır.



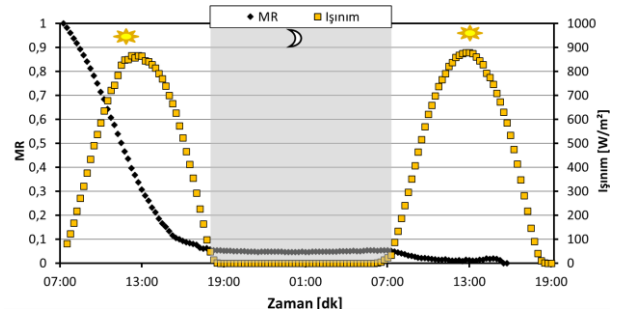
Şekil 2. Sıcaklık ve ışımanın zaman ile değişimi



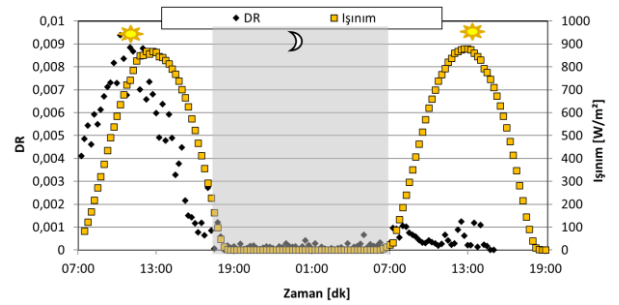
Şekil 3. Rölatif nemin zaman ile değişimi



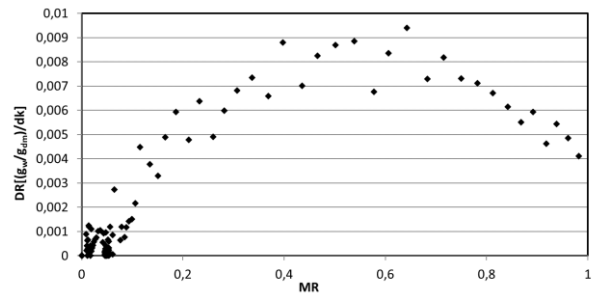
Şekil 4. Ürün ağırlığının ve ışımanın zaman ile değişimi



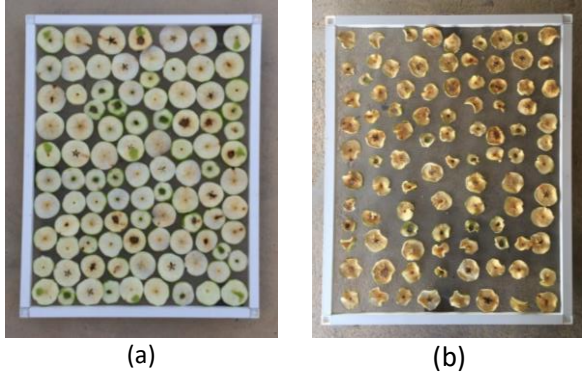
Şekil 5. Deneyde ANO ve ışımanın zaman ile değişimi



Şekil 6. Kurutma deneyinde Granny Smith elmanın kuruma hızının ve ışımanın zaman göre değişimi



Şekil 7. DR'nin MR ile değişimi



Şekil 8. Granny Smith elmanın kuruma öncesi (a) ve sonrasına (b) ait resimleri

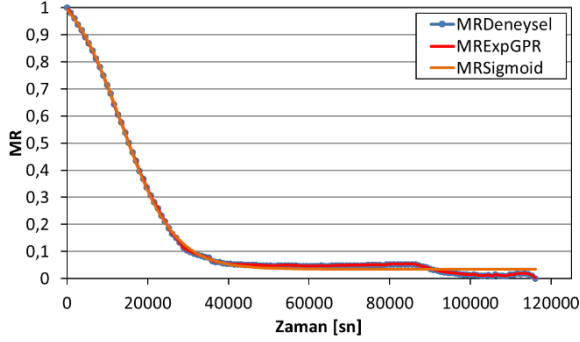
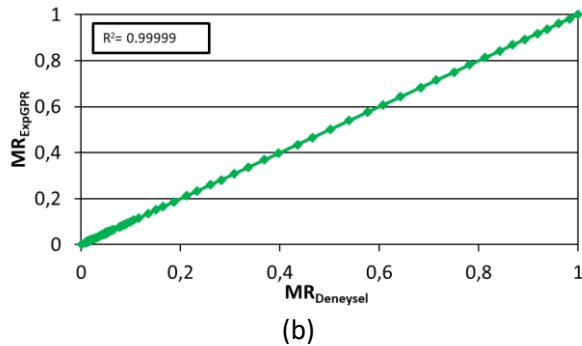
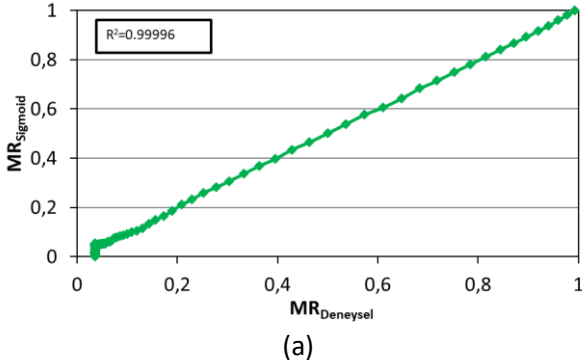
Bu çalışmada, güneş enerji destekli kurutma sisteminde kurutulan elmalar için deneysel olarak elde edilen MR değeri 21 farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin edilmiştir. Çizelge 4’de MR için 21 modelin model sabitleri ve istatistik değerlendirme parametrelerinin değerleri verilmiştir. Çizelgeden, matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında en iyi tahmine sahip modelin, en yüksek  $R^2$  ( $R^2 = 0,99765$ ) değeri ile Sigmoid matematiksel modeli (Model No:12) olduğu anlaşılmaktadır. Elmanın kurutulması sonucunda elde edilen deneysel verilerin GPR yöntemi ile tahmin edilmesinin sonuçları ise Çizelge 5’de yer almaktadır. Dört farklı GPR modeli incelendiğinde en iyi yakınsamanın Experimental GPR (Model No: GPR-1) modelinde ( $R^2=0,99999$ ,  $RMSE=0,00012$ ,  $\chi^2=1,38E-08$ ) olduğu görülmektedir. Experimental GPR modelini sırasıyla Matern5/2 GPR (Model No: GPR-3), Rational Quadratic GPR (Model No: GPR-4) ve Squared Exp GPR (Model No: GPR-2) modelleri takip etmektedir. Şekil 9’da deneysel ( $MR_{Deneysel}$ ) ve en iyi sonuç veren matematiksel ( $MR_{Sigmoid}$ ) ve GPR ( $MR_{ExpGPR}$ ) modeller ile elde edilen MR değerlerinin zamana ile değişimi, Şekil 10’da ise deneysel ve MR için en iyi sonuç veren modellerin sonuçlarının değişimi verilmiştir. Her iki şekilden de anlaşılacağı gibi Experimental GPR modelinin MR değerlerinin tahmininde diğer modellere oranla daha yüksek doğruluktadır.

Çizelge 4. Matematiksel model sonuçları

Model No	Model Sabitleri	$R^2$	RMSE	$\chi^2$
1	$k=5,41274E-5$	0,95898	0,05340	0,00287
2	$k=1,85067E-7$ , $n=1,57355$	0,98591	0,03129	9,94698E-4
3	$K=1,8513E-5$ , $n=2,92371$	0,95898	0,05340	0,0029
4	$A=1,14981$ , $k=6,17139E-5$	0,97257	0,04366	0,00194
5	$A=-0,79874$ , $k_0=7,44268E-5$ , $n=1,09688$ , $b=1,76934$ , $k_1=3,11578E-5$	0,98726	0,02976	9,21218E-4
6	$A=1,14541$ , $k=6,44543E-5$ , $c=0,01438$	0,97405	0,04247	0,00185
7	$A=2,26694$ , $k_0=5,46991E-5$ , $b=-$ $1,12093$ , $k_1=4,86655E-5$	0,97286	0,04343	0,00195
8	$A=0,9841$ , $b=3,84137E-7$ , $k=5,1325E-8$ , $n=1,70518$	0,99473	0,01913	3,77965E-4
9	$A=1,57374$ , $b=19006,1084$	0,98591	0,03129	9,94689E-4
10	$A=0,82845$ , $b=-$ $2,26376E-5$ , $c=1,45505E-10$	0,85841	0,09921	0,01008
11	$A=1,06$ , $b=-$ $4,70427E-5$ , $c=6,73058E-10$ , $d=-$ $3,02931E-15$	0,97924	0,03798	0,00149
12	$A=0,03552$ , $b=1,08036$ , $c=13440,74997$ , $k=1,52617E-4$	0,99765	0,01277	1,68516E-4
13	$N=0,13972$ , $k=-$ $6,17294E-5$	0,97257	0,04366	0,00194
14	$K=5,49889E-5$ , $b=1,24393E-7$	0,95983	0,05284	0,00284
15	$A=1,21849$ , $b=57,66967$ , $k_0=5,71747E-5$ , $k_1=-1,71304E-8$ , $c=-57,74307$	0,97634	0,04056	0,00171
16	$A=2,45602$ , $b=1,75503$ , $k=9,21271E-5$	0,98683	0,03026	9,3749E-4
17	$A=-1,46423$ , $k=1,61424E-4$ , $g=9,2213E-5$	0,98683	0,03026	9,37493E-4
18	$A=2,06375$ , $k=8,72925E-5$	0,98679	0,03030	9,32871E-4
19	$A=1,14991$ , $c=5,71165$ , $L=304,19458$	0,97257	0,04366	0,00195
20	$K=239,49841$ , $L=786,14068$ , $n=1,57346$	0,98591	0,03129	0,001
21	$A=-2,8525E-5$ , $b=1,876E-10$	0,80991	0,11495	0,01342

**Çizelge 5.** GPR model sonuçları

Model No	Model Adı	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>
GPR-1	MR <sub>ExpGPR</sub>	0,99999	0,00012	1,38E-08
GPR-2	MR <sub>SquaredExpGPR</sub>	0,99992	0,00242	5,86E-06
GPR-3	MR <sub>Matern5/2GPR</sub>	0,99997	0,00149	2,25E-06
GPR-4	MR <sub>RationalQuadraticGPR</sub>	0,99996	0,00170	2,92E-06

**Şekil 9.** MR için en iyi sonuç veren modellerin ve deneysel verilerin zamana göre değişimi**Şekil 10.** MR için en iyi sonuç veren modellerin deneysel veriler ile kıyaslanması (a- Sigmoid b-Experimental GPR)

## 5. Sonuç

Havalı güneş kolektörlü bir kurutucuda Granny Smith elmanın kuruma davranışı bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Ürünlerdeki değişimler kurutma sistemi üzerinden alınan farklı ölçümler ile

gözlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Yapılan deneyde ürünlerin kuruma davranışının iklim şartlarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.
- İlk ürün ağırlığı 1400 gr olan Granny Smith elmalardan iki günlük deney sonucunda yaklaşık 1100 gr nem çekilmiştir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda ürünlerin ortalama kuruma hızının 0,0017 ( $(gr_{su}/gr_{km})/dk$ ) olduğu belirlenmiştir.
- Deneylerden, bünyesindeki nem içeriğinin de azalmasıyla birlikte ürüne ait kuruma hızının azalan hızda gerçekleştiği belirlenmiştir.
- Matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında MR'yi en iyi tahmin eden matematiksel model, Sigmoid matematiksel modeli, en iyi GPR modeli ise Experimental GPR modelidir.

Bu çalışmada alınan sonuçlar, GPR yönteminin farklı ürünlerin kurutulması sonucu elde edilecek deneysel verilerin modellenmesinde kullanılabilir olduğunu göstermekte ve dolayısıyla kurutma kinetiklerinin alternatif makine öğrenmesi algoritmaları ile modellenmesi konusunda literatüre örnek bir çalışma niteliği taşımaktadır.

## Yazar Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2014-PT3-032 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.



## Semboller ve Kısaltmalar

a, b, c, n, e	Deneysel katsayılar	-
A	Kuruma yüzey alanı	(m <sup>2</sup> )
A <sub>k</sub>	Kolektör yüzey alanını	(m <sup>2</sup> )
DR	Kuruma hızı	g <sub>rw</sub> /g <sub>rdm</sub>
C <sub>p</sub>	Akışkanın özgül ısı	(J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
I	Kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı	(W/m <sup>2</sup> )
f, n	Gauss fonksiyonu	-
i, j	Gizli değişkenler	-
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub>	Deneysel katsayılar	(s <sup>-1</sup> )
k <sub>ff</sub>	Kovaryans işlevi	-
K <sub>b</sub>	Kuru baz	(%)
M <sub>kb</sub>	Kuru baza göre nem oranı	(%)
M <sub>t</sub>	Herhangi bir zamandaki nem miktarı	(%)
M <sub>0</sub>	Kuruma başlangıcındaki nem miktarı	(%)
M <sub>e</sub>	Ürünün denge nem miktarı	(%)
M <sub>yb</sub>	Yaş baza göre nem oranı	(%)
MR	Nem oranı	-
n	Sabitlerin sayısı	-
N	Gözlemeden elde edilen veri sayısı	-
R <sup>2</sup>	Korelasyon katsayısı	-
RMSE	Kare ortalamalarının kökü	-
t	Zaman	(s)
T <sub>ç</sub>	Havanın kolektörden çıkış sıcaklığı	(°C)
T <sub>g</sub>	Havanın kolektöre giriş sıcaklığı	(°C)
W <sub>k</sub>	Kuru ağırlığı	(gr)
x <sub>i</sub>	Benzer öngörü değerlerinin	-
y <sub>i</sub>	Yanıt değerleri	-

## Greek Sembol

μ	Viskozite	(kg/m·s)
ρ	Yoğunluk	(kg/m <sup>3</sup> )
χ <sup>2</sup>	İndirgenmiş ki-kare	-
σ	Gürültünün varyansı	dB

## 6. Kaynaklar

- Akman, H., Çerçi, K., Hürdoğan, E., ve Büyükcalaca, O. 2018. Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **1** (1), 1-9.
- Akman, H. 2017. Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Termodinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, 66.
- Akpınar, E. K., Toraman, S., 2016. Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices, *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, **52** (10), 2271–2281.
- Aktaş, M., Ceylan, İ., ve Yılmaz, S. 2009. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination*, 266–275.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., ve Öztürk, M. 2012. Fotovoltaik ve Termal Güneş Enerjili Sürekli Bir Kurutucuda Domates Kurutulması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 287-298.
- Atalay, H., Çoban, M. T., ve Kıncay, O. 2017. Modeling of the drying process of apple slices: Application with a solar dryer and the thermal energy storage system. *Energy*, 382-391.
- Bruce, D. M. 1985. Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **32** (4), 337–348,
- Cano, L. B., Verdugo, A. S., Gutierrez, L. G., ve Rivas, U. R. 2016. Modeling the thin-layer drying process of Granny Smith apples: Application in an indirect solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 1086–1094.
- Çelen, S., Arda, O. S., ve Karataşer, M. A. 2018. Güneş Enerji Destekli Mikrodalga Konveyör Kurutucu Kullanılarak Kuruma Davranışının Modellenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 267-271.
- Çerçi, K., Süfer, Ö., Söyler, M., Hürdoğan, E., ve Özalp, C. 2018. Thin Layer Drying Of Zucchini In Solar Dryer Located In Osmaniye Region. *Tehnički Glasnik*, 79-85

- Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., Vásquez, A., 2008. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices, *LWT - Food Science and Technology*, **41** (10), 2023–2028.
- Dalvand, M., ve Mohtasebi, S., Rafiee, S., 2012. Determining the influence of drying conditions on EHD drying process, *Journal of Agricultural and Biological Science*, **7**, 396–401.
- Diamante, L., ve Munro, P., 1991. Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices, *International Journal of Food Science and Technology*, **26**, 99–109.
- Erbay, Z., ve Icier, F., 2010. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **50** (5), 441–464,
- Erdoğan, E., Adanacioğlu, H., ve Örmeci Kart, M. Ç. 2016. Elma Üretiminde Pazarlama Etkinliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma: Isparta Senirkent İlçesi Örneği. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 152-159
- Figiel, A., 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices, *Journal of Food Engineering*, **94** (1), 98–104,
- Henderson, S., ve Pabis, S., 1961. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **6**, 169–174,
- Henderson, S. M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **17** (6), 1–3.
- Heybeli, N., ve Ertekin, C. 2007. Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, **3**, 179-187.
- Hii, C. L., Law, C. L., ve Cloke, M., 2009. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, **90** (2), 191–198.
- Holman JP. 2001. Experimental methods for engineers. 8th ed, Marty Lange (Editor-in-Chief), McGraw Hill, 63-65.
- Karasu, S., Altan, A., Sarac, Z., ve Hacıoglu, R. 2017. Prediction of solar radiation based on machine learning methods. *The journal of cognitive systems*, **2** (1), 16-20.
- Kavak Akpınar, E., ve Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 159-169.
- Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Andres Grau, A., Briones, V., Villalobos, R., Vega-Gálvez, A., 2009. Effect of osmotic pretreatment on hot air-drying kinetics and quality of Chilean papaya (*Carica pubescens*), *Drying Technology*, **27** (10), 1105–1115,
- Lingayat, A., (2020). Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., ve Kumar, A. Development of indirect type solar dryer and experiments for estimation of drying parameters of apple and watermelon. *Thermal Science and Engineering Progress*, **16**, 100477.
- Liu, T., Wei, H., ve Zhang, K. 2018. Wind power prediction with missing data using Gaussian process regression and multiple imputation. *Applied Soft Computing*, **71**, 905-916.
- Mengeş, H. O., Ertekin, C., ve Aydın, C. 2005. Elma Dilimlerinin Konveksiyonla Kurmasına Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi*, 229-236.
- Moussaoui, H., Bahammou, Y., Tagnamas, Z., Kouhila, M., Lamharrar, A., ve Idlimam, A. 2021. Application of solar drying on the apple peels using an indirect hybrid solar-electrical forced convection dryer. *Renewable Energy*, **168**, 131-140.
- Noomhorn, A., Verma, L., 1986. Generalized single-layer rice drying models, *Transactions of the ASAE*, **29**, 587–591.
- Özgen, F. 2014. Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 42-49.
- Page, G., 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, Purdue Üniversitesi, Amerika.
- Sharaf-Eldeen, Y., Blaisdell, J., ve Hamdy, M., 1980. A model for ear corn drying, *Transaction of the ASAE*, **23** (5), 1261–1271.

- Sharifzadeh, M., Sikinioti-Lock, A., ve Shah, N. 2019. Machine-learning methods for integrated renewable power generation: A comparative study of artificial neural networks, support vector regression, and Gaussian Process Regression. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **108**, 513-538.
- Sharma, G. P., ve Prasad, S., 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying, *Journal of Food Engineering*, **65** (4), 609–617,
- Sreekumar, A., Manikantan, P. E., ve Vijayakumar, K. P. 2008. Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management*, **49**(6), 1388-1395.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M., ve Mutlu, A. 2009. Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1-6.
- Tırıs, M., Tırıs , Ç., ve Erdalli, Y. 1997. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Araştırma Enstitüsü, Gebze, 128-131.
- Togrul, I. T., Pehlivan, D., 2002. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers, *Journal of Food Engineering*, **55** (3), 209–216,
- Tokdemir M., Boran K., Aktaş M., ve Alkaç S. P., 2018. Isı pompalı kurutma tekniği ile toz elma ve elma cipsi üretimi: performans analizi, *Politeknik Dergisi*, **21**(4): 887-894,
- Ullah, F., ve Kang, M. 2017. Impact of air flow rate on drying of apples and performance assessment of parabolic trough solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 275–280.
- Verma, L., Bucklin, R., Endan, J., Wratten F.T, 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models, *Transaction of the ASAE*, **28**, 296–301,
- Wang, C. Y., & Singh, R. P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying. *Transactions of the ASAE*, **11**, 668–672.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., ve Hu, X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, **40**(1), 39-46.
- White, G. M., Ross, I. J., ve Poneleit, C. G., 1981. Fully-Exposed Drying of Popcorn., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **24** (2), 466–468.
- Yaldiz, O., ve Ertekin, C., 2001. Thin layer solar drying of some vegetables, *Drying Technology*, **19** (3–4), 583–597.

## Havzaların Benzerliklerini Tanımlamada Alternatif Bir Yaklaşım: Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi Uygulaması

Ersin AYTAÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

e-posta: ersin.aytac@beun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7124-4438>

Geliş Tarihi: 29.01.2021

Kabul Tarihi: 31.07.2021

### Öz

Makine öğrenmesi yöntemleri günümüzde birçok alanda kullanımını yaygınlaştırmış ve yerini sağlamlaştırmıştır. Denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç ana kola ayrılan makine öğrenmesi süreçleri, araştırmacıların gözle fark edemediği bağlantıları bulmada veya uzun süreli hesaplama gerektiren durumlarda ön plana çıkmaktadırlar. Denetimsiz öğrenme yöntemleri, etiketlerinin bulunmadığı verilerdeki kalıpları veya yapıyı keşfetmek için kullanılan makine öğrenmesi yöntemleridir. Hiyerarşik kümeleme süreci en önde gelen denetimsiz öğrenme yöntemlerinden birisidir. Bu çalışma havzaların benzerliklerini tanımlama da kullandığımız sürece alternatif bir yöntem sunmak amacıyla yürütülmüştür. Önerilen yöntemin avantajları arasında veri setinde yer alan tüm havzaların birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya koyması, veri setindeki gürültüye daha az duyarlı olması, az havza içeren uygulamalarda daha kullanışlı olması ve küme içi tutarlılığı sağlamada araştırmacıya esneklik tanınmasıdır. Çalışmada Türkiye'nin kuzeyinde bulunan bazı havzaların hidrolojik müdahale birimleri (HRU) görüntüleri ve hiyerarşik kümeleme yaklaşımı kullanılarak kümelenmesi incelenmiştir ve birbirine en çok benzeyen iki havzanın Ereğli ve Çaykırı havzaları olduğu anlaşılmıştır. Havzaların birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya çıkarmak için mesafe matrisi hazırlanmıştır. Ayrıca bağımsız kümeler oluşturmak için dendrogramın kesme mesafesi seçiminde dört farklı istatistiksel yaklaşım kullanılmıştır. İstatistiki yöntemlerin önerdiği küme sayıları içerisine kalmak şartı ve küme içi homojenliği korumak amacıyla 6 ayrı küme oluşturulmuş ve havzaların kümelere bağlı dağılımı gösterilmiştir. Bu çalışma havzaların HRU görüntülerine göre hidrolojik benzerliklerine dayanarak kümelenmelerinde alternatif bir bakış açısı sunmaktadır.

### Anahtar kelimeler

Hiyerarşik kümeleme;  
Hidrolojik müdahale birimi; Kesme yüksekliği; Denetimsiz öğrenme; Havza

## An Alternative Approach in Defining the Similarity of Catchments: Application of Hierarchical Clustering Method

### Abstract

Machine learning methods have widespread their use and strengthened their places in many areas. These procedures can be divided into three main branches as supervised, unsupervised, and reinforced learning and assist researchers to find connections in the data that cannot be seen or in situations that require long-term computation. Unsupervised methods are used to discover patterns or structures in data which does not have any labels. The hierarchical clustering process is one of the leading unsupervised methods. This study is an alternative approach to the process we used in defining the similarities of basins. The advantages of the proposed method are; reveals the relations between all basins, is less sensitive to noise in the data set, is more useful in applications with fewer basins, and is flexible in ensuring intra-cluster consistency. Some basins located in the north of Turkey based on their hydrological response units (HRU) images were hierarchically clustered and found out that and the two basins most similar to each other are the Ereğli and Çaykırı catchments. A distance matrix was prepared to reveal the relations of the basins. Besides, to create independent clusters, four different statistical approaches were used to select the cut-off height of the dendrogram. To stay within the cluster numbers suggested by statistical methods and to ensure cluster homogeneity, 6 separate clusters were created. The distribution of the catchments depending on the clusters was illustrated. This study provides an alternative perspective for the clustering of basins based on HRU images.

### Keywords

Hierarchical clustering;  
Hydrological response unit; Cut-off height;  
Unsupervised learning;  
Catchment

## 1. Giriş

Makine öğrenmesi (MÖ), tahmine dayalı analiz süreçleri için ortaya çıkan veri analiz yöntemleri alanıdır (Han *et al.* 2020). Bu yöntem, insanlara sürekli çaba göstermeden veya çok az çaba göstererek yardımcı olmak için eğitilebilen bilgisayarları kapsar (Ramkumar *et al.* 2019). Makine öğrenimi algoritmaları, sağlık, ulaşım, konuşma analizi, bilgisayarla görme, pazar analizi, yaşam bilimleri ve diğerleri dahil olmak üzere sayısız uygulama alanında geniş bir ölçekte yerini almıştır (Loreti *et al.* 2020). En basit haliyle MÖ, bir sonucu tahmin etmek veya öngörmek için gerçek dünya verilerinin çeşitli algoritmalar ile işlenmesidir (Haeberle *et al.* 2019). Makine öğrenmesi üç temel kategoriye ayrılır, denetimli öğrenme (supervised learning), denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) ve takviyeli öğrenme (reinforcement learning,) (Castellanos-Garzón *et al.* 2019). Denetimli öğrenme yaklaşımları, çıktı değerlerini hesaplamak için çok değişkenli veri kümeleri kullanır. Denetimsiz prosedürler kullanıcı tarafından belirtilmeyen istatistiklerin birleştirilmesine izin veren modelleri geliştirme amacı güder (Sahu *et al.* 2020). Takviye öğrenmede ise, akıllı süreçler hedeflerine ulaşmak için dinamik bir ortamda birbirleriyle etkileşime girerler (Castellanos-Garzón, Costa *et al.* 2019). Karar ağaçları (decision trees), yapay sinir ağları (artificial neural networks), destek vektör makineleri (support vector machines), *k-ortalamalar* (*k-means*), hiyerarşik kümeleme (hierarchical clustering), gürültü ile uygulamaların yoğunluk temelli mekânsal kümelenmesi (Density-based spatial clustering of applications with noise) öne çıkan makine öğrenmesi yöntemleridir (Kotsiantis 2007, Wang *et al.* 2019).

Denetimsiz öğrenme, işlemlerin etiketi hakkında bilgi gerektirmeyen, veri dağılımını karakterize etmeyi amaçlayan ve son yıllarda giderek daha fazla araştırmacının odak noktası olmaya başlayan makine öğrenmesi tekniklerindedir (Carcillo *et al.* 2019, Tang *et al.* 2019). Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, faktör analizi, gizli modeller ve sapkın gözlemlerin algılamasındaki son gelişmeler,

denetimsiz MÖ tekniklerinde önemli ölçüde ilerleme kaydedilmesine yardımcı olmuştur (Usama *et al.* 2019). Kümeleme yöntemleri denetimsiz öğrenmede öne çıkan yöntemlerdendir. Bu tekniklerin hedefi, benzer verileri kümelere ayırarak tanımlamaktır (Ferreira *et al.* 2019). Kümeleme algoritmaları sayesinde araştırmacılar bilinmeyen, ancak yararlı olan sınıflandırmaları keşfetme, sunulan bilgilerin altında yatan ve fark edilemeyen yapıyı ortaya çıkarma şansı bulmuştur (Kotsiantis 2007, Castro *et al.* 2018). Kümeler, benzerlik veya içsel özelliklere dayanarak sınırlandırılır, böylece aynı kümedeki örnekler benzerken, farklı kümelerdeki örnekler ayrı özellik gösterir (Chen *et al.* 2019). *k-ortalamalar*, kendi kendini düzenleyen harita (self-organizing map), karışım modeli (mixture model) hiyerarşik kümeleme (hierarchical clustering) (HK) ve bulanık C-ortalamaları (fuzzy C-means) denetimsiz öğrenmede kullanılan temel kümeleme aileleridir (Abdalla *et al.* 2019). Hiyerarşik kümeleme, kalıplar arasındaki yakınlığa göre değişken kümeleri (R-modu) veya gözlemler (Q-modu) hiyerarşisini ayarlar (Yang *et al.* 2019). Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinde, veriler dendrogram adı verilen ağaçsı yapılar olarak kategorize edilir. Tüm veriler dendrogramdaki kök ve düğümler ile bağlanır, düğümlerdeki yapraklar verileri ifade eder ve orta düğümler verilerin birbirine benzerliğini gösterir (Jafarzadegan *et al.* 2019). Hiyerarşik kümelemenin avantajları arasında, önceden küme sayısının belirtilmesini gerektirmemesi, dendrogram adı verilen grafiksel ara yüze sahip olması ve değişken şekil ve büyüklükteki kümeleri tespit etme yeteneğine sahip olması gelmektedir (Govender and Sivakumar 2020).

Son 30 yılda, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dünya çapında en yaygın kullanılan havza ölçekli modellerden biri haline gelmiştir (Wu *et al.* 2020). SWAT yazılımı, havza yönetimi uygulamalarında havzadaki suyun hem miktarını hem de kalitesini ölçebilir (Gungor and Goncu 2013). SWAT, günlük veya aylık bir zaman adımında ve uzun vadeli simülasyonlar için yıllık adımlarla çalışabilen,

mekansal olarak dağıtılmış, fiziksel tabanlı bir hidrolojik modeldir. 20 yıllık macerasından sonra yeni kodlama özellikleriyle SWAT+ olarak adlandırılan tamamen yeniden yapılandırılmış bir SWAT sürümü yayınlanmıştır. SWAT+, mekansal temsil açısından SWAT'tan daha esnektir ve ilgili modüler kodlar, gelecekte eklenecek uygulamalar ve genel kullanıcılar için geliştirmeyi kolaylaştırmak üzere tasarlanmıştır (Wu *et al.* 2020).

Sayısal yükseklik modelleri, arazi kullanımı ve toprak tipleri programın ihtiyaç duyduğu veri katmanlarıdır (Wangpimool *et al.* 2013). Bu üç haritanın kombinasyonları oluşturularak incelenecek olan havza, hidrolojik müdahale birimleri (hidrolojik response units) (HRUs) adı verilen birbirine benzemeyen parçalara ayrılır (Asres and Awulachew 2010, Rocha *et al.* 2015). Model, her bir HRU için yüzey akışı, taban akışı, evapotranspirasyon ve toprak nemi değişimi gibi ilgili hidrolojik bileşenleri tahmin ederek çalışır (Song and Zhang 2012). SWAT modelinde havzadaki suyun hareketi, HRU'lardan alt havza seviyesine ve daha sonra akarsu ağı yoluyla havza çıkışına simüle edilir (Zhou *et al.* 2013). SWAT modelinin bir havzayı HRU'lara bölmesinin bazı avantajları vardır. Bunlardan ilki hidrolojik bütçe, bitki büyümesi, erozyon, böcek ilacı dinamiği, tarımsal yönetim ve besin döngüsü simülasyonlarının daha kolay yapılabilmesidir. Yine bu küçük birimler sayesinde akarsulara su, besin ve tortu akışı günlük zaman ölçeğinde elde edilebilir ve kontrol edilebilir (Sheshukov *et al.* 2016). Ayrıca HRU'lar hidrolojik süreçlerin jeomorfolojik özelliklerini temsil eder. HRU oluşturmanın diğer bir avantajı ise HRU'ların enkaz akış riskini değerlendirmek için temel birimler olarak kullanılabilir olmalarıdır (Zou *et al.* 2019).

Bu çalışma, daha önce havzaların benzerliklerini tanımlama da kullandığımız yöntem (Aytaç 2020) alternatif olarak farklı bir denetimsiz öğrenme yaklaşımı olan hiyerarşik kümeleme yöntemi ile Türkiye'nin kuzeyinde bulunan bazı havzaların HRU görüntüleri kullanılarak kümelenmesinin yapılabirliği incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmamızdan farklı olarak hiyerarşik kümeleme yöntemin avantajları şu şekildedir; hiyerarşik

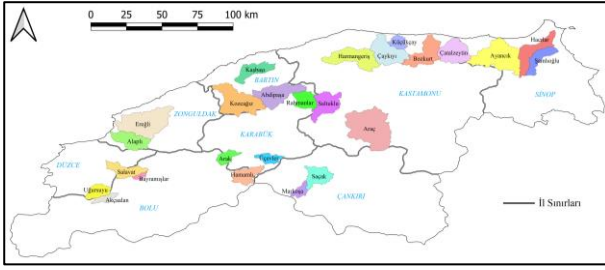
kümeleme yöntemi, yalnızca nesnelere tek bir bölümünü değil, bir kümeleme hiyerarşisi oluşturur. Bu durum araştırmacılara veri setinde bulunan tüm verilerin birbirleri ile olan ilişkilerini gözlemleme şansı tanır ve verilerdeki benzerliği keşfetmeye yardımcı olabilecek daha küçük kümeler oluşturabilmelerini sağlar. Hiyerarşik kümeleme yöntemi veri setindeki gürültüye daha az duyarlıdır, böylece HRU'ların çok olduğu havzalarda daha iyi kümeleme yaklaşımı elde etmektedir. Yine bu yöntem küçük veri setlerinin işlenmesinde daha kullanışlıdır. Literatürde yer alan yöntemimizde kümeleme işlemi, önceden belirlenen bir küme sayısı ( $k$ ) gerektirirken, yeni önerilen yöntemde kümeleme süreci araştırmacı tarafından istenilen seviyede (veya kümelerde) yapılabilir. Bu durum araştırmacıya küme içi tutarlılığı artırmada esneklik sunmaktadır (Kaushik and Mathur 2014, Reddy *et al.* 2017).

Bu çalışmada sunulan yöntem ile ilgili dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, bunun bir sınıflandırma (classification) işlemi olmadığı ve elde edilen kümelerin havzaların önceden belirlenmiş hidrolojik özelliklerine göre bir sıraya dizilmediğidir. Bu yöntem, gizli kalıplardan yeni bilgiler öğrenmeyi amaçlar ve havzalar arasında bir ilişki olup olmadığını bulmaya çalışır (Aytaç 2020).

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1 Çalışma Alanı**

Kümelemesi yapılacak olan havzaları kapsayan alan Türkiye'nin kuzeyinde, DDS 40°8'39" – 42°5'52" N ile 30°33'35" – 35°27'2" E koordinatları arasında yer almakta ve Düzce, Bolu, Zonguldak, Bartın, Karabük, Kastamonu, Çankırı ve Sinop illerini içermektedir. Çalışmada kullanılmak üzere 25 adet havza oluşturulmuştur. Havzalara, ya havza içerisinde bulunan akarsuyun adı ya da havza çıkışında bulunan yerleşim biriminin ismi verilmiştir. Şekil 1'de çalışma alanı ve çalışmada kullanılan havzalar görülmektedir.



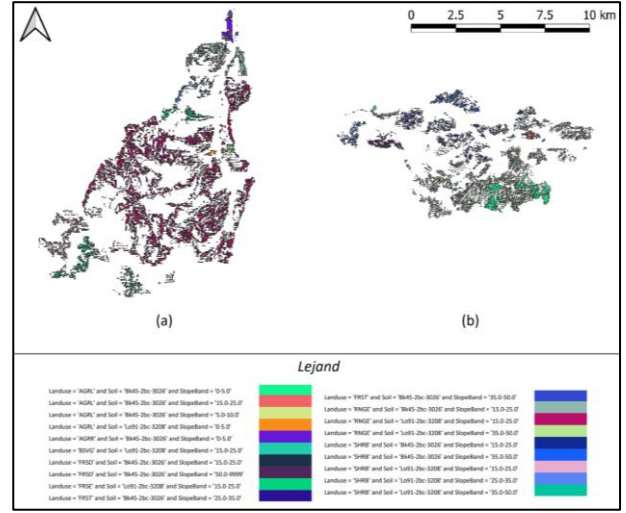
Şekil 1. Çalışma alanı ve çalışmada kullanılan havzaların konumları

## 2.2 Hidrolojik Müdahale Birimlerinin Görüntülerinin Oluşturulması

Havzaların HRU görüntülerinin oluşturulması süreci 3 basamakta gerçekleştirilmiştir. Birinci basamakta SWAT+ modeli kullanılarak her bir havzanın HRU'ları oluşturulmuştur. İkinci aşamada oluşturulan HRU tiplerine renk ataması yapılmıştır. Bu işlem için bir MS Excel makrosu kodlanmış ve kodlanan makro her bir özgün HRU'ya farklı bir renk atamıştır. Görüntü oluşturma sürecinin son aşaması HRU'larla ifade edilmiş ve renklendirilmiş havzaların şekil dosyalarının oluşturulmasıdır. Bu işlem için Quantum Geographic Information System (QGIS) programının baskı düzenleme seçeneği kullanılmıştır. Veri hazırlama sürecinin detaylarına Aytaç, E. (2020) [28] çalışmasından ulaşabilir. Standart hale getirilmiş görüntü dosyalarının özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 2'de görüntü işlemede kullanılacak olan havzalardan ikisinin HRU şekilleri örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Oluşturulan görüntülerin özellikleri

Boyut (mm)	Çözünürlük (dpi)	Koordinat Sistemi (ESPG)	Ölçek	Biçim
500 x 500	500	32636 - WGS 84 / UTM bölgesi 36N	1/90000	TIFF



Şekil 2. (a) Markoşa ve (b) Üçevler havzalarının standartlaştırılmış HRU görüntüleri

Şekil 2'de de görüldüğü gibi havzalarda bulunan bazı HRU tipleri silinmiştir. Bu durum SWAT+ programının filtreleme özelliği kaynaklıdır. SWAT+ programı modelleme sürecini basitleştirmek için önemsiz (çok küçük ve havza hidrolojisi üzerinde az bir etkisi olan) HRU tiplerini silmektedir. Bu filtreleme süreci nedeniyle havza sınırları içerisinde sadece baskın HRU desenleri kalmıştır. Filtreleme işlemi SWAT+ modeliyle yapılmış bütün çalışmalarda kullanılmaktadır ve sonuçlar üzerindeki etkileri çok düşük olduğu için standart bir prosedürdür (Aytaç 2020).

## 2.3 Hiyerarşik Kümeleme Süreci

Çalışmada Orange veri madenciliği aracı (Int Kyn. 3) kullanılarak görüntü yerleştirme (embedding), mesafe belirleme ve hiyerarşik kümeleme süreçleri yürütülmüştür. Orange programı ilk olarak Janez Demšar ve Blaž Zupan tarafından kodlanan, Ljubljana Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Biyoformatik Laboratuvarı tarafından geliştirilen ve 20 yılı aşkın bir süredir yeni makine öğrenme algoritmaları için bir test platformu görevi gören bir modeldir (Janez Demšar 2013, Naik and Samant 2016). Kümeleme süreci Orange programının görüntü yerleştirme bileşenine aktarılmasıyla başlamıştır. Görüntü yerleştirme sürecinde resimler görüntü analiz eden bir derin ağ ile incelenir ve vektörlerine ayrılarak sayısal olarak ifade edilirler (Huang *et al.* 2018, Godec *et al.* 2019). Orange görüntü yerleştirme biriminde görüntüler



Google'ın InceptionV3 derin öğrenme ağı ile işlenmektedir. InceptionV3 ImageNet verileri üzerinde eğitilmiştir ve süreç sonucunda görüntü 2048 farklı boyut ile ifade edilmektedir (Int Kyn. 1, Godec *et al.* 2019).

Görüntü yerleştirme biriminden elde edilen veriler mesafe birimine gönderilmiştir. Bu birim sayesinde veri kümesindeki satırlar veya sütunlar arasındaki mesafeler hesaplanmaktadır (Int Kyn. 2). Mesafelerin hesaplanması kosinüs benzerlik ölçümü (KBÖ) ile yapılır. KBÖ yönteminde mesafe hesaplaması iki vektör arasındaki açının kosinüsünü ölçerek gerçekleştirilir (Chen *et al.* 2019). İki vektörün benzerliği N-boyutlu uzayda matematiksel olarak Eş. 1'deki gibi ifade edilebilir (Crosta *et al.* 1998);

$$Benzerlik = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\|_2 \cdot \|B\|_2} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (1)$$

Burada;  $A$  ve  $B$  görüntülerin piksellerinin vektörüdür. Son aşama ise görüntülerin kümelendirilmesidir. Kümeler arasındaki mesafe metriği, Tam Bağlantı (Complete linkage) olarak ayarlanmıştır. Birbirinden en uzak iki nesne arasındaki mesafe olarak tanımlanan tam bağlantı terimi, diğer bir deyişle, iki nesne arasındaki en büyük farklılığı hesaplar (Janert 2010, Govender and Sivakumar 2020). Tam bağlantı yöntemi, tek bağlantı (single linkage) yönteminin jeokimyasal yapıları maskeleyebilen zincirleme etkisi veya ortalama bağlantının (average linkage) ek varsayımlar gerektirmesi gibi sınırlamalarının üstesinden gelebildiği için tercih edilmiştir (Yang, Grunsky *et al.* 2019).  $G_1$  ve  $G_2$  gibi iki küme içerisinde bulunan verilerin tam bağlantı denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir (Eş. 2).

$$d_{G_1 G_2} = \max_{i \in G_1, j \in G_2} (d_{i,j}) \quad (2)$$

Ayrıca verilerin birbirlerinden farklılıkları saptamak için Orange programı ile mesafe matrisi üretilmiştir. Mesafe matrisi iki boyutlu, simetrik, negatif

olmayan bir matristir ve bir kümedeki elemanlar arasında ikili mesafe tahminlerine karşılık gelir (University of Ljubljana , Weyenberg and Yoshida 2015).

Orange veri madenciliği programında hiyerarşik kümeleme yönteminde kümelerin oluşturulma süreci aşağıdaki adımlarla yürütülmektedir.

1. Öğeler arasındaki mesafelerin ölçümü için bir mesafe ölçüm yöntemi seçin (Bu çalışmada KBÖ yöntemi seçilmiştir)
2. Kümeler arası mesafeler için bir mesafe metriği seçin (Bu çalışmada tam bağlantı seçilmiştir)
3. Her bir verinin bir küme sayıldığı N adet küme oluşturun ve aşağıdaki döngüyü çalıştırın:
  - Mevcut mesafe matrisini kullanarak birbirine en yakın iki veriyi bulun ve bu verileri kümeleyin. Bu kümenin düğümü iki veri arası uzaklık olacaktır.
  - Bu işlemi diğer verilere de uygulayarak verilerin birincil kümeleri oluşturun.
  - Kümelerin birbirlerine olan mesafelerini içeren yeni mesafe matrisi oluşturmak için bağlantı kriterini (bu çalışma için tam bağlantı yöntemi kullanılmış yani kümeler arasındaki bağlantı kümelerdeki en uzak iki veri arasında yapılmıştır) ve kosinüs benzerlik ölçütünü kullanın.
  - Yeni hesaplanan mesafelere göre mesafe matrisini güncelleyin.
4. Tüm öğeler tek bir kümede birleştirilene kadar bu döngüyü tekrarlayın (de Aguiar Neto *et al.* 2020).

Hiyerarşik kümeleme yöntemi her ne kadar birbirinden mutlak olarak ayrılmış kümeler yaratmaya çalışmasa da (Dumont *et al.* 2018), HK'de elde edilen dendrogram optimal küme sayısının belirlenmesine yardımcı olabilir. Fakat dendrogramın kesme yüksekliğine karar vermek zorlu bir süreçtir (Li *et al.* 2018, Govender and Sivakumar 2020). Araştırmacılar temel kümeler elde etmek için bir kesme yüksekliği uygulayarak, dendrogramın dikey çizgilerinin kesilme sayısını

sayabilirler. Ancak burada en önemli sorun, kesme noktasını belirlemede kesin ve güvenilir bir yöntem bulunmamasıdır (Zambelli 2016). Kesme yüksekliğini belirlemek için önerilen bazı istatistiksel yöntemler vardır. Farklı araştırmalarda dirsek (elbow), en büyük fark (maximum difference) ve mod (mode) yöntemleri sunulmuştur (Zambelli 2016, Samarasinghe *et al.* 2019). Ayrıca Dumond ve ark. (2018), kesme noktasını belirlemek için x ekseninde küme sayıları ve y ekseninde kümeler arası mesafelerin olduğu bir çizgi grafik kullanmıştır. Bu çalışmada kesme yüksekliğinin seçimi, grafikte eğiminin azalmaya başladığı nokta (dirsek formasyonu) olarak belirlenmiştir (Dumont, Reninger *et al.* 2018).

Dirsek yönteminde kümeler arası mesafe Eş. 3 ile ifade edilmektedir;

$$\{d_i \dots d_N\} = \{d_3 - 2d_2 - d_1, \dots, d_N - 2d_{N-1} - d_{N-2}\} \quad (3)$$

Burada;  $i$ ,  $i$ 'inci küme mesafesi ve  $N$  ise veri sayısıdır. Dirsek yöntemine göre küme sayısı ( $\hat{K}_E$ ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Eş. 4) (Samarasinghe, Gunawardena *et al.* 2019),

$$\hat{K}_E = N + 2 - \underset{i \in [3, N]}{\operatorname{argmax}} \{d_i - 2d_{i-1} - d_{i-2}\} \quad (4)$$

En büyük fark yönteminde ise dirsek yöntemine benzemektedir. Bu yöntemde kümeler arası mesafe Eş. 5 ile ifade edilir,

$$\{d_i \dots d_N\} = \{d_3 - d_2, \dots, d_N - d_{N-1}\} \quad (5)$$

Küme sayısı ( $\hat{K}_D$ ) ise aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanır (Eş. 6),

$$\hat{K}_D = N + 2 - \underset{i \in [2, N]}{\operatorname{argmax}} \{d_i - d_{i-1}\} \quad (6)$$

Mod yöntemi, kümeler arasındaki mesafenin ampirik dağılımına bağlıdır. İlk olarak dağılımın modu ( $\hat{D}$ ) hesaplanır. Küme sayısı aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir (Eş. 7).

$$\hat{K}_M = \hat{D} + \alpha \sigma_D \quad (7)$$

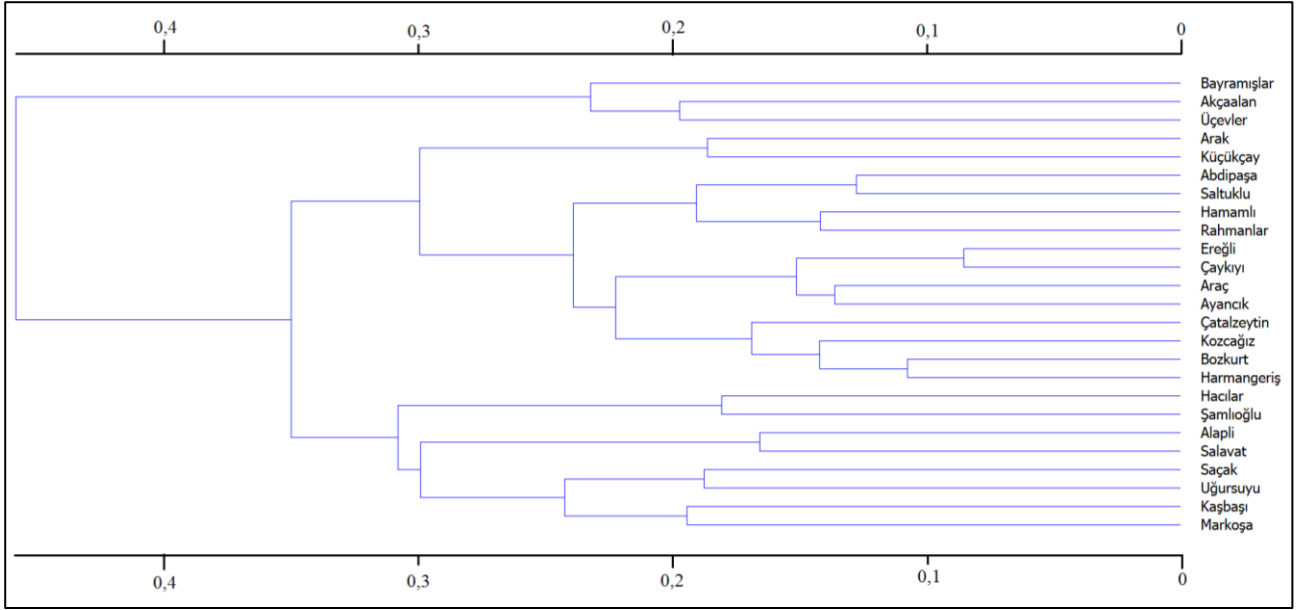
Burada;  $\sigma_D$  standart sapmadır ve  $\alpha$ , araştırmacı tarafından keyfi olarak seçilebilen bir parametredir (Zambelli 2016).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Orange veri madenciliği aracı, hiyerarşik kümelemenin işleminin sonuçlarını bir dendrogramla ifade eder. Dendrogram, düğümlerin hiyerarşinin bölgelerini temsil ettiği ve küme yapısını görselleştirmeye yardımcı olan ağaç benzeri bir yapıdır (Li, Ma *et al.* 2018, Perret *et al.* 2019). Bir dendrogramda, düğümler arasındaki benzerlik, onları birleştiren bağlantının mesafeleriyle ifade edilir ve her düğümün koordinatı, nesnelere arasındaki farklılığı gösterir (Manning and Schütze 1999, Weyenberg and Yoshida 2015). Her düğüm kendi kümesinde başlar ve en küçük mesafeye sahip düğümler kademeli olarak birleştirilir (Yang *et al.* 2019). Ortaya çıkan dendrogram Şekil 3'de görülmektedir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi, x eksenindeki birimler veri örnekleri arasındaki farkları sayısal olarak göstermektedir. Daha yüksek bir değer daha az benzerlik anlamına gelir. İki düğümü bağlayan kolun uzunluğu ne kadar küçük olursa, iki veri de birbirine o kadar benzerdir. Şekil 4'de en küçük düğümle birbirlerine bağlanmış ve birbirine en çok benzeyen iki havza Ereğli ve Çaykırı havzaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iki havza arasındaki mesafe 0,085 olarak ölçülmüştür. Bu havzaları benzerlik bakımından sırasıyla 0,107 ve 0,127 değerleriyle Bozkurt – Harmangeriş ve Abdipaşa – Saltuklu havzaları izlemektedir. Dendrogram ilk olarak iki kola daha sonra üç, dört ve en son her bir veri örneğinin bir grup oluşturacağı şekilde 22 kola ayrılarak kümelenebilir. Kolların ayrılma noktalarından orijine olan uzaklıkları, o kümelerin birbirlerine olan mesafelerini belirtmektedir.

Dendrogram ilk olarak 0,458 mesafesinde iki kola ayrılmıştır. Birinci kolda Bayramışlar, Akçaalan ve Üçevler havzaları küme oluşturmuş, diğer havzalar ise ikinci kolda ikinci kümeyi oluşturmuşlardır.



Şekil 3. Hiyerarşik kümeleme işlemi sonucu ortaya çıkan dendrogram

Orange veri madenciliği aracının veri setindeki her bir verinin birbirlerinden farklılığını ifade ettiği başka bir birimi ise mesafe matrisi birimidir. Şekil 4'de

Orange tarafından oluşturulan mesafe matrisi görülmektedir.

	Abdipaşa	Akçaalan	Alaplı	Arak	Araç	Ayancık	Bayramışlar	Bozkurt	Ereğli	Hacılar	Hamamlı	Harmangeriş	Kaşbaşı	Kozcağız	Küçükçay	Markoşa	Rahmanlar	Salavat	Saltuklu	Saçak	Uğursuyu	Çatalzeytin	Çaykırı	Üçevler	Şamlıoğlu
Abdipaşa		0.310	0.223	0.229	0.129	0.136	0.429	0.173	0.138	0.208	0.139	0.149	0.219	0.186	0.282	0.217	0.190	0.265	0.127	0.280	0.287	0.207	0.181	0.295	0.228
Akçaalan	0.310		0.391	0.341	0.331	0.340	0.214	0.252	0.341	0.309	0.299	0.308	0.312	0.270	0.351	0.282	0.277	0.311	0.323	0.283	0.239	0.316	0.298	0.197	0.282
Alaplı	0.223	0.391		0.282	0.264	0.178	0.441	0.175	0.190	0.277	0.274	0.173	0.240	0.152	0.293	0.280	0.267	0.166	0.219	0.236	0.247	0.201	0.220	0.354	0.292
Arak	0.229	0.341	0.282		0.257	0.257	0.387	0.240	0.245	0.233	0.227	0.271	0.241	0.267	0.186	0.197	0.263	0.343	0.195	0.223	0.309	0.212	0.151	0.294	0.255
Araç	0.129	0.331	0.264	0.257		0.136	0.458	0.154	0.111	0.215	0.193	0.185	0.265	0.222	0.299	0.243	0.176	0.307	0.154	0.290	0.309	0.212	0.151	0.294	0.255
Ayancık	0.136	0.340	0.178	0.257	0.136		0.442	0.144	0.108	0.227	0.194	0.140	0.274	0.150	0.282	0.242	0.187	0.203	0.195	0.225	0.300	0.175	0.146	0.293	0.282
Bayramışlar	0.429	0.214	0.441	0.387	0.458	0.442		0.379	0.449	0.343	0.382	0.448	0.332	0.359	0.414	0.262	0.424	0.387	0.407	0.294	0.267	0.398	0.432	0.232	0.348
Bozkurt	0.173	0.252	0.175	0.240	0.154	0.144	0.379		0.114	0.238	0.218	0.107	0.262	0.129	0.263	0.216	0.177	0.176	0.183	0.220	0.239	0.167	0.101	0.235	0.238
Ereğli	0.138	0.341	0.190	0.245	0.111	0.108	0.449	0.114		0.213	0.196	0.143	0.274	0.155	0.248	0.239	0.183	0.231	0.165	0.291	0.324	0.178	0.085	0.308	0.286
Hacılar	0.208	0.309	0.277	0.233	0.215	0.227	0.343	0.238	0.213		0.194	0.263	0.235	0.201	0.242	0.213	0.254	0.285	0.229	0.252	0.308	0.264	0.252	0.301	0.180
Hamamlı	0.139	0.299	0.274	0.227	0.193	0.194	0.382	0.218	0.196	0.194		0.223	0.223	0.199	0.200	0.179	0.142	0.294	0.161	0.251	0.289	0.226	0.239	0.236	0.227
Harmangeriş	0.149	0.308	0.173	0.271	0.185	0.140	0.448	0.107	0.143	0.263	0.223		0.303	0.142	0.279	0.272	0.189	0.185	0.221	0.261	0.279	0.160	0.137	0.284	0.258
Kaşbaşı	0.219	0.312	0.240	0.241	0.265	0.274	0.332	0.262	0.274	0.235	0.223	0.303		0.239	0.340	0.194	0.300	0.299	0.184	0.242	0.226	0.263	0.324	0.318	0.246
Kozcağız	0.186	0.270	0.152	0.267	0.222	0.150	0.359	0.129	0.155	0.201	0.199	0.142	0.239		0.242	0.197	0.215	0.166	0.197	0.240	0.246	0.169	0.165	0.276	0.232
Küçükçay	0.282	0.351	0.293	0.186	0.299	0.282	0.414	0.263	0.248	0.242	0.200	0.279	0.340	0.242		0.238	0.224	0.310	0.270	0.268	0.307	0.249	0.241	0.316	0.350
Markoşa	0.217	0.282	0.280	0.197	0.243	0.242	0.262	0.216	0.239	0.213	0.191	0.272	0.194	0.197	0.238		0.266	0.281	0.189	0.206	0.216	0.229	0.258	0.224	0.245
Rahmanlar	0.190	0.277	0.267	0.263	0.176	0.187	0.424	0.177	0.183	0.254	0.142	0.189	0.300	0.215	0.224	0.266		0.300	0.183	0.253	0.287	0.215	0.192	0.208	0.266
Salavat	0.265	0.311	0.166	0.343	0.307	0.203	0.387	0.176	0.231	0.285	0.294	0.185	0.299	0.166	0.310	0.281	0.300		0.286	0.219	0.256	0.240	0.242	0.323	0.307
Saltuklu	0.127	0.323	0.219	0.195	0.154	0.195	0.407	0.183	0.165	0.229	0.161	0.221	0.184	0.197	0.270	0.189	0.183	0.286		0.231	0.248	0.218	0.231	0.278	0.244
Saçak	0.280	0.283	0.236	0.223	0.290	0.225	0.294	0.220	0.291	0.252	0.251	0.261	0.242	0.240	0.268	0.206	0.253	0.219	0.231		0.187	0.268	0.287	0.214	0.272
Uğursuyu	0.287	0.239	0.247	0.247	0.309	0.300	0.267	0.239	0.324	0.308	0.289	0.279	0.226	0.246	0.307	0.216	0.287	0.256	0.248	0.187		0.258	0.300	0.223	0.252
Çatalzeytin	0.207	0.316	0.201	0.225	0.212	0.175	0.398	0.167	0.178	0.264	0.226	0.160	0.263	0.169	0.249	0.229	0.215	0.240	0.218	0.268	0.258		0.153	0.301	0.300
Çaykırı	0.181	0.298	0.220	0.253	0.151	0.146	0.432	0.101	0.085	0.252	0.239	0.137	0.324	0.165	0.241	0.258	0.192	0.242	0.231	0.287	0.300	0.153		0.290	0.293
Üçevler	0.295	0.197	0.354	0.299	0.294	0.293	0.232	0.235	0.308	0.301	0.236	0.284	0.318	0.276	0.316	0.224	0.208	0.323	0.278	0.214	0.223	0.301	0.290		0.274
Şamlıoğlu	0.228	0.282	0.292	0.307	0.255	0.282	0.348	0.238	0.286	0.180	0.227	0.258	0.246	0.232	0.350	0.245	0.266	0.307	0.244	0.272	0.252	0.300	0.293	0.274	

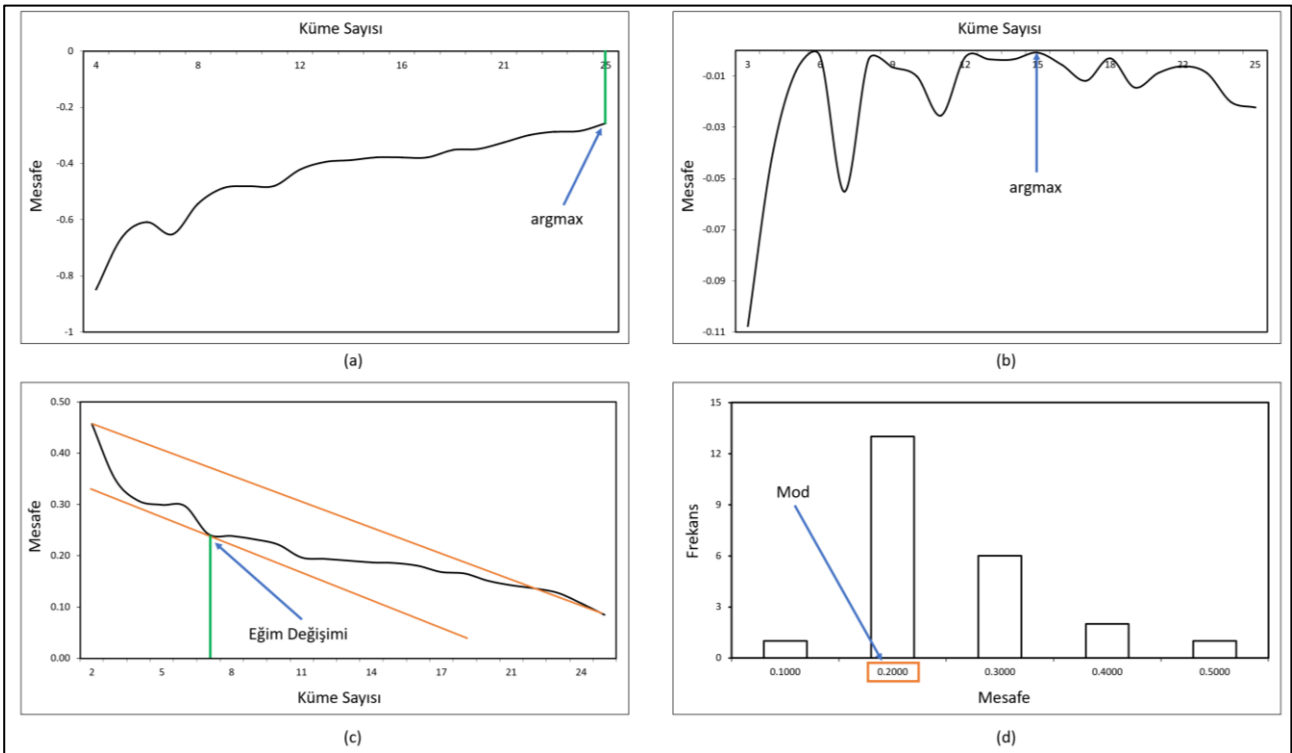
Şekil 4. Mesafe matrisi

Şekil 4 incelendiğinde 0,085 en düşük değeri ile Çaykırı – Ereğli eşleşmesi birbirine en yakın havzalar olarak görülmektedir. Bu durum hali hazırda oluşturulan dendrogramda da ortaya konmuştur. Fakat mesafe matrisinde Çaykırı – Bozkurt havzalarının 0,101 mesafe değeri ile birbirine en

benzer ikinci sıradaki havzalar olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum Şekil 4’de oluşturulan dendrogramda ifade edilmemiş ve dendrogramda Çaykırı ve Bozkurt havzaları farklı şubelerde yer almıştır. Fakat daha sonra bu iki havza aynı kolda birleşmişlerdir. Bu durum veri setindeki havzaların

ikişerli karşılaştırmasının ele alınmak istenmesi durumunda mesafe matrisi kullanımının önemini ortaya koymaktadır. Burada unutulmaması gereken en önemli nokta, mesafe matrisinin sadece iki boyutlu karşılaştırma yaptığı ve dendrogramda olduğu gibi bir hiyerarşik kümeleme oluşturmadığı gerçeğidir. Şekil 4 aynı zamanda birbirine en az benzeyen havzalarında hangileri olduğunu görsel olarak bizlere aktarır. Çalışılan havzalar arasında birbirine en az benzeyenler sırasıyla 0,458, 0,449, ve 0,448 mesafe değerleriyle Bayramışlar – Araç, Bayramışlar – Ereğli ve Bayramışlar – Harmangeriş ikilileri olarak saptanmıştır. Bu durum dendrogram incelenirken Bayramışlar havzasını içeren kolun veri setini iki gruba ayırmasıyla da bağlantılıdır.

Çalışmada kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemi her ne kadar mutlak olarak birbirinden ayrılmış kümeler oluşturma amacı gütmese de bu çalışmada dirsek, en büyük fark, mod istatistiki yöntemleri ve eğimin azalışının gözlenmesini sağlayan grafik kullanılarak dendrogram belirli bir noktasından kesilerek havzalar HRU desenlerinin benzerliklerine göre kümelere ayrılmıştır. Şekil 5’de kesme yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılan istatistiki yöntemler için çizilen grafikler ve Çizelge 2’de yöntemlerin önerdiği küme sayıları sırasıyla verilmiştir.



**Şekil 5.** Kesme yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılan grafikler a) Dirsek yöntemi, b) En büyük fark yöntemi, c) Eğim değişimi yöntemi, d) Mod yöntemi

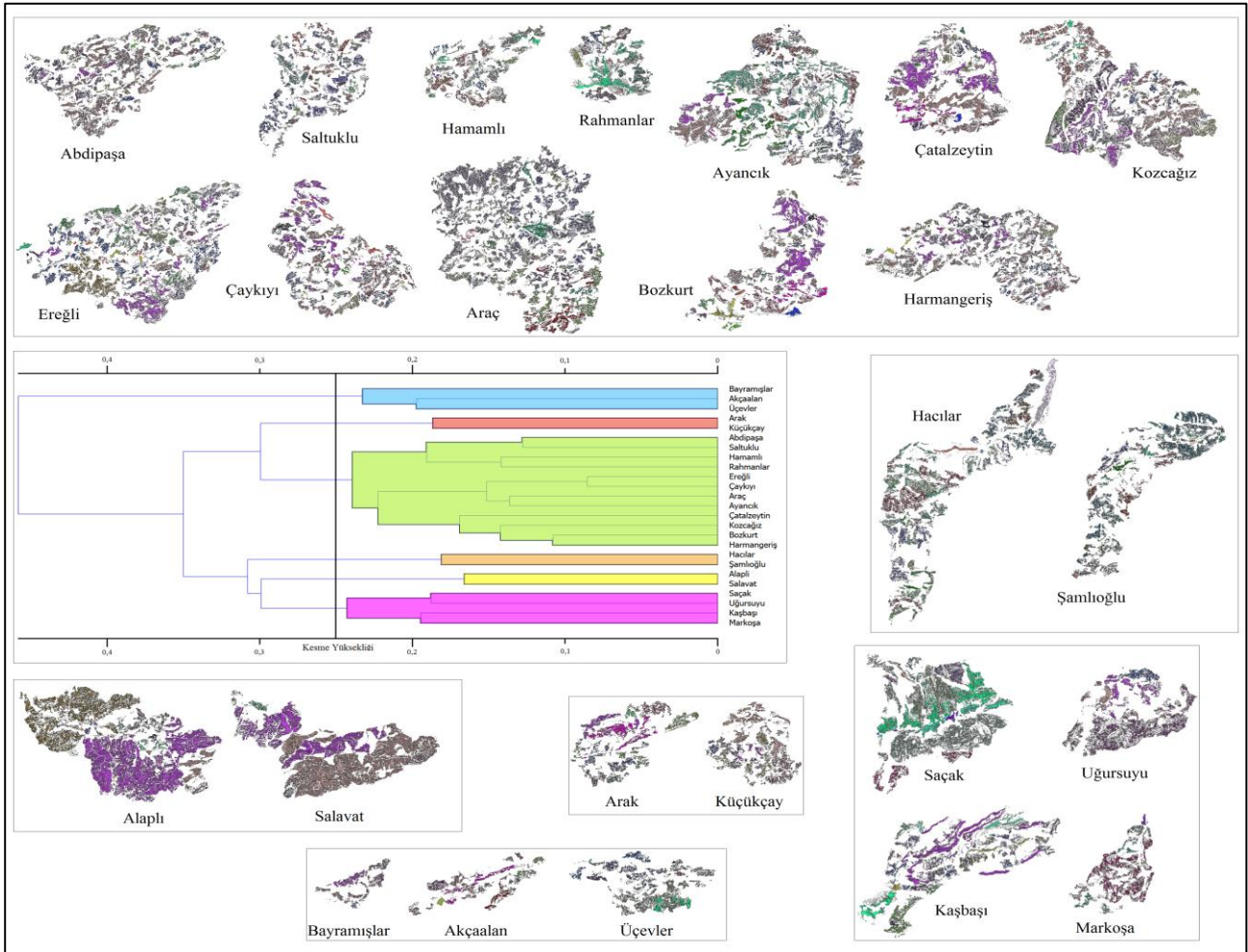
**Çizelge 2.** Farklı yöntemlerin önerdiği küme sayıları

	Yöntem			
	Dirsek	En Büyük Fark	Eğim Değişimi	Mod
Küme Sayısı	2	12	7	1

Çizelge 2’de görülebileceği gibi, farklı yöntemler farklı sayıda küme üretmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri setini mutlak kümelere ayırmak için kullanılan yöntemlerce önerilen küme sayıları 1 – 12 arasında değişmektedir. Bu yöntemler dışında kesme seviyesi araştırmacılar tarafından keyfi olarak da belirlenebilir ve dendrogram bir dizi ayrık küme oluşturulacak şekilde istenilen seviyede kesilebilir (Samarasinghe, Gunawardena *et al.* 2019, Govender and Sivakumar 2020). Birçok araştırmacı

dendrogramı inceleyerek kendi keyfi kararlarına göre kesme seviyesini seçmektedir (Zambelli 2016). Kesme yüksekliği seçimi dikkatle bir şekilde yürütülmelidir çünkü sonuçların yorum üzerinde büyük etkisi vardır. Bu seçim, gerekli ayrıntı düzeyiyle tutarlı olmalı ve ayrıca kümeler arasındaki mesafenin en aza indirilmiş olması göz önünde bulundurulmalıdır. Kesme mesafesi ne kadar yüksek olursa, kümeler içindeki heterojenlik o kadar fazla olur (Dumont *et al.* 2018). Bir analistin veri setinde kaç küme bulması gerektiğine dair kesin bir cevap yoktur, önemli olan konu bu kümeler ile ne yapılacağıdır (Haynes 2012). Bu nedenle, araştırmacılar hem istatistiksel önerileri dikkate almalı hem de anlamlı bir kesme yüksekliği seçmek için dendrogramı incelemelidir. Bu çalışmada, daha homojen kümeler oluşturmak ve ayrıca istatistiksel olarak belirlenen küme değerleri içinde kalmak koşuluyla, istatistiki yöntemlerin aritmetik ortalaması olan 6 küme oluşturulmuş ve kesme

yüksekliği 0,250 olarak seçilmiştir. Belirtilen yükseklik değeri ile kesilen dendrogram ve 6 farklı kümeye ayrılan havzalar Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6'da en fazla havza içeren küme yeşil renk ile ifade edilmiştir ve içerisinde 12 adet veri örneği bulunmaktadır. Geri kalan kümeler ise iki ila dört arasında havza bulundurmaktadırlar. Ayrıca Şekil 6 kümeler ayrılmış havzaların küme içi örneklerinin diğer kümelerle oranla birbirlerine daha fazla benzedikleri olgusunu da ortaya koymaktadır. Havzaların HRU bazlı benzerlikleri ortaya konurken sadece oluşturulan dendrogramın incelenmesi işlemi ile sınırlı kalınmayıp bağımsız kümeler oluşturulması, veri setinde bulunan havzaların daha büyük veri grupları şeklinde ele alınıp incelenebilmesi olanağını da sunmaktadır. Bu noktada göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus ise, kesme yüksekliği orijine ne kadar yakın seçilirse küme içinde kalan verilerin benzerliğinin o kadar daha fazla olacaktır.



Şekil 6. Bağımsız kümeler ayrılacak havzaların HRU görüntüleri

HRU'lar havzaların hidrolojik dinamikleri kontrol eder ve benzer HRU modellerine sahip havzalar, hava olayları sonucu oluşan girdiler ve havzadaki su akışıyla ilgili olarak aynı hidrolojik davranışa sahiptir. Bu çalışmada sunulan yöntem bir eleme işlemi olarak düşünülebilir. Denetimsiz öğrenme yaklaşımları (örneğin kümeleme), denetimli öğrenme yaklaşımlarında olduğu gibi (örneğin sınıflandırma) önceden tanımlanmış etiketler kullanmamaktadır. Eğer bu çalışmada kullanılan havzaların hidrolojik verileri (su girdisi, toprak yapısı, infiltrasyon oranı, iklim şartları vb.,) saptanmış olsaydı bu verilere denetimli öğrenme yaklaşımları uygulanabilir ve aynı yağış şartlarında benzer havzaların aynı tepkileri verebilecekleri düşünülebilirdi. Fakat sunulan çalışma da denetimsiz öğrenme algoritmasına bir grup resim verilmiş (HRU desenleri) ve yönteminin havzalar arasında bir bağlantı saptaması istenmiştir. Denetimsiz öğrenme yöntemlerinin verdiği sonuçlar denetimli öğrenme yöntemlerinin sonuçları gibi kesin değildir. Ayrıca denetimsiz öğrenme yaklaşımlarının anlaşılması zor yapısı gereği sonuçların kalibrasyonu ve doğrulaması da yapılamaz. Denetimsiz öğrenme yöntemleri araştırmacılara sadece benzerlik ön bilgisi sağlar. Bu çalışmanın amacı da havzaların HRU desenlerinin benzerlik gösterip göstermediğini denetimsiz öğrenme yaklaşımı ile ölçmektir. Her ne kadar denetimsiz öğrenme yöntemi doğası gereği içerisinde bir muğlaklık bulundursa da, çalışmamızda sunduğumuz bazı ölçütler sayesinde (mesela mesafe matrisi yada dendrogram) bu muğlaklık belirli noktaya kadar ortadan kalkmaktadır. Örneğin dendrogramda aynı kolda birleşen havzaların benzer hidrolojik tepkiler vermesi beklenirken diğer kollardaki havzaların ise hidrolojik süreçlerinin farklı olacağı aşikardır. Fakat havzaların HRU desenlerindeki benzerlikler yüksek oranda çıksa da gerçek hidrolojik süreçlerin ölçümünün yine de araştırmacılar tarafından yapılması gerekmektedir (Aytaç, 2020).

#### **4. Sonuç**

Bu çalışma havzaların benzerliklerinin ortaya konması hususunda literatürde yer alan çalışmamıza

alternatif bir yöntem olarak hiyerarşik kümeleme sürecini içermektedir. Hiyerarşik kümeleme yöntemi sayede veri setinde bulunan tüm havzaların birbirleri ile olan ilişkilerini gözlemleme şansı ortaya çıkmakta (mesafe matrisi) ve havzaların benzerliğini keşfetmeye yardımcı olabilecek daha küçük kümeler oluşturabilmelerini sağlamaktadır. Bu yöntem az sayıda havzanın karşılaştırmasında daha kullanışlı bir yöntem olarak sunulmuştur. Ayrıca hiyerarşik kümeleme yöntemi çok fazla özgün HRU içeren havzalarda daha iyi sonuçlar elde etmektedir. Hiyerarşik kümeleme yönteminin en önemli artlarından biri, kullanıcılara mutlak olarak birbirinden ayrılmış kümeler sunmaması ve kümeleme için bir kesme yüksekliğinin belirlenmesi gerekliliğidir. Araştırmacı isterse dendrogramı yorumlayıp uygun bulduğu bir kesme yüksekliğini kullanarak verileri kümeleyebilir fakat dendrogramda kesme seviyesini seçmek zordur. Mutlak kümeleme işlemi için farklı istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Bu çalışma birbirinden ayrı kümeler oluşturmak için dört farklı yöntem incelemiştir. Yöntemler bir ila 12 arasında değişen küme sayıları önermektedir. Bu nedenle küme sayısını belirlemek için hem istatistiksel hesaplamalar dikkate alınmış hem de küme içi homojenliği korunarak kesme noktası altı küme oluşturacak şekilde seçilmiştir. Aynı zamanda bu çalışma havzaların kümelenebilirliği işleminde makine öğrenmesi yöntemleri kullanımı için yeni bir perspektif sunmuş ve farklı havzaların hidrolojik benzerlikleri hakkında ön bilgi almak için hiyerarşik yönteminin kullanımına örnek teşkil etmiştir.

Havzaların HRU farklılıklarının veya benzerliklerinin hiyerarşik kümeleme yöntemi ile ortaya konulması sayesinde, aynı şubeden gelen ve bağlantı mesafeleri kısa olan havzalarda, daha önce hidrolojik olarak modellenen bir havzanın sonuçları göz önüne alınarak, modellemesi yapılmayan havzalar hakkında öngörülerde bulunulabilir. Bu öngörüler içerisinde havza koruma planları hazırlamak veya uygulamak, havzalardaki akarsulara su, besin maddesi ve tortu akışını tahmin etmek, enkaz akışı riski hakkında değerlendirme yapmak ve önlem almak, havzaların jeomorfolojik özelliklerinin hesaplanması ve havzaların hidrolojik bütçe,



tarımsal yönetim, bitki büyümesi ve erozyon gibi hidrolojik özellikleri öngörmek bulunabilir. Ayrıca kümeleme işlemi gelecekte yapılacak çalışmalarda istenen özelliklere uyan havza seçiminde zamandan kazanç da sağlayabilir.

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, bunun bir sınıflandırma işlemi olmaması ve elde edilen kümelerin havzaların önceden belirlenmiş hidrolojik özelliklerine göre bir sıraya dizilmemesidir. Bu yöntem, ilişkileri daraltmanın yanı sıra gizli kalıplardan yeni bilgiler öğrenmeyi amaçlar ve havzalar arasında bir ilişki olup olmadığını bulmaya çalışır.

## 5. Kaynaklar

- Abdalla, A., Cen, H. Y., El-manawy, A. and He, Y. 2019. Infield oilseed rape images segmentation via improved unsupervised learning models combined with supreme color features. *Computers and Electronics in Agriculture*, **162**, 1057-1068.
- Asres, M. T. and Awulachew, S. B. 2010. SWAT based runoff and sediment yield modelling: a case study of the Gumera watershed in the Blue Nile basin. *Ecohydrology & Hydrobiology*, **10**(2), 191-199.
- Aytaç, E. 2020. Unsupervised learning approach in defining the similarity of catchments: Hydrological response unit based k-means clustering, a demonstration on Western Black Sea Region of Turkey. *International Soil and Water Conservation Research*, **8**(3), 321-331.
- Carcillo, F., Le Borgne, Y.-A., Caelen, O., Kessaci, Y., Oblé, F. and Bontempi, G. 2019. Combining unsupervised and supervised learning in credit card fraud detection. *Information Sciences*, **557**, 317-331.
- Castellanos-Garzón, J. A., Costa, E., Jaimes S, J. L. and Corchado, J. M. 2019. An evolutionary framework for machine learning applied to medical data. *Knowledge-Based Systems*, **185**, 1-8.
- Castro, L., Wasserman, E. A. and Lauffer, M. 2018. Unsupervised learning of complex associations in an animal model. *Cognition*, **173**, 28-33.
- Chen, J., Yousefi, M., Zhao, Y., Zhang, C. P., Zhang, S., Mao, Z. X., Peng, M. S. and Han, R. P. 2019. Modelling ore-forming processes through a cosine similarity measure: Improved targeting of porphyry copper deposits in the Manzhouli belt, China. *Ore Geology Reviews*, **107**, 108-118.
- Chen, J., Zeng, Y., Li, Y. and Huang, G.-B. 2019. Unsupervised feature selection based extreme learning machine for clustering. *Neurocomputing*, **386**, 198-207.
- Crosta, A. P., Sabine, C. and Taranik, J. V. 1998. Hydrothermal alteration mapping at Bodie, California, using AVIRIS hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, **65**(3), 309-319.
- de Aguiar Neto, Fernando S., da Costa, Arthur F., Manzato, Marcelo G., Campello, Ricardo J. G. B. 2020. Pre-processing approaches for collaborative filtering based on hierarchical clustering. *Information Sciences*, **532**, 172-191.
- Dumont, M., Reninger, P. A., Pryet, A., Martelet, G., Aunay, B. and Join, J. L. 2018. Agglomerative hierarchical clustering of airborne electromagnetic data for multi-scale geological studies. *Journal of Applied Geophysics*, **157**, 1-9.
- Ferreira, A. D., Freitas, D. M., da Silva, G. G., Pistori, H. and Folhes, M. T. 2019. Unsupervised deep learning and semi-automatic data labeling in weed discrimination. *Computers and Electronics in Agriculture*, **165**, 1-11.
- Godec, P., Pancur, M., Ilenic, N., Copar, A., Strazar, M., Erjavec, A., Pretnar, A., Demsar, J., Staric, A., Toplak, M., Zagar, L., Hartman, J., Wang, H., Bellazzi, R., Petrovic, U., Garagna, S., Zuccotti, M., Park, D., Shaulsky, G. and Zupan, B. 2019. Democratized image analytics by visual programming through integration of deep models and small-scale machine learning. *Nature Communications*, **10**, 1-7.
- Govender, P. and Sivakumar, V. 2020. Application of k-means and hierarchical clustering techniques for analysis of air pollution: A review (1980-2019). *Atmospheric Pollution Research*, **11**(1), 40-56.



- Gungor, O. and Goncu, S. 2013. Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrological Processes*, **27**(3), 453-466.
- Haeberle, H. S., Helm, J. M., Navarro, S. M., Karnuta, J. M., Schaffer, J. L., Callaghan, J. J., Mont, M. A., Kamath, A. F., Krebs, V. E. and Ramkumar, P. N. 2019. Artificial Intelligence and Machine Learning in Lower Extremity Arthroplasty: A Review. *Journal of Arthroplasty*, **34**(10), 2201-2203.
- Han, D. H., Lee, S. and Seo, D. C. 2020. Using machine learning to predict opioid misuse among US adolescents. *Preventive Medicine*, **130**, 1-7.
- Haynes, P. 2012. Case based methods and national comparisons. Public Policy Beyond the Financial Crisis: An International Comparative Study. London, Routledge, 120-125.
- Huang, F. R., Zhang, X. M., Li, Z. J., Zhao, Z. H. and He, Y. Y. 2018. From content to links: Social image embedding with deep multimodal model. *Knowledge-Based Systems*, **160**, 251-264.
- Jafarzadegan, M., Safi-Esfahani, F. and Beheshti, Z. 2019. Combining hierarchical clustering approaches using the PCA method. *Expert Systems with Applications*, **137**, 1-10.
- Janert, P. K. 2010. *Data Analysis with Open Source Tools*, O'Reilly Media, Inc, Cambridge, 319-324.
- Janez Demšar, B. Z. 2013. Orange: Data Mining Fruitful and Fun - A Historical Perspective. *Informatica*, **37**, 55-60.
- Kaushik, M. and Mathur, B. 2014. Comparative Study of K-Means and Hierarchical Clustering Techniques. *International Journal of Software & Hardware Research in Engineering*, **2**(6), 93-98.
- Kotsiantis, S. B. 2007. Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering*, **160**, 3-24.
- Li, K. H., Ma, Z. J., Robinson, D. and Ma, J. 2018. Identification of typical building daily electricity usage profiles using Gaussian mixture model-based clustering and hierarchical clustering. *Applied Energy*, **231**, 331-342.
- Loreti, D., Lippi, M. and Torroni, P. 2020. Parallelizing Machine Learning as a service for the end-user. *Future Generation Computer Systems*, **105**, 275-286.
- Manning, C. D. and Schütze, H. 1999. *Foundations of statistical natural language processing*, MIT Press, Cambridge, 417-452.
- Naik, A. and Samant, L. 2016. Correlation review of classification algorithm using data mining tool: WEKA, Rapidminer, Tanagra, Orange and Knime. *International Conference on Computational Modelling and Security (Cms 2016)*, **85**, 662-668.
- Perret, B., Cousty, J., Guimaraes, S. J. F., Kenmochi, Y. and Najman, L. 2019. Removing non-significant regions in hierarchical clustering and segmentation. *Pattern Recognition Letters*, **128**, 433-439.
- Ramkumar, P. N., Haeberle, H. S., Bloomfield, M. R., Schaffer, J. L., Kamath, A. F., Patterson, B. M. and Krebs, V. E. 2019. Artificial Intelligence and Arthroplasty at a Single Institution: Real-World Applications of Machine Learning to Big Data, Value-Based Care, Mobile Health, and Remote Patient Monitoring. *The Journal of Arthroplasty*, **34**(10), 2204-2209.
- Reddy, M. V., Vivekananda, M. and Satish, R. U. V. N. 2017. Divisive Hierarchical Clustering with K-means and Agglomerative Hierarchical Clustering. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, **5**(5), 6-11.
- Rocha, J., Roebeling, P. and Rial-Rivas, M. E. 2015. Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. *Science of the Total Environment*, **536**, 48-58.
- Sahu, S., Ghosh, S. K., Kalita, J. M., Ginjupalli, M. C. and K, K. R. 2020. Discovery of potential 1,3,5-Triazine compounds against strains of Plasmodium falciparum using supervised machine learning models. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, **144**, 1-8.

- Samarasinghe, T., Gunawardena, T., Mendis, P., Sofi, M. and Aye, L. 2019. Dependency Structure Matrix and Hierarchical Clustering based algorithm for optimum module identification in MEP systems. *Automation in Construction*, **104**, 153-178.
- Sheshukov, A. Y., Douglas-Mankin, K. R., Sinnathamby, S. and Daggupati, P. 2016. Pasture BMP effectiveness using an HRU-based subarea approach in SWAT. *Journal of Environmental Management*, **166**, 276-284.
- Song, L. R. and Zhang, J. Y. 2012. Hydrological Response to Climate Change in Beijiing River Basin Based on the SWAT Model. *2012 International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, **28**, 241-245.
- Tang, C., Bian, M., Liu, X., Li, M., Zhou, H., Wang, P. and Yin, H. 2019. Unsupervised feature selection via latent representation learning and manifold regularization. *Neural Networks*, **117**, 163-178.
- Usama, M., Qadir, J., Raza, A., Arif, H., Yau, K. L. A., Elkhatab, Y., Hussain, A. and Al-Fuqaha, A. 2019. Unsupervised Machine Learning for Networking: Techniques, Applications and Research Challenges. *Ieee Access*, **7**, 65579-65615.
- Wang, B., Ning, L. J. and Kong, Y. 2019. Integration of unsupervised and supervised machine learning algorithms for credit risk assessment. *Expert Systems with Applications*, **128**, 301-315.
- Wangpimool, W., Pongput, K., Sukvibool, C., Sombatpanit, S. and Gassman, P. W. 2013. The effect of reforestation on stream flow in Upper Nan river basin using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. *International Soil and Water Conservation Research*, **1(2)**, 53-63.
- Weyenberg, G. and Yoshida, R. (2015). Chapter 12 - Reconstructing the Phylogeny: Computational Methods. *Algebraic and Discrete Mathematical Methods for Modern Biology*. R. S. Robeva. Boston, Academic Press: 293-319.
- Wu, J., Yen Primary, H., Arnold, J. G., Yang, Y.-C. E., Cai, X., White, M. J., Santhi, C., Miao, C. and Srinivasan, R. 2020. Development of Reservoir Operation Functions in SWAT+ for National Water Quantity and Quality Assessments. *Journal of Hydrology*, **583**, 1-21.
- Yang, J., Grunsky, E. and Cheng, Q. M. 2019. A novel hierarchical clustering analysis method based on Kullback-Leibler divergence and application on dalaimiao geochemical exploration data. *Computers & Geosciences*, **123**, 10-19.
- Zambelli, A. E. 2016. A data-driven approach to estimating the number of clusters in hierarchical clustering. *F1000Res*, **5**, 1-6.
- Zhou, F., Xu, Y. P., Chen, Y., Xu, C. Y., Gao, Y. Q. and Du, J. K. 2013. Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region. *Journal of Hydrology*, **485**, 113-125.
- Zou, Q., Cui, P., He, J., Lei, Y. and Li, S. S. 2019. Regional risk assessment of debris flows in China-An HRU-based approach. *Geomorphology*, **340**, 84-102.

#### İnternet Kaynakları

- 1 - <https://orange3-imageanalytics.readthedocs.io/en/latest/widgets/imageembedding.html> (02.01.2020)
- 2 - <http://docs.biolab.si/3/visual-programming/widgets/unsupervised/distances.html> (03.01.2020)
- 3 - <https://orange.biolab.si> (20.09.2020)

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 047102 (971-977)

AKU J. Sci.Eng. 21 (2021) 047102 (971-977)

DOI: 10.35414/akufemubid.890532

Araştırma Makalesi / Research Article

## Seydiler Bölgesi (Afyonkarahisar) Diyatomitinin Bitkisel Yağların Ağartılmasında Kullanım Olanaklarının Araştırılması

Erman DUMAN<sup>1\*</sup>, Ahmet YILDIZ<sup>2</sup>, Alper DÜLGER<sup>3</sup>, Sabire DUMAN<sup>4</sup><sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, ANS Kampüsü, Afyonkarahisar<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANS Kampüsü, Afyonkarahisar<sup>3</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya<sup>4</sup>Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Afyonkarahisar

Sorumlu yazar, eposta: eduman@aku.edu.tr

ayildiz@aku.edu.tr

adulger@ktun.edu.tr

sabire.duman@afsu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3405-9572>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9077-0628>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3380-7663>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9737-4524>

Geliş Tarihi: 03.03.2021

Kabul Tarihi: 31.07.2021

### Öz

Bu çalışmada; Seydiler Bölgesi (İscehisar, Afyonkarahisar) diyatomit ocağına ait diyatomit kullanılarak üretilen kalsine ve flaks kalsine diyatomitin mineralojik, jeokimyasal ve fiziksel özellikleri ile diyatomit örneklerinin bitkisel yağların ağartılması işlemindeki performansı incelenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) incelemelerinde doğal diyatomitin büyük oranda amorf silisten meydana geldiği, düşük oranda opal-CT/kristobalit, tridimit ve kuvars minerallerini içerdiği, diğer taraftan ağartma toprağının çoğunlukla simektit mineralinden oluştuğu ve az oranda ise illit, kuvars, feldispat ve dolomit minerallerini ihtiva ettiği belirlenmiştir. Diyatomitin ekonomik olarak kullanımındaki en önemli faktörlerden birisi olan SiO<sub>2</sub> içeriği % 89,132 olarak belirlenmiş olup, bu değer ticari olarak kullanım için arzu edilen oranın üzerindedir. Diyatomitlerin yağ ağartma performansları ayçiçek ve kanola yağlarında gerçekleştirilmiştir. Ayçiçek yağında, kontrol grubu değerlerine (L\* 77.09; a\*-6.21; b\*43.23) parlaklık, kırmızı renk ve sarı renk yönünden en çok yaklaşan diyatomit çeşitlerinin; parlaklık yönünden doğal diyatomit (15 dk; L\* 73.39), kırmızı renk bakımından kalsine diyatomit (15 dk; a\*-6.29) ve sarı renk bakımından ise flaks kalsine diyatomit'in (30 dk; b\*35.64) olduğu tespit edilmiştir. Kanola yağında da farklı değerler belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda; uygulanan renk açma prosesi sürelerine göre bu diyatomit türlerinin, renk açma düzeylerinin değişebileceği ve gıda teknolojisinde yaygın kullanılan ticari ağartma toprağına yakın değerlerin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Diyatomit; Kalsinasyon;  
Bitkisel Yağ ağartma;  
Seydiler;  
Afyonkarahisar

## Investigation of Usage Opportunities in the Seydiler Region (Afyonkarahisar) Diatomite for the Bleaching of Vegetable Oils

### Abstract

In this study; Mineralogical, geochemical and physical properties of calcined and flux calcined diatomite produced by using diatomite belonging to the diatomite quarry in the Seydiler Region (Iscehisar, Afyonkarahisar) and the performance of diatomite samples were investigated for the bleaching process of vegetable oils. In X-ray diffraction (XRD) studies, natural diatomite is mostly composed of amorphous silica, contains low proportion of opal-CT/cristobalite, tridymite and quartz minerals, on the other hand, bleaching earth is mostly composed of smectite mineral and it has been determined contain a small amount of illite, quartz, feldspar and dolomite minerals. SiO<sub>2</sub> content which is one of the most important factors in the economic use of diatomite was determined as 89,132% which is above the desired rate for commercial use. Oil bleaching performances of diatomites were carried out in sunflower and canola oils. In sunflower oil, diatomite cultivars, which were closest to the control group values (L\* 77.09; a\*-6.21; b\*43.23) in terms of brightness, red color and yellow color; It was determined that natural diatomite (15 min; L\* 73.39) in terms of brightness, calcined diatomite (15 min; a\*-6.29) in terms of red color and flux calcined diatomite (30 min; b\*35.64) in terms of yellow color. Different

### Keywords

Diatomite; Calcination;  
Vegetable oil  
bleaching; Seydiler;  
Afyonkarahisar

values were also determined in canola oil. In line with these results; According to the applied bleaching process times these diatomite types may change their color lightening levels and it has been determined that can be obtained close values to commercial bleaching earth which is widely used in food technology.

## 1. Giriş

Diyatomit, diyatome (*Bacillariophyta*) adı verilen tek hücreli, mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında oluşmuş organik kökenli tortul kayaçtır (Yıldız 1997). İngilizce literatürde "Diatomecous earth" veya "Diatomite" olarak yer alırken Almanca ve Fransızca literatürde ise bu mineral "Kizelgur" adı ile geçmektedir. Diyatomların yaşam döngüsünü tamamlamaları ile birlikte silisli kabuklar bir araya gelerek çökelmekte ve diyatomit rezervleri oluşmaktadır. Yapılan araştırmalarda Türkiye'nin çok zengin diyatomit kaynaklarına sahip olduğu tespit edilmiştir (Neu and Alciatore 1977, Özbey ve Atamer 1987, Açıkalın 1997, Breese 1994, Çetin ve Taş 2012). Diyatomiti oluşturan diyatome kavkılarının tane boyutunun yağ moleküllerini absorbe edebilecek bir fiziksel yapıda olduğu ve çok küçük iç gözeneklere sahip olduğu belirlenmiştir. Aşındırıcı ve yağ emici özellikteki bu parçacıkların fosil kavkılarında yapışarak, koruyucu wax tabakasındaki yağ moleküllerini absorbe ettiği tespit edilmiştir (Ebeling 1971, Korunic 1998, Subramanyam and Roesli 2000).

Diyatomit; doğal, kalsine ve flaks kalsine olarak tüketime sunulmaktadır. Diyatomitin değişik türleri suyun ve alkolün saflaştırılmasında, çeşitli yağların ve kimyasalların ayrıştırılmasında, deterjanlarda, pudra yapımında ve yem katkısı olarak birçok ticari üründe kullanıldığı bilinmektedir. Gıdalarda da birçok kullanım alanı olan diyatomitler, şeker fabrikasyonunda, şarap, bira, meyve suyu, meşrubat ve her türlü içecek üretiminde, nebati, makine ve yağlama yağlarının süzülmesinde kullanılmaktadır. Çolak vd. (2011)'in yaptığı çalışmada ambalaj materyali olarak kullanılan diyatomit içeren, nem tutucu filtrelerin kullanımının hindi etlerinde raf ömrünün 4 gün uzamasını sağladığını tespit etmişlerdir. Ham şeker şerbeti (glikoz), şarap, bira,

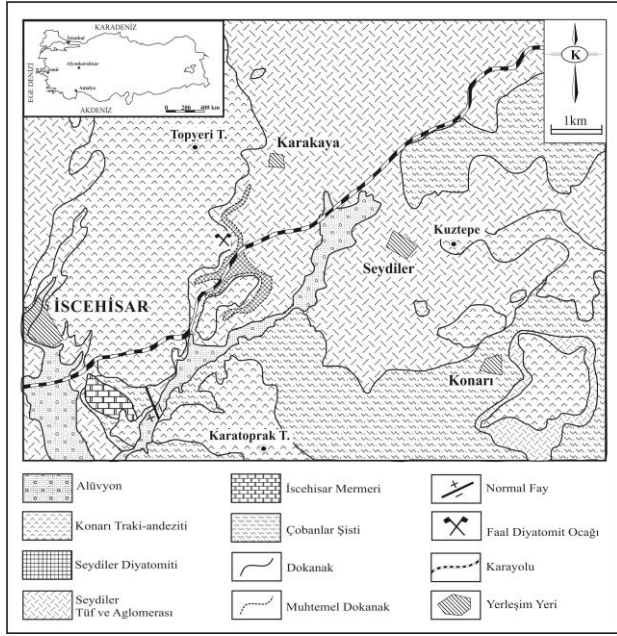
viski, meyve suları, şurup, madeni ve nebati yağlar, kirli sular, kimyasal maddeler, vernikler gibi içerisinde süspansiyon halinde istenmeyen maddeler bulunduran sıvıların arındırılmasında da diyatomit faydalanılmaktadır (Özbey ve Atamer 1987, Harben 1995, Subramanyam and Roesli 2000, Çolak vd. 2011).

Bu çalışmada İsehisar ilçesi (Afyonkarahisar) Seydiler Kasabasındaki diyatomit bitkisel yağların ağartılması işleminde renk üzerine performansının araştırılması amaçlanmıştır. Seydiler bölgesinden alınan diyatomit kalsinasyonu yapılmış ve elde edilen farklı diyatomit örneklerine mineralojik, kimyasal ve fiziksel testleri uygulanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise diyatomit bitkisel yağ teknolojisinde ayçiçek ve kanola ağlarının ağartılmasında kullanılarak ağartma üzerine etkileri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada İsehisar ilçesinin (Afyonkarahisar) Seydiler Kasabası'nda yayılım sunan diyatomit kullanılmıştır (Şekil 1). Bölgede diyatomit Seydiler tufunun üst seviyelerinde yer almaktadır. Yaklaşık 1.5km<sup>2</sup>'lik alanda yayılım sunan birimin toplam kalınlığı 26m'ye kadar ulaşmaktadır (Yıldız 1997, Yıldız vd., 1999). Beyaz, krem, sarı ve gri renkli olan birimin rengi, bazı bölgelerde içerisindeki klastik malzeme ve birime nüfuz eden demirli eriyikler nedeniyle yersel olarak koyulaşmaktadır. Diyatomitin üst seviyesinde 1.5-2.0m kalınlığında opal seviyesi yer almaktadır. Çalışmada kullanılan diyatomit Karakaya Mahallesi'nde özel bir şirket tarafından işletilen ocaktan temin edilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Metin vd., 1987; Yıldız, 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Diyatomit Kalsinasyonu

Çalışmada doğal, kalsine ve flaks kalsine diyatomit kullanılmıştır. Kalsinasyon işlemi için diyatomit örneği açık havada 24 saat bekletilmek suretiyle kurutulmuş, çeneli kırıcıdan geçirilerek, 105 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Halkalı değirmen yardımıyla öğütülerek, %80'inin -150 mikron + 75 mikron boyutlarına getirilmek suretiyle doğal diyatomit (DD) elde edilmiştir. Kurutulmuş diyatomit örneği kalsinasyon işlemi için 1100 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilmiş, böylece kalsine diyatomit (KD) örneği üretilmiştir. Flaks kalsine diyatomit (FKD) üretimi için kalsinasyon öncesi diyatomit örneğine flaks madde olarak soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) katılmış ve örnek nemlendirilerek 1 gün boyunca bekletilmiştir. Kalsine diyatomit üretiminde olduğu gibi flaks madde eklenmiş diyatomit kalsinasyon işlemi için 1100 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir.

### 2.2.2. Diyatomit ve Yağ Numunelerine Uygulanan Analizler

Doğal, kalsine ve flaks kalsine diyatomitinin mineralojik özellikleri x-ışını kırınımı (XRD) ve kimyasal bileşimi ise x-ışını floresans (XRF) yöntemiyle belirlenmiştir. XRD analizi AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Shimadzu

XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli,  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonlu) XRF analizi ise AKÜ Mühendislik Fakültesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarı'ndaki Rigaku / ZSX Primus 2 model XRF cihazında yapılmıştır. Doğal, kalsine ve flaks kalsine diyatomit örneklerinin tane boyut dağılımı Malvern Mastersize 2000 model cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Bitkisel yağ numunelerinin ağartma öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen renk ölçümleri Konica Minolta Chroma Meters CR-400 ve CR-410 marka kolorimetre ile yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.  $L^*$ , renk parlaklık koordinatıdır ve bir rengin beyazlık derecesinin ölçüsüdür. 0 olan siyahtan, 100 olan beyaza kadar yayılma gösterir.  $a^*$ , yeşil ve kırmızı rengi belirten koordinattır. -60 ve 0 aralığında yeşil, 0 ve +60 aralığında ise kırmızı rengi gösterir.  $b^*$ , mavi ve sarı rengi belirten koordinattır. -60 ve 0 aralığında mavi, 0 ve +60 aralığında ise sarı rengi göstermektedir (Hermy 1990).

### 2.3. Nötralle Bitkisel Yağların Ağartılması

Afyonkarahisar ilinde bitkisel yağ fabrikasından temin edilen nötralle ayçiçek ve kanola yağlarına, ağartma işlemi sırasında 50 ml'lik nötralle yağ örneklerine 1 gr'lık (%2) diyatomit toprak numuneleri eklenerek, ağartma işlemi 15 ve 30 dk'luk ağartma sürelerinde Önen ve Gökay (2006) tarafından belirtilen yöntemle laboratuvar şartlarında yapılmıştır. Ayrıca diyatomit örneklerinin ağartma performansını karşılaştırabilmek için kontrol grubunda, Afyonkarahisar ilinde bitkisel yağ üretimi yapan firmalar tarafından kullanılan ve bentonitik kil kökenli Tonsil 220F marka ticari ağartma toprağı (AGT) absorbantı kullanılmıştır.

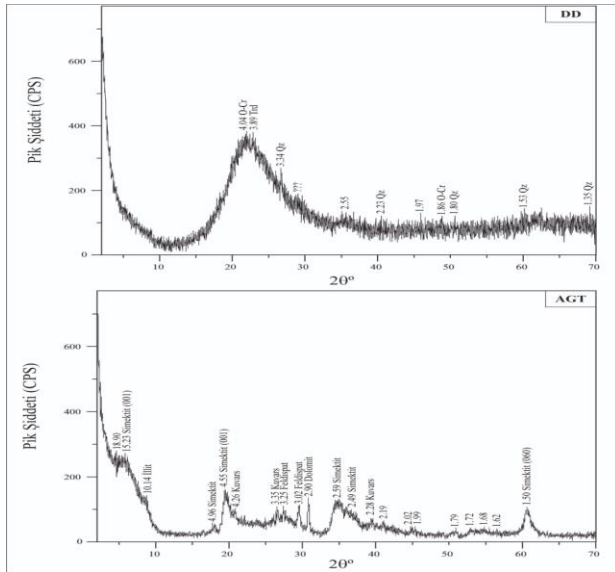
### 2.4. İstatiksel Analiz

Araştırma sonucunda elde edilen veriler, SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 22.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ortalama standart sapma, tanımlayıcı istatistiksel yöntemleri olarak, verilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Püskülcü ve İkiz 1998).

### 3. Bulgular

#### 3.1. Diyatomit ve Ticari Ağartma Toprağının Özellikleri

Doğal (DD) ve ticari ağartma toprağı (AGT)'nin mineralojik analizleri x-ışını kırınımı (XRD) yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 2). XRD sonuçlarına göre doğal diyatomitin (DD) büyük oranda amorf silisten meydana geldiği, örnekteki kristalleri; opal-CT/kristobalit (O-Cr), tridimit (Trd) ve kuvars (Qz) minerallerinin oluşturduğu görülmektedir. Diğer taraftan çalışmalarda karşılaştırma amacıyla kullanılan ticari ağartma toprağının (AGT) XRD analizinde örneğin büyük oranda simektit mineralinden oluştuğu ve az oranda, illit, kuvars, feldispat ve dolomit minerallerini de içerdiği görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Doğal diyatomit (DD) ve ticari ağartma toprağı (AGT)'nin XRD grafiğı.

Örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Doğal diyatomitin (DD) büyük oranda SiO<sub>2</sub> (%89,132)'den meydana geldiği, ayrıca Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%1.703) ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%1.100) de içerdiği görülmektedir. Diyatomitin kimyasal bileşimindeki en önemli bileşen SiO<sub>2</sub> olup, ekonomik diyatomit yataklarında SiO<sub>2</sub>'in %86'dan fazla olması istendiğı belirtilmiştir (Mete 1982, Yıldız 1997). Bu açıdan değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan diyatomitin endüstride kullanılabilecek SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan ticari ağartma toprağının (AGT) ise büyük oranda SiO<sub>2</sub> (%48,066) ve MgO (%22,960)'dan oluştuğı ayrıca Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%5,508), CaO (%3,578), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%2,015) ve K<sub>2</sub>O (%1,136) içerdiği belirlenmiştir.

Çizelge 1. Doğal diyatomit (DD) ve ağartma toprağının (AGT) kimyasal analiz sonuçları (%).

Örnek	DD	AGT
SiO <sub>2</sub>	89,132	48,066
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,703	5,508
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,100	2,015
MgO	0,206	22,960
CaO	0,632	3,578
MnO	TE	0,034
Na <sub>2</sub> O	TE	0,080
K <sub>2</sub> O	0,298	1,136
TiO <sub>2</sub>	0,190	0,262
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,050	0,055
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TE	0,009
Rb <sub>2</sub> O	0,070	0,009
GeO <sub>2</sub>	0,016	TE
ZrO <sub>2</sub>	0,060	0,007
SrO	0,019	0,027
SO <sub>3</sub>	0,256	TE
Ateş Kaybı	6,207	15,557
Toplam	99,939	99,303

Diyatomit ve ticari ağartma toprağı örneklerinin tane boyut analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, diyatomit örneklerinde kalsinasyona bağılı olarak örneklerin tane boyutunda arttığı, ağartma toprağının (AGT) tane boyutunun %90'nın 73.33 µm ve altındaki tane boyutuna sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Örneklerin tane boyut analizi sonuçları

Bileşen	DD	KD	FKD	AGT
d(0.1)	3.05µm	7.56µm	21.01µm	4.24µm
d(0.5)	29.35µm	125.52µm	146.61µm	27.64µm
d(0.9)	168.27µm	497.96µm	1028.75µm	73.33µm

Not: (DD): Doğal diyatomit, (KD): Kalsine diyatomit, (FKD): Flaks kalsine diyatomit ve (AGT): Ticari ağartma toprağı.

Çizelge 3. Nötralize ayçiçek yağının renk açma (ağartma-bleaching) prosesinde; doğal, kalsine ve flaks diyatomitlerin, ayçiçek yağının renk değerleri üzerine etkileri

Kullanılan Diyatomit Çeşidi	L*	a*	b*
Nötralize Ayçiçek Yağı	65.28 ±1.20	-3.88 ±0.30	63.95 ±1.12
Kontrol Grubu	77.09 ±1.31	-6.21 ±0.71	43.23 ±0.99
Doğal (15dk)	73.39 ±1.28	-7.01 ±0.80	68.23 ±0.80
Doğal (30dk)	68.79 ±0.95	-1.52 ±0.10	31.38 ±0.15
Kalsine (15dk)	68.34 ±0.88	-6.29 ±0.70	60.82 ±0.75

<b>Kalsine (30dk)</b>	66.54 ±0.74	-2.51 ±0.20	30.51 ±0.50
<b>Flaks kalsine (15dk)</b>	74.41 ±1.23	-7.40 ±0.85	66.66 ±0.92
<b>Flaks kalsine (30dk)</b>	66.47 ±0.67	-2.62 ±0.18	35.64 ±0.20

Çizelge 3'te görüldüğü üzere, doğal ve işlenmiş diyatomit örneklerinin, nötralize ayçiçek yağının parlaklığını arttırdığı, kırmızı renk değerini tüm çeşitlerde 15 dk'lık uygulamanın arttırdığı, 30 dk lık uygulamanın ise azalttığı, sarı renk değerini ise doğal ve flaks kalsine diyatomit çeşitlerinin arttırdığı, diğer uygulamaların azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, kontrol grubu değerlerine ( $L^* 77.09$ ;  $a^*-6.21$ ;  $b^*43.23$ ) parlaklık, kırmızı renk ve sarı renk yönünden en çok yaklaşan diyatomit çeşitlerinin; parlaklık yönünden doğal diyatomit (15 dk;  $L^* 73.39$ ), kırmızı renk bakımından kalsine diyatomit (15 dk;  $a^*-6.29$ ) ve sarı renk bakımından ise flaks kalsine diyatomit'in (30 dk;  $b^*35.64$ ) olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.** Nötralize kanola yağının renk açma (ağartma-bleaching) prosesinde; doğal, kalsine ve flaks diyatomitlerin, kanola yağının renk değerleri üzerine etkileri

Kullanılan Diyatomit Çeşidi	L*	a*	b*
Nötralize Kanola Yağı	77.71±1.21	-7.17±0.88	116.90±1.82
Kontrol Grubu	80.97±1.48	-7.51±0.90	122.01±1.43
Doğal (15dk)	79.41±1.35	-9.64±0.96	105.57±1.28
Doğal (30dk)	79.32±1.40	-8.75±0.93	98.05±1.16
Kalsine (15dk)	78.73±1.30	-7.31±0.80	122.02±1.30
Kalsine (30dk)	78.52±1.30	-5.73±0.60	96.88±1.03
Flaks kalsine (15dk)	78.50±1.25	-8.41±0.87	79.15±0.96
Flaks kalsine (30dk)	78.20±1.05	-6.41±0.73	123.57±1.35

Çizelge 4'de görüldüğü üzere, doğal ve işlenmiş diyatomit çeşitlerinin, nötralize kanola yağının parlaklığını arttırdığı, kırmızı renk değerini sadece

kalsine (15 dk) ve flaks kalsine (30dk) uygulamalarının azalttığı diğer tüm çeşit ve süre uygulamalarının arttırdığı, sarı renk değerini ise kalsine (15 dk) ve flaks kalsine (30dk) diyatomit çeşitlerinin arttırdığı, diğer uygulamaların azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, kontrol grubu değerlerine ( $L^* 80.97$ ;  $a^*-7.51$ ;  $b^*122.01$ ) parlaklık, kırmızı renk ve sarı renk yönünden en çok yaklaşan diyatomit; parlaklık yönünden doğal diyatomit (15 dk;  $L^* 79.41$ ), kırmızı ve sarı renk bakımından ise kalsine diyatomit'in (15 dk;  $a^*-7.31/ b^* 122.02$ ) etkili olduğu, bundan sonra bu değerler üzerine flaks kalsine (30 dk) diyatomit'in etkili olduğu belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde, renk parametresinin bitkisel yağların kalitesini belirleyen kalite faktörlerinden biri olduğu belirtilmiştir (Bheemreddy *et al.* 2002, Duman ve Özcan 2020). Innawong *et al.* (2019) soya yağının kızartma işleminde çeşitli absorbantlar ile renk özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, kullandıkları ticari diyatomit toprağının farklı sürelerde kullanılması ile L değerinin başlangıçta 59.57, 6 saatlik uygulama sonrası 59.66, 12 saatlik uygulama sonrası 60.12, a değerinin belirtilen sürelerde sırasıyla 8.50; 11.74;12.79, b değerinin de belirtilen sürelerde sırasıyla 36.18; 39.0;42.45 değiştiğini bildirmişlerdir. Turan vd. (2019) kızartmada kullanılmış ayçiçek yağının saflaştırılmasında çeşitli absorbantların kullanılmasına yönelik yaptıkları çalışmada ağartma topraklarının kullanılmış ayçiçek yağının L değerini arttırdığını, a ve b değerlerini azalttığını belirtmişlerdir. Moshabi *et al.* (2017) soya yağında kullandıkları zeolit kökenli absorbantların ticari absorbant kadar yağın rengi üzerinde ağartma sonuçlarının elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmamız sonucunda elde ettiğimiz sonuçlar ile literatür bilgileri kıyaslandığında belirtilen lokasyondan elde edilen diyatomit toprağının uygulanan süreye bağlı olarak ağartma işlemi sağladığı ve çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra, ticari olarak kullanılan absorbant kadar etkili olabileceği belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

İscehisar (Afyonkarahisar) ilçesinin Seydiler Kasabesindeki diyatomit ocağından temin edilen doğal diyatomit kullanılarak kalsine ve flaks kalsine diyatomit üretilerek, özellikleri incelenmiş ve bu



diyatomit örneklerinin bitkisel yağların ağartılması işlemindeki performansı incelenmiştir.

XRD incelemelerinde doğal diyatomitin büyük oranda amorf silisten meydana geldiği, düşük oranda opal-CT/kristobalit, tridimit ve kuvars minerallerini içerdiği, diğer taraftan ağartma toprağının çoğunlukla simektit mineralinden oluştuğu ve az oranda ise illit, kuvars, feldispat ve dolomit minerallerini ihtiva ettiği görülmüştür. Diyatomitin ekonomik olarak kullanımındaki en önemli faktörlerden birisi olan SiO<sub>2</sub> içeriğinin (%89,132) ticari olarak kullanım için arzu edilen oranda olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada üretilen değişik diyatomit örneklerinin bitkisel yağların ağartılmasına yönelik test sonuçları doğal, kalsine ve flaks kalsine diyatomit türlerinin tüketimi yaygın olan ayçiçek ve kanola yağlarında ağartma toprağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Uygulanan renk açma prosesi sürelerine göre bu diyatomit türlerinin renk açma düzeylerinin değişebileceği ve gıda teknolojisinde yaygın kullanılan ticari ağartma toprağına yakın verimlerin elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda; Seydiler bölgesi diyatomitlerinin bitkisel yağ sanayisinin yanısıra, diğer gıda, kimya ve kozmetik sanayilerinde de kullanım olanaklarının araştırılması ve ülkemizdeki bu kaynağın değerlendirilmesinde fayda vardır.

## 5. Kaynaklar

- Açıklan, N., 1991. Türkiye’de ve dünya’da diyatomit, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü F.E.D, Ankara, **1**, 1-30.
- Bheemreddy, R. M., Chinnan, M. S., Pannu, K. S., and Reynolds, A. E., 2002. Active treatment of frying oil for enhanced fry-life. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, **67**(4), 1478-1484.
- Breese, R.O.Y., 1994. Diatomite, in *Industrial Minerals and Rocks*, Carr, D.D., and others (Eds), Littleton, CO, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 1 p. 397-412, Colorado, USA.
- Çetin, M, Taş B, 2012. Biyolojik Orjinli Tek Mineral: Diyatomit. *Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV) Bilim Dergisi*, **5**(2): 28-46.
- Çolak, H., Uğurluay, G., Nazlı, B., Bingöl, E.B., 2011 “Paketlemede Kullanılan Nem Tutucu Filtrelerin Hindi

Etinin Raf Ömrü Üzerine Etkisi”, *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **37**(2), 107-116.

- Duman, E., Özcan, M.M., 2020. The Influence of Industrial Refining Stages on the Physico-Chemical Properties, Fatty Acid Composition and Sterol Contents in Hazelnut Oil. *J Food Sci Technol*, **57**, 2501–2506 (2020).
- Ebeling, W, 1971. Sorptive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology*, **16**(1): 123-158.
- Harben, P.W., 1995. Diatomite, *The Industrial Minerals Handy Book*, Industrial Minerals Div., Warwick, England, **1** 57-61.
- Hermey, H.E., 1990. Studies on the pigments of some citrus, prune and cucurbit seed oils when processed with or without cottonseed oil, *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, **67** (6), 376-380.
- Innawong B., Chatchalai Siasakul C., Udomkun P., 2019. Application of oil replenishment and mixed adsorbents technology to enhance the shelf life of frying oil, *Science, Engineering and Health Studies*, **13**(3), 119-132
- Mosbahi M., Tlili A., Khelifi M., Jamoussi F., 2017. Basic activation of lower Eocene clay from Meknassy-Mezzouna basin (centerwestern Tunisia), synthesis of zeolite and clarification of soybean oils, *Applied Clay Science*, Volume **138**, 1-11, ISSN 0169-1317,
- Metin, S, Genç, S ve Bulut, V, 1987. Afyon ve yakın dolayının jeolojisi. M.T.A. Raporu No: **2113**, Ankara.
- Neu, E. L., Alciatore, A.F. 1977. Diatomite, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3 rd edition, vol. **7**. 603-613.
- Önen V.Ç., Gökay M.K., 2006. Sepiyolitinin Ayçiçek Yağının Ağartılmasında Ağartma Toprağı Olarak Kullanılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **21**, 1-2.
- Özbey, G., Atamer, N., 1987. “Kizelgur (Diyatomit) Hakkında Bazı Bilgiler”, **10**. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, 493-502. Ankara
- Püskülcü, H, İkiz, F., 1998. Introduction to statistic, **1**, Bilgehan Press, Bornova.
- Subramanyam Bh, Roesli R. 2000. Inert dusts. In (Bh. Subramanyam & D.W. Hagstrum (Eds.). Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM. **1**, 321-380, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Turan S., Yalçuk A., Şişlioğlu K Ramadan M.F., 2019. Purification Of Used Sunflower Frying Oil With Adsorbent Mixtures Using An Active Filtration Method, *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse- Vol. 10*, 171-181.
- Yıldız, A, 1997. Seydiler (Afyon) Diyatomit Cevherinin Jeolojisi ve İzolasyon Tuğlası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bil. Enst. Seramik Müh. A.B.D., Afyonkarahisar, 128.
- Yıldız, A, Kibici, Y ve Emrulloğlu, Ö.F. 1999. Seydiler (Afyon) diyatomit yatağının jeolojisi ve mineralojisi, **1**. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 96-104, İzmir.

## Araştırma Makalesi / Research Article

**Characteristics of Antarctic Surface Waters in the South Bay, on Livingston Island, South Shetland Islands****Mehmet BODUR<sup>1</sup>, Mustafa KOÇAK<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hakkari.<sup>2</sup>ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli/İçelSorumlu yazar e-posta: [mnbodur@hakkari.edu.tr](mailto:mnbodur@hakkari.edu.tr) ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0002-8515-0686>[mkokcak@ims.metu.edu.tr](mailto:mkokcak@ims.metu.edu.tr) ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0002-5416-9632>

Geliş Tarihi: 10.03.2021

Kabul Tarihi: 25.08.2021

**Abstract**

This study presents hydro chemical characteristics of surface waters of the South Bay, Antarctic Peninsula, between the coordinates 62°40'S and 60°28'W. The surface water samples were collected from different stations. Water Depth, salinity, temperature and Secchi Disk Depth measurements were carried out on board of a Zodiac Boat from 05.02.2018 to 19.02.2018. A total of 20 surface water samples were handled by PVC and analyzed for major ions, pH and conductivity. Secchi disk depth, surface water temperatures and water depth values ranged from 1.0 to 4.0 m, 19.1 to 118.5 m and 0.10 to 2.50 °C, respectively. These parameters were mutually comparable with each other, denoting close relationship with suspension. Salinity and conductivity were found to covary, suggesting influence of salt content of on the conductivity. Cl /Na ratio varied from 1.5 to 1.6, being lower than that of 1.8. There was a strong relationship between Cl/Na ( $r=0.74$ ), reflecting the effect of freshwater input on aforementioned ratio. Na, Mg and K showed strong correlation coefficient ( $r>0.99$ ). However, Ca exhibited lower correlation coefficients with remaining cations. It might be suggested that Na, Mg and K were conservative cations whilst Ca concentrations were partially affected by processes such as uptake by phytoplankton. Ion balance were predominated by cations, exhibiting missing anion bicarbonate. As a result, these values hopefully reflected some important clues for temporarily and spatially environmental effects onto the partly icy surface water which should be monitored further in detail to get better understanding of its dynamics in the South Bay.

**Keywords**Surface Water  
Chemistry;  
Hydrophysics; South  
Bay; Antarctic  
Peninsula.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Güney Shetland Adalarından Livingston Adası, Güney Körfezindeki Antarktik Yüzey Sularının Özellikleri****Öz**

Bu çalışma; Antarktika Yarımadası 62° 40' S ve 60° 28' W koordinatları arasında yer alan Güney Körfezindeki, Yüzey Sularının hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yöneliktir. Farklı istasyonlardan yüzey suları toplanmıştır. Suderinliği, tuzluluk, sıcaklık ve Sekki Disk Derinliği ölçümleri 05.02.2018 - 19.02.2018 tarihlerinde Zodyak Bot üzerinde gerçekleştirilmiştir. pH, iletkenlik ve major iyon ölçümleri için toplam y20 örnek PVC şişelere konmuştur. Secchi disk derinliği, yüzey suyu sıcaklıkları ve su derinliği değerlerinin sırasıyla; 1.0 - 4.0 m, 19.1 - 118.5 m ve 0.10 - 2.50 °C aralıklarında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Bu parametreler birbirleriyle kıyaslanabilir bulunurken, askıda madde ile ilişkilidir. Cl / Na oranı, 1.8'den daha düşük olan 1.5 ile 1.6 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Yukarıda bahsedilen oran üzerinde tatlı su girdisinin etkisini yansıtan Cl / Na ve sıcaklık arasında logaritmik bir ilişkinin ( $r = 0.74$ ) varlığı tespit edilmiştir. Na, Mg ve K kuvvetli korelasyon katsayısı ( $r>0.99$ ) gösterirken, Ca ise; Na, Mg ve K ile daha düşük korelasyon katsayı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Na, Mg ve K'nin katyonları konservatif karakter sergilerken, Ca derişimlerinin, yüz sularındaki fitoplanktonlar tarafından tüketilebileceği gibi kısmen daha başka süreçlerden

**Anahtar kelimeler**Yüzey Suyu Kimyası;  
Hidrofizik; Güney  
Körfezi; Antarktika  
Yarımadası.

etkilenebileceği ileri sürülebilir. İyon dengesinde katyonların baskın olduğu gözlenirken, eksik anyonun bikarbonat olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen bu sonuçlar; ilgili parametrelerin birbiriyle karşılaştırılabilir ve askı yükü maddelerle de yakın ilişki ve etkileşimler içerisinde olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yüzey suyu üzerindeki geçici ve mekânsal çevresel etkiler bakımından bazı önemli ipuçlarını yansıttığını düşündüğümüz bu değerlerin, zaman zaman irili ufaklı buzul kütlelerinin görüldüğü körfezdeki dinamiklerin daha iyi anlaşılabilmesi için ayrıntılı olarak izlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

## 1. Introduction

The Antarctic has experienced remarkable warming since 1980s (Antoni et al., 2020 and references therein). Such increase is responsible for the melting of glaciers that drain considerable amount of freshwater and terrestrial material, leading to relatively stronger stratification because of lower saline surface waters. The glaciers of King George Island (KGI) in the South Shetland Archipelago have lost about 7 % of its total area since 1950s (Simões et al., 1999).

Based on our knowledge, there is a limited (references therein) scientific study focusing on knowledge on the basic oceanographic features, however, gaps still remain in especially chemical, physical, biological as well as geological characterization of the South Bay, Livingston Island at sub-Antarctic region, limiting our knowledge on the oceanographic factors related to Antarctic surface waters.

Because of basic studies focused on chemical and physical aspects in the surface waters of the marine environments especially in this regional area are scarce. Therefore, we carried out this study with sampling of surface water samples and also measured secchi disc depth at selected stations with a grid system. During the summer period of 2018, a total of 29 sampling sites were characterized for temperature, secchi disc depth and water depth whereas 20 samples were analyzed for salinity, pH, conductivity and major ions in the laboratory. Throughout the field survey the South Bay was under the affecting of cloudy, calm water and icy environmental conditions.

In this present study, the following questions will be: 1) How does the Secchi Disc Depth relate to temperature and water depth across the bay? 2)

How does the physical parameters influence on the chemical properties of surface water? 3) How does chemical composition of the surface water affected by melting and freezing processes?

## 2. Materials and Methods

Surface seawater samples were taken from Anions and cations were South Bay, South Shetland Islands, Antarctica (see Figure 1).



**Figure 1.** Location of sampling sites at South Bay Livingston Island, Antarctica.

A total of 20 samples were collected. Coordinates, depth and temperature were measured on board by using Garmin Echomap instrument equipped with temperature sensor. Secchi Disc Depths were determined for all sampling sites by applying Secchi Disc. Salinity and pH were respectively determined in the laboratory using salinometer and pH meter. Major ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) were measured by using Ion Chromatography (ICS-500, Dionex). Ion Chromatography, with autosampler. For cationic species CS12A column coupled with 20mM methane sulfonic acid as eluent (flow rate: 1.0 mL/min, applied current: 59 mA, injection volume: 25 $\mu$ L) is used while analysis of anionic species was performed with AS11 column and 30mM NaOH as

eluent (flow rate: 1.0 mL/min, applied current: 112 mA, injection volume: 200 µL). Analyses were carried out at 30° C with suppressed conductivity detector (Nehir and Koçak, 2018).

### 3. Results and Discussion

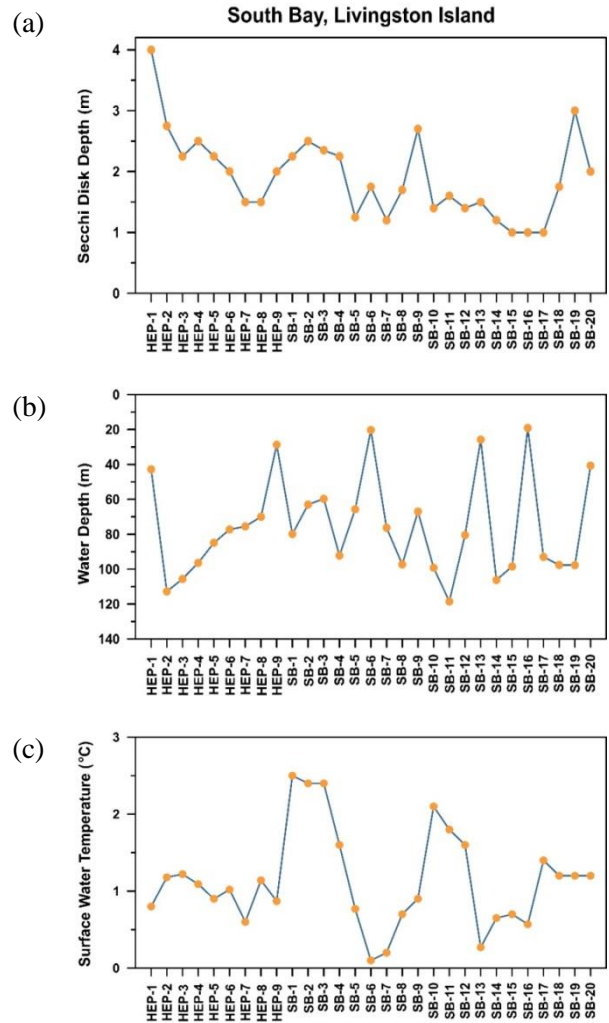
#### 3.1. General Characteristics of Data

Secchi depths along the eastern transect line remained fairly constant between 3–4 m. The western transect line began with a Secchi depth similar to that of the eastern transect line. However, after about 0.8 km along the transect line, the Secchi depth was reduced to approximately 1–2 m (Figure 2).

Secchi Disk Depth Secchi disk depth, surface water temperatures and water depth values varied from 1.0 to 4.0 m, 19.1 to 118.5 m and 0.10 to 2.50 °C, respectively (see Table 1 and Figure 2). Similarly, low surface temperature has been reported by Garcia et al. (2002) for the Bransfield Strait is a semi-enclosed Antarctic sea located between the South Shetlands archipelago and the Antarctic Peninsula. Secchi Disk Depth and Temperature denoted moderate correlation coefficient, implying colder sampling sites were associated with relatively more turbid water masses.

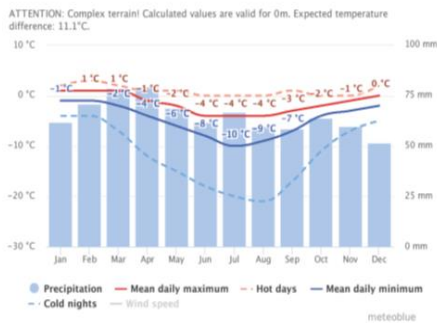
**Table 1.** Sampling dates and times, Secchi Disc Depths, water depth, surface temperatures and coordinates for field survey. South Bay- Livingston Island, from 05 Feb 2018 to 19 Feb 2018, 26th Bulgarian Antarctica Exp980edition and TAE-II 2018 Austral Season.

Sampling Name	Sampling Date	Sampling Time	High Tide Level	Low Tide Level	Mean Tide Level	Secchi Disk Water Depth (m)	Water Depth (m)	Water Temperature °C	Latitude (S)	Longitude (W)
HEP-1	2.05.2018	11.00				4,00	42,8	0,80	62 38 26,9	60 23 04,5
HEP-2	2.05.2018					2,75	112,8	1,18	62 38 24,8	60 23 45,2
HEP-3	2.05.2018					2,25	106,6	1,22	62 38 21,6	60 23 26,6
HEP-4	2.05.2018					2,50	96,4	1,09	62 38 21,7	60 24 53,5
HEP-5	2.05.2018					2,25	84,9	0,90	62 38 20,5	60 25 20,5
HEP-6	2.05.2018					2,00	77,3	1,02	62 38 22,3	60 25 56,3
HEP-7	2.05.2018					1,50	75,5	0,60	62 38 18,2	60 26 49,5
HEP-8	2.05.2018					1,50	70,0	1,14	62 38 15,2	60 27 00,9
HEP-9	2.05.2018	14,00				2,00	28,7	0,87	62 38 14,1	60 27 38,0
SB-1	19/2/2018	10,00				2,25	79,9	2,50	62 38 23,4	60 23 9,1
SB-2	19/2/2018					2,50	63,0	2,40	62 37 52,5	60 23 46,5
SB-3	19/2/2018					2,35	59,7	2,40	62 37 42,3	60 23 50,1
SB-4	19/2/2018					2,25	92,2	1,60	62 37 55,5	60 23 00,7
SB-5	19/2/2018					1,25	65,7	0,77	62 38 05,9	60 22 33,2
SB-6	19/2/2018					1,75	20,3	0,10	62 38 12,8	60 22 05,3
SB-7	19/2/2018					1,20	75,3	0,20	62 38 00,4	60 22 18,8
SB-8	19/2/2018					1,70	97,3	0,70	62 37 40,6	60 22 24,3
SB-9	19/2/2018					2,70	67,0	0,90	62 37 15,4	60 22 51,0
SB-10	19/2/2018					1,40	99,2	2,10	62 37 26,7	60 22 24,4
SB-11	19/2/2018					1,60	118,5	1,80	62 37 40,3	60 21 41,2
SB-12	19/2/2018					1,40	80,5	1,60	62 37 48,7	60 21 13,0
SB-13	19/2/2018					1,50	25,8	0,27	62 37 58,2	60 20 50,1
SB-14	19/2/2018					1,20	106,2	0,65	62 37 36,3	60 20 41,3
SB-15	19/2/2018					1,00	96,5	0,70	62 37 25,0	60 20 47,3
SB-16	19/2/2018					1,00	19,1	0,57	62 37 11,4	60 20 48,2
SB-17	19/2/2018					1,00	93,0	1,40	62 37 22,4	60 21 31,2
SB-18	19/2/2018					1,75	97,6	1,20	62 37 32,9	60 21 10,5
SB-19	19/2/2018					3,00	107,7	1,20	62 37 46,3	60 22 22,6
SB-20	19/2/2018	16,00				2,00	40,7	1,20	62 38 12,8	60 22 39,8



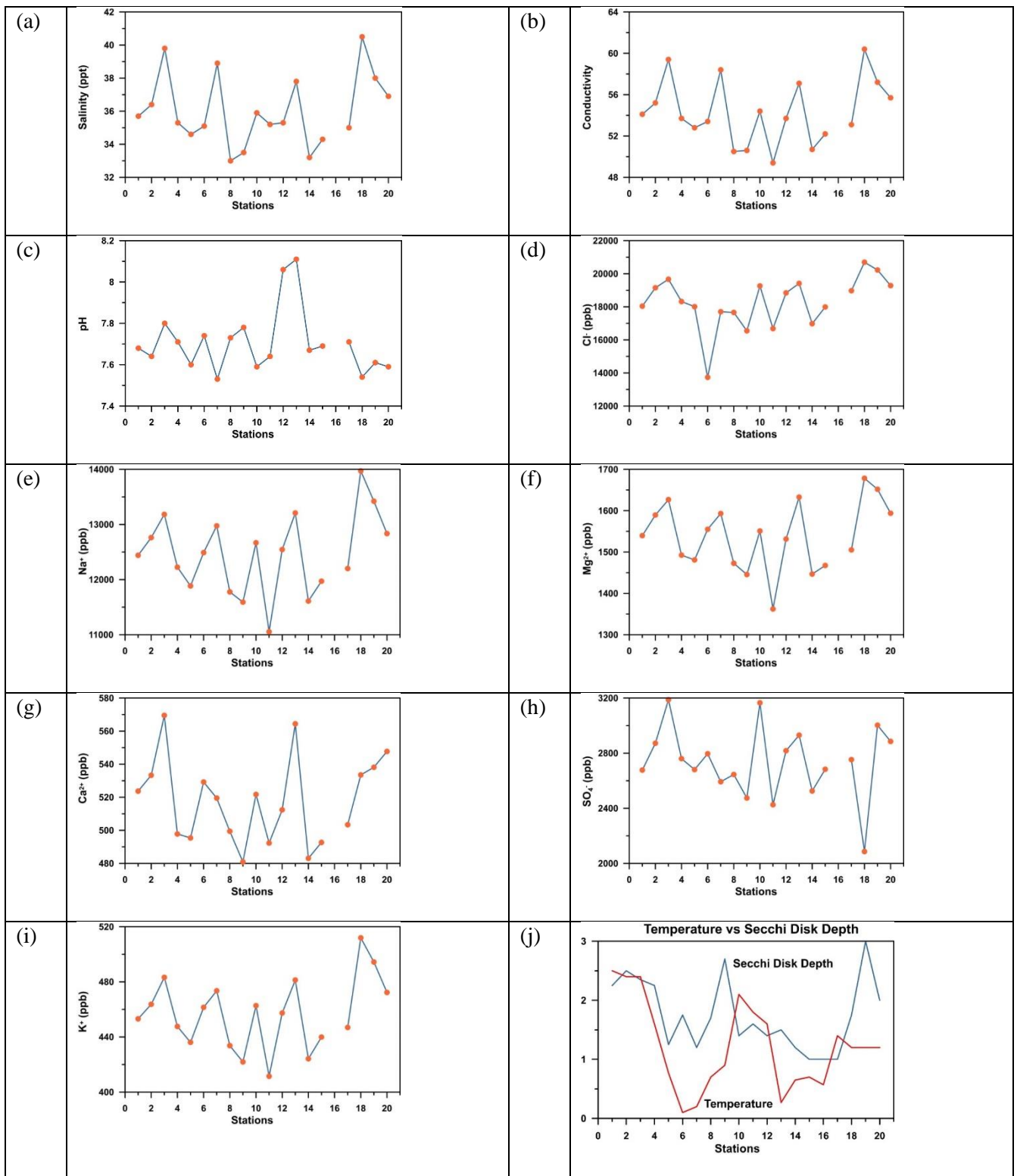
**Figure 2.** (a) Secchi Disk Depth, (b) Surface Water Depth and (c) Surface Temperature for sampling sites at South Bay.

Correspondingly, Table 2 and Figure 2,4 show statistical summary including arithmetic mean, median, standard deviation, minimum and maximum and spatial variability for measured parameters. pH varied from 7.53 to 8.11 with a mean value of 7.71. The highest values were observed for Stations 12 and 13. pH did not show any relationship with the remaining variables. Salinity exhibited a large variability among the stations, varying from 33 to 40.5. Conductivity showed similar spatial variability, ranging between 49.4 and 60.4. As can be deduced from the Figure 4a,b, salinity and conductivity was found to be co-varied, suggesting the influence of the salt content of the surface waters on the conductivity.



**Figure 3.** Monthly precipitation, minimum maximum temperatures, hot days and cold nights for South Bay.

Conservative sea salts  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  (Turekian, K.K., 1976) also exhibited large spatial variability. Mean values were respectively 18273, 12464, 457 and 1538 ppb for  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . These values for cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ) were higher than that of average sea water composition ( $\text{Na} \sim 10880$ ,  $\text{K} \sim 400$ ,  $\text{Mg} \sim 1290$  ppb). Whereas,  $\text{Cl}^-$  was slightly lower than sea water composition. It should be noted that the percent differences were remarkably different for cations and chlorine, former and later being  $\sim 15\%$  and  $\sim 6\%$ . Based on these values, it might be argued that the concentrations of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  were likely to be affected by both ice formation and fresh water input. Mean  $\text{Ca}^{2+}$  518 ppb, ranging from 481 to 595. The arithmetic mean of  $\text{Ca}^{2+}$  was 1.3 times larger than that of observed for average sea water. Sulfate varied from 2086 to 3188 ppb with a mean of 2764, being almost identical to average sea water concentration.



**Figure 4.** Spatial variability of variables. (a) Salinity, (b) Conductivity, (c) pH, (d) Cl<sup>-</sup>, (e) Na<sup>+</sup>, (f) Mg<sup>2+</sup>, (g) Ca<sup>2+</sup>, (h) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, (i) K<sup>+</sup> and (j) Relationship between Temperature and Secchi Disk Depth



### 3.2. Ion Balance

Ion balance is the sum of the anions equals the sum of the cations when it is expressed as equivalents. Missing parameter can be determined by useful tool ion balance (Bardouki *et al.*, 2003). Figure 5 exhibits spatial cations and anions sum. As can be seen from the Figure, cations sum was always higher than the anions sum for all sampling stations.

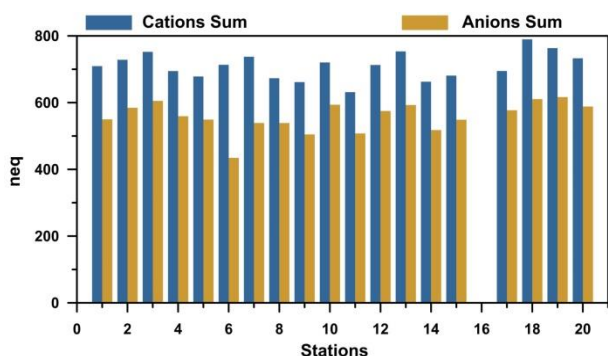


Figure 5. Ion balance.

This discrepancy suggests that there was a missing anion and this might be attributed to bicarbonate. Deficiency conductivity and salinity in the surface water were mainly characterized by cation concentrations.  $K^+/Na^+$  (0.036) and  $Mg^{2+}/Na^+$  (0.11) ratios were also identical those of average sea water. However,  $Ca^{2+}/Na^+$  (0.029),  $Cl^-/Na^+$  (1.4) and  $SO_4^{2-}/Na^+$  (0.087) were lower than those observed for average sea water. These difference might be attributed to (a) possible uptake of  $Ca^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$  by phytoplankton's and/or (b) ice formation and fresh water input.

### 3.3 Correlation Between Variables

The correlations between variables exhibit the degree to which they vary together (Table 2 & 3). Thus, in data sets, strong correlation coefficients between two variables show (a) similar sources and/or, (b) similar generation and/or removal mechanisms and/or (c) similar transport patterns (Güllü *et al.*, 1998).

pH did not exhibit statistically significant correlations with other variables. On the other hand, conductivity (C) showed strong correlation coefficients with salinity (S) and cations ( $r > 0.80$ ). Salinity also depicted strong correlation coefficients with cations. It might be suggested that observed (i)

possible uptake of  $Ca^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$  by phytoplankton's and/or (ii) Ice formation and fresh water input.

Table 2. Statistical summary for measured species.

Species	Arithmetic Mean	Median	Standard Deviation	Minimum	Maximum
WD (m)	74.9	80.2	29.4	19.1	118.5
SDD (m)	1.7	1.7	0.6	1.0	3.0
T (°C)	1.2	1.2	0.7	0.1	2.5
S (‰)	36.0	35.3	2.1	33.0	40.5
Conductivity	54.3	53.7	3.1	49.4	60.4
pH	7.7	7.7	0.2	7.5	8.1
Na <sup>+</sup> (ppm)	12464	12490	725	11054	13970
K <sup>+</sup> (ppm)	457	457	26	412	512
Mg <sup>2+</sup> (ppm)	1538	1540	82	1362	1678
Ca <sup>2+</sup> (ppm)	518	520	26	481	570
Cl <sup>-</sup> (ppm)	18273	18319	1585	13735	20697
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	2735	2753	260	2086	3188

Table 3. Correlation coefficient matrix for variables.

	pH	C	S	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
pH	0								
C	0.07	0							
S	0.12	0.95	0						
Na <sup>+</sup>	0.004	0.96	0.87	0					
K <sup>+</sup>	0.03	0.95	0.88	0.99	0				
Ca <sup>2+</sup>	0.20	0.81	0.79	0.80	0.81	0			
Mg <sup>2+</sup>	0.001	0.94	0.84	0.99	0.98	0.85	0		
Cl <sup>-</sup>	0.002	0.65	0.61	0.64	0.62	0.50	0.60	0	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.28	0.21	0.12	0.24	0.23	0.52	0.31	0.22	0

#### 4. Concluding Remarks

Although, present study revealed that conductivity and salinity were predominated by cations, data set was not sufficient to explain variability in the pH. Discrepancy for  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  (0.029),  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  (1.4) and  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  (0.087) might be ascribed to (i) possible uptake of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  by phytoplankton's and/or (ii) Ice formation and fresh water input. The detection limit of the instrument and high cation and anion concentrations did not allow us to determine macro-nutrient concentrations. On the one hand, the outcome from this study showed the coastal surface waters of the Antarctica exhibited unusual chemical composition compared to average sea water on the other hand, in order to unrevealed such interactions more detailed multi-disciplinary research is needed.

Consequently, in order to understand optical properties of the surface waters in the South Bay, Antarctica there is a need to study primary productivity and UV risk in the marine habitat. Furthermore, regarding global climate change more accurate future scenarios are needed for these regions. Scientific knowledge on the possible influence of glaciers originated from freshwater fluxes and the attenuation of the light through the water column is also essential to explain spatio-temporal primary production and carbon cycle in the Bay as well as vicinity around the Livingston Island.

#### References

- Antoni, J.S., Almandoz, G.O., Ferrario, M.E., Hernando, M.P., Varela, D. E., Rozema, P.D., Buma, A.G.J., Paparazzo, F. E., Irene R.Schloss, R.I. , 2020. Response of a natural Antarctic phytoplankton assemblage to changes in temperature and salinity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **532**, 151444.
- Bardouki, H., Liakakou, H., Economou, C., Sciare, J., Smolik, J., Zdimal, V., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M., Dye, C. and Mihalopoulos, N.,, 2003. Chemical composition of sizeresolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter. *Atmospheric Environment*, **37**, 195–208.
- Bodur, M.N., 2020. *Pioneering Measurement and Assessment of Secchi Disk Depths at South Bay, Livingston Island-South Shetland Islands, West Antarctica*. SCAR2020 COMNAP 31 JULY – 11 AUGUST 2020, Hobart . Tasmania . Australia, COMNAP Symposium: 2 August 2020, SCAR Open Sci. Conf.:3-7 August 2020, COMNAP XXXII Annual General Meeting: 3-6 August 2020, SCAR XXXVI Delegates Meeting: 10-11 August 2020 (COMNAP2020 Submitted Abstract).
- Dietz, Robert S., 1948. Some Oceanographic Observations on Operation HIGHJUMP.
- Garcia , M. A., Castro, C. G., Ríos, A. F., Doval, M. D., Rosón, G., Gomis, D., López, O., 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Research II* **49**, 585–602.
- Güllü, G. H., Ölmez, I., Aygün, S. and Tuncel, G., 1998. Atmospheric trace element concentrations over the Eastern Mediterranean Sea: Factors affecting temporal variability. *Journal of Geophysical Research*, **103**, D17, 21943-21954.
- Mitchell, B:G., and Holm-Hansen, O., 1987. RACER: Optical prediction of photobiological properties. *Antarctic Journal of the U.S.*, **22**(5).
- Nehir, M. and Koçak, M., 2018. Atmospheric water-soluble organic nitrogen (WSO<sub>N</sub>) in the eastern Mediterranean: origin and ramifications regarding marine productivity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **18**, 3603–3618.
- Turekian, K.K., 1976. *Oceanography*. Publisher, Prince-Hall (Englewood Cliffs,N.J.).

## Gerçek Zamanlı DC Motor Konum-Hız ve Konum-Hız-Tork Kaskad PID Denetleyici Performanslarının Karşılaştırılması

Hüseyin KOÇ<sup>1</sup>, Burak Safa BERZENER<sup>1</sup>, Tuğçe YAREN<sup>1\*</sup>, Selçuk KIZIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Sorumlu yazar e-posta: [tugce.yaren@kocaeli.edu.tr](mailto:tugce.yaren@kocaeli.edu.tr)  
[kou.huseyinkoc@gmail.com](mailto:kou.huseyinkoc@gmail.com)  
[burakberzener@gmail.com](mailto:burakberzener@gmail.com)  
[selcuk.kizir@kocaeli.edu.tr](mailto:selcuk.kizir@kocaeli.edu.tr)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9937-3111>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-3231>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5929-5224>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0582-5904>

Geliş Tarihi: 27.01.2021

Kabul Tarihi: 01.08.2021

### Öz

Endüstriyel servo uygulamaları genellikle çok döngülü kontrol yapısına sahiptir. Konum, hız ve akım döngüleri iç içe olacak şekilde bir kontrol yapısı oluşturulur. Oluşturulan yapıda, sistemin tüm durumları gözlemlenebildiği için sisteme etki eden dinamik yükler altında sistem yanıtında değişiklik olmaz. Klasik kontrol sisteminin bir alternatifi olan kaskad kontrol yöntemi, özellikle öngörülme bozucuların varlığında kontrol sisteminin performansını artırmaktadır. Bu çalışmada, DC motorun önce konum-hız kontrolü, daha sonra konum, hız ve tork kontrolü kaskad PID denetleyicisi tasarlanarak, gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Uygulanan bu kontrol yöntemi Matlab-Simulink tabanlı Waijung blok set ile STM32F4 uygulama geliştirme kiti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı uygulamada, farklı referans girişler için sistemden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuş ve kontrolcü performansı analiz edilmiştir. Sistem çıkışının tüm referans girişleri başarılı bir şekilde takip etmesi ile tasarlanan kontrolcünün performansı net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

### Anahtar kelimeler

DC Motor; Gerçek Zamanlı Kontrol; Kaskad Kontrol; STM32F4 Kiti; Waijung Blok Set.

## Comparison of Real Time DC Motor Position-Speed and Position-Speed-Torque Cascade PID Controller Performances

### Abstract

Industrial servo applications generally have a multi-loop control structure that has the position, velocity, and current loops. Since all states of the system can be observed in the cascade structure, there is no change in the system response under dynamic loads affecting the system. The cascade control method, which is an alternative to the classical control system, increases the performance of the control system especially in the presence of unpredictable disturbances. In this study, first the position-speed control of the DC motor, then the position, speed, and torque control of the DC motor are designed by using cascade PID controller and implemented in real-time. The designed controllers were implemented by using Matlab-Simulink based Waijung block set and STM32F4 development kit. In real time application, the results obtained from the system for different reference inputs are presented graphically and the controller performance has been analyzed. The performance of the designed controller is clearly shown by the system output following all reference inputs successfully.

### Keywords

DC Motor; Real Time Control; Cascade Control; STM32F4 Kit; Waijung Block Set.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Bir kontrol sisteminde asıl amaç, dış etkenlerden gelen bozucu sinyalin yok edilmesi ve referans sinyalin hatasız takip edilmesidir (Bingül ve Küçük 2017). Motor miline bağlanan ve değeri bilinmeyen bir yük veya yükteki ani değişimler, bağlantı elemanlarındaki sürtünme, boşluklar DC motorda bir takım belirsizliklere neden olabilir. Karşılaşılan

bu belirsizlikler çıkışın (konum, hız veya tork), referans yörüngesi hatalı takip etmesine neden olabilir (Karadeniz vd. 2014). Güçlü bir kontrolör yukarıda belirtilen hataları ve yukarıda belirtilen hatalardan kaynaklanan problemleri gidererek iyi bir davranış gösterebilir (Bingül ve Küçük 2017).

PID kontrol yöntemi, daha gelişmiş kontrol teknikleri olmasına rağmen, proses endüstrilerinde

hala yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhuang 1994). Basit yapısı, yüksek verimlilik ve kolay uygulama gibi avantajları tercih sebeplerindedir (Kelekçi vd. 2019). PID kontrolörlerinin en iyi özelliklerinden biri, birden çok PID denetleyicisinin birlikte kullanılması ile kaskad PID konfigürasyonunun uygulanabilmesidir (Gucin et al. 2015). Bu konfigürasyonda, kontrolörler, bir PID' nin girişinin başka bir PID bloğu tarafından kontrol edildiği şekilde yerleştirilir.

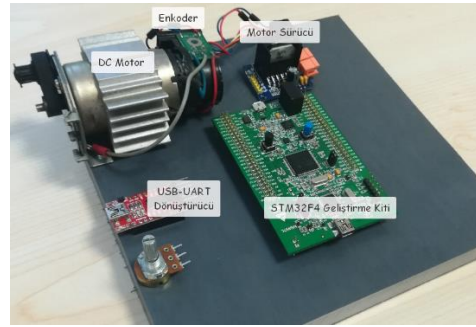
Kaskad PID yapısı, tek PID denetleyici yapısı ile karşılaştırıldığında daha iyi dinamik performans sağlamaktadır. Hem düşük hem yüksek kapasiteli motorlar için referans takibi, bozucu etki yok etme, başlama akımının azaltılması gibi özellikleri yüksek verimle sunar (Patel and Dave 2011). Tek döngüye kıyasla kaskad sistemlerin avantajları esneklik, hızlılıktır. Ayrıca, bu kontrol konfigürasyonu sistemin zaman sabitini azaltır (Kumar 2013).

Sabit mıknatıslı DC motorun hızı, torku, akımı ve konumu genellikle kaskad kontrolörler tarafından kontrol edilir. Motor sürücüler, konum, hız veya akım için bir komut sinyali alır ve kapalı döngü geri beslemesine dayanarak motora uygulanan voltaj ve akımı ayarlar. Bu tür kontrol sistemleri kaskad kontrol yapısını kullanır. Bu kontrol döngüsünün amacı, döngü dinamiklerini ortadan kaldırmaktır. Kaskad kontrol döngüsü tasarımı pratik uygulamalar için uygundur.

Bhavina ve arkadaşları, iki döngülü kaskad PID denetleyici yapısı tasarlayıp, DC motor sistemine PIC18F ile uygulamışlardır. Akım ve hız döngülerini içeren kaskad denetleyicinin, tek döngülü PID denetleyiciye göre üstün performans sağladığı sonucuna varmışlardır (Bhavina et al. 2013). Baçac ve arkadaşları, farklı kontrol teknikleri ile DC motor konum kontrol algoritmaları geliştirip, DC motor sistemine gerçek zamanlı olarak uygulamışlardır. Geliştirdikleri tekniklerden biri 2 seri PI denetleyiciye sahip kaskad kontroldür. Kaskad yapı, konum ve hız döngülerine sahiptir (Bacac et al. 2014). Robet ve Gautier, üç döngülü kaskad bir denetleyiciyi, ivme döngüsü ekleyerek dört döngülü bir kaskad denetleyici tasarlamışlar ve yöntemi deneysel bir DC motor sisteminde uygulamışlardır. İvme döngüsünün, tork bozunumlarını azaltmak için

kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır (Robet and Gautier 2014).

Bu çalışmada, sabit mıknatıslı bir DC motorun pozisyon, hız ve tork kontrolü için kaskad PID denetleyicisi tasarlanmış ve Matlab-Simulink destekli Waijung blok seti ile STM32F4 uygulama geliştirme kiti kullanılarak gerçek zamanlı olarak kontrolü sağlanmıştır. Düşük maliyetli oluşu, 32 bitlik ARM işlemciye sahip olması, programlayıcı ve hata ayıklama birimlerinin kit üzerinde yer alması, kolay öğrenilebilir olması ve Simulink üzerinden koddan bağımsız bloklar ile hızlı bir şekilde programlanabilir olması STM32F4 uygulama geliştirme kitinin seçilmesinin nedenlerindedir (Kizir vd. 2019).



Şekil 1. Deney düzeneği.

Kolay bulunabilir olması, düşük maliyetli olması, konum, hız, tork ve bunların birlikte ele alınabileceği (servo kontrol gibi) farklı kontrol tekniklerinin uygulanabilmesi, birçok sistem içinde yer alan bir bileşen olması ve küçük değişikliklerle farklı kontrol problemlerine dönüştürülebilmesi gibi nedenlerle DC motor kullanımı tercih edilmiştir (Kizir vd. 2019).

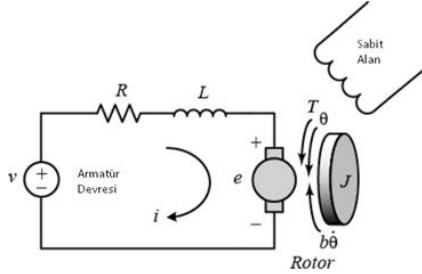
Şekil 1'de, kontrolcünün test edildiği uygulama geliştirme seti görülmektedir. Deney setinde 24V beslemeli, kayış-kasnaklı ve enkoderli, sabit mıknatıslı Canon FN38-S fırçalı DC motor kullanılmıştır. Motorda çözünürlüğü 168 CPR (Counts Per Revolution) olan iki kanallı artımlı enkoder bulunmaktadır. Aynı zamanda deney setinde STM32F4 uygulama geliştirme kiti, H köprü yapısına sahip LMD18200 motor sürücüsü ve seri haberleşme için USB-UART dönüştürücü bulunmaktadır.

## 2. DC Motor Modeli

Homojen bir manyetik alan varsayımı altında, doğru akım (DC) motoru, motor akımından elektriksel

torkuna doğrusal bir dönüştürücü olarak modellenmiştir. DC motorun bu klasik modeli, birleşik bir elektrik ve mekanik bir alt sistemden oluşur. Böylece DC motorun matematiksel modelinin çıkarılmasında elektriksel ve mekaniksel yapısından yararlanır.

Armatürün elektrik devresi ve rotorun serbest cisim diyagramı Şekil 2’de görülmektedir. DC motorun elektriksel ve mekaniksel eşitlikleri sırasıyla Denklem (1) – (4)’de görülmektedir.



Şekil 2. DC Motor Elektriksel ve Mekaniksel Devresi (Control Tutorials for MATLAB and Simulink).

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

$$T(t) = J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + b \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2)$$

$$T(t) = K_t i(t) \quad (3)$$

$$e(t) = K_e \omega(t) \quad (4)$$

Burada  $\omega$  (rad/sn) ve  $i$  (A) sırasıyla açısal hız ve armatür akımını ifade eder.  $K_t$  (Nm/A),  $K_e$  (V/rad/sn) makine tasarımına bağlı olan tork ve zıt-emk sabitlerini ve  $b$  (Nms) viskoz sönümlenmeyi ifade eder. (Genellikle  $K_t = K_e = K$  eşit kabul edilir.)

$T$  (Nm) ve  $e$  (V) ise tork ve zıt-emk’ yı temsil etmektedir.  $J$  ( $\text{kgm}^2$ ) motor armatür ve şaftını içeren mekanik atalettir.  $L$  (Henry),  $R$  (ohm) ve  $v$  (V) sırasıyla endüktansı, motorun toplam bağlantı direncini ve giriş voltajını temsil eder. Görüldüğü üzere ele alınan denklemler zaman ( $t$ ) uzayında yazılmıştır. Bu denklemlerin Laplace dönüşümleri alınarak  $s$  uzayındaki formları yazılır ve gerilim, zıt emk ve moment tork denklemlerinden sistem transfer fonksiyonları elde edilir.

Bilindiği üzere transfer fonksiyonu, sistemin girişi ve çıkışı arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Motorun giriş sinyali motora uygulanan gerilimdir. Çıkış ise

gerçekleştirilen uygulamaya göre değişiklik gösterebilir. Denklem (1) – (4) kullanılarak gerilim/akım, gerilim/hız, gerilim/konum modelleri elde edilebilir.

Motorun akımı ile gerilim arasındaki ilişkiyi gösteren transfer fonksiyonu:

$$\frac{I(s)}{V(s)} = \frac{1}{L_a s + R_a} \quad (5)$$

Motorun hızı ile gerilim arasındaki ilişkiyi gösteren transfer fonksiyonu:

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{L_a s^2 + (JR_a + bL_a)s + (R_a b + K^2)} \quad (6)$$

Motorun konumu ile gerilim arasındaki ilişkiyi gösteren transfer fonksiyonu:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{L_a s^3 + (JR_a + bL_a)s^2 + (R_a b + K^2)s} \quad (7)$$

Çizelge 1’de deney setinde kullanılan DC motorun parametreleri yer almaktadır.

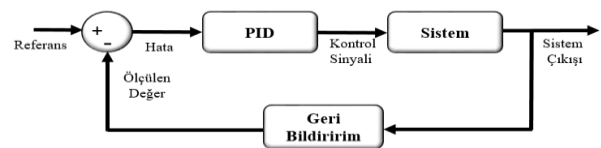
Çizelge 1. DC motor parametreleri.

Parametre	Birim	Değer
Rotor Direnci (R)	ohm	5
Rotor Endüktansı (L)	H	0.0029
Rotor Atalet Momenti (J)	kg.cm <sup>2</sup>	0.032
Motor Tork Sabiti (K <sub>t</sub> )	Nm/A	0.0338
Zıt Emk Sabiti (K <sub>e</sub> )	V/rad/sn	0.0338

### 3. Kontrol

#### 3.1 PID kontrol

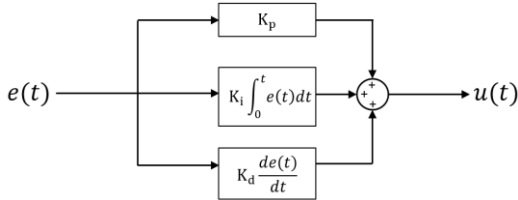
PID kontrol, geri beslemeli kontrol sistemleri arasında en yaygın olarak kullanılan denetim sistemidir. Şekil 3’de blok diyagramı görülen PID kontrol, geri besleme verisinin referans değerinden çıkartılması ile elde edilen hatayı oransal, integral ve türev etkisinde paralel olarak işleyerek, sistemin istenilen referans değerine oturmasını sağlayan bir kontrol metodudur.



Şekil 3. PID kontrol yapısı (Kizir vd. 2019).

Denetim yapısı içerisindeki P, I ve D işlemleri (Şekil 4) farklı formlarda birleşerek P, PI veya PD gibi kontrol yöntemlerine de dönüşebilmektedir.

PID denetleyicilerinin amacı referans ile ölçülen değer arasındaki hatayı zamanla azaltarak sistemin referans değerine ulaşmasını sağlamaktır. PID denetleyiciler, yüzde aşım, oturma zamanı ve yükselme zamanı gibi sistem davranışları açısından önemli parametreleri, sistemin ve PID bloğunun transfer fonksiyonlarını kullanarak istenilen seviyelerde tutmak için de tasarlanabilir.



Şekil 4. PID bileşenleri (Kizir vd. 2019).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (8)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (9)$$

$u(t)$ , PID kontrolör çıkış sinyalini,  $y(t)$  çıkış sinyalini,  $r(t)$  referans sinyalini ve  $e(t)$  ise hata sinyalini göstermektedir. Denklemden yer alan  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  katsayıları sırasıyla oransal, integral ve türev sabitleridir. PID denetleyici içerisindeki  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  katsayılarının her biri sistem parametrelerine karşı farklı etkiye sahiptir (Çizelge 2).

Çizelge 2. PID parametrelerinin sisteme etkisi.

Artan Parametre	Yükselme Zamanı	Yüzdellik Aşım	Oturma Zamanı	Kararlı Durum Hatası
$K_p$	↓	↑	-	↓
$K_i$	↓	↑	↑	↓
$K_d$	-	↓	↓	-

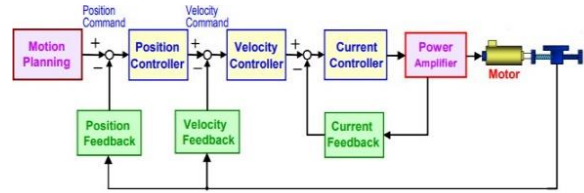
### 3.2 Kaskad PID kontrol

Bu çalışmada kaskad PID denetleyici tasarımı yapılmıştır. Servo sürücüler genellikle kaskad kontrolör (birden fazla kontrol döngüsü) yapısına sahiptir, akım döngüsü konum döngüsünün içine yerleştirilmiş olan hız döngüsünün içine yerleştirilmiştir. Bu denetleyici sayesinde sistemin tüm durumları gözlemlenebilmektedir.

Şekil 5’de kaskad PID denetleyici yapısı görülmektedir. Kontrolör, komut verilen değeri (konum, hız veya tork) elde edilen değerle karşılaştırmak için geri besleme cihazından çıkış

kullanır ve hataları düzeltmek için sürücüye komutlar verir.

Servo sürücü mantığı en fazla üç tip servo döngüsü içerebilir - akım, hız ve konum. Bu servo devreleri, istenen sonucu elde etmek için döngünün çıkışını ayarlamak üzere geri besleme sinyalleri kullanır.



Şekil 5. Kaskad PID denetleyici yapısı (Gross 1983).

#### 3.2.1 Hız Döngüsü

Hız döngüsü en yaygın servo kontrol döngüsüdür. Bir enkoder aracılığıyla komut verilen hızı gerçek hız ile karşılaştırır ve motorun hızını buna göre artırmak veya azaltmak için komutlar verir. Hız döngüsüne, düzeltme komutunu belirlemek için tipik olarak hem orantı kazancını ( $K_p$ ) hem de integral kazancını ( $K_i$ ) kullandığı için PI denetleyicisi de denir.

#### 3.2.2 Konum Döngüsü

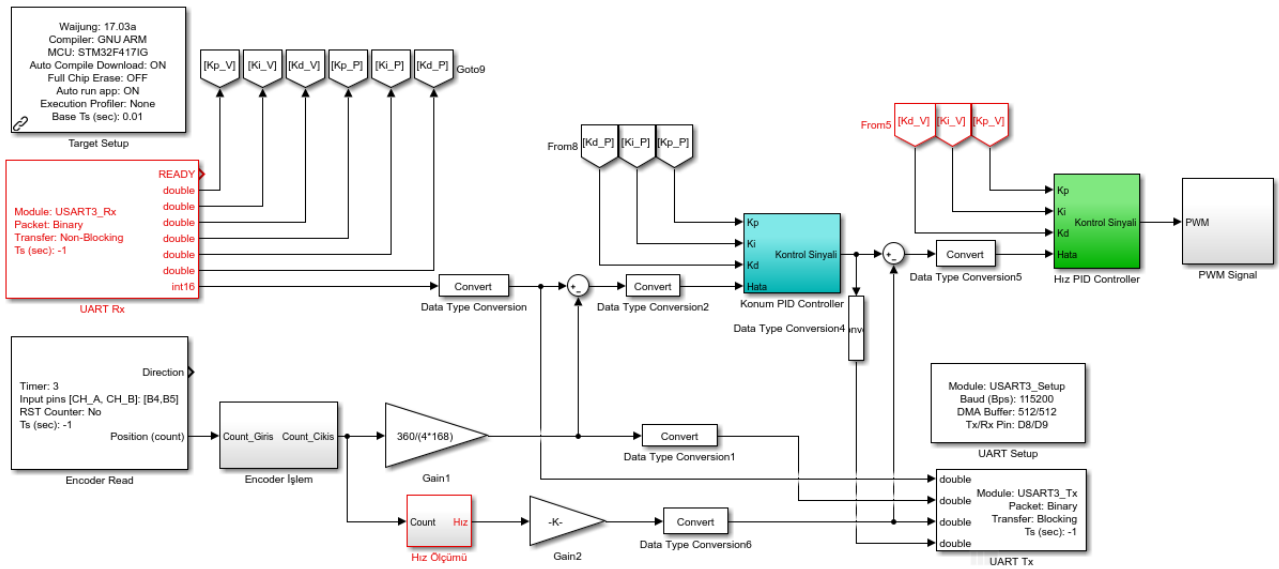
Konum kontrolünü gerektiren uygulamalar için, kaskad konum/hız döngüsü olarak bilinen, hız döngüsünün çevresine bir konum döngüsü eklenir. Pozisyon döngüsü, gerçek ve referans verilen konumlar arasındaki hatayı belirler ve hatayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için hız komutları verir. Basamaklı bir sistemde, konum döngüsü tipik olarak yalnızca orantılı bir kazanç kullanır.

#### 3.2.3 Akım Döngüsü

Birçok endüstriyel servo uygulamasında olduğu gibi, gerekli tepki süresi yüksek olduğunda akım kontrolü gereklidir. Akım döngüsünün birincil amacı, hızı ve dolayısıyla konumu etkileyen torku kontrol etmektir. Akım döngüsü tipik olarak hız döngüsünün içine yerleştirilir, bu da akımı en içteki döngü yapar, hız döngüsü ortada ve konum döngüsü en dıştaki döngüdür. Akım döngüleri tipik olarak hem orantılı hem de integral kazançları olan PI kontrolörleridir.

Kaskad kontrol uygulamalarında iç döngünün tepki süresi dış döngüden daha hızlı olmalıdır. Aksi takdirde iç döngünün dış döngüye bir etkisi olmayacaktır.





Şekil 6. Konum-Hız kontrolü Simulink modeli.

## 4. Gerçek Zamanlı Uygulama

### 4.1 Konum – hız kontrolü

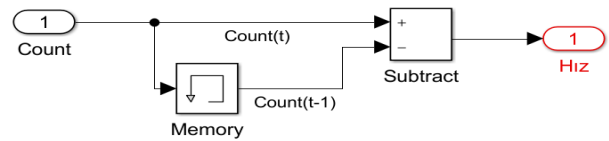
Bu çalışmada öncelikli olarak DC motor konum ve hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrolü gerçekleştirmek için Waijung blok set kullanımı ile Şekil 6’ da görülen Simulink uygulama modeli oluşturulmuştur.

Oluşturulan kontrol yapısı kaskad PID denetleyicisi tasarımına dayanmaktadır. PID kontrol katsayıları deneysel gözlemlere dayalı olarak öncelikle iç döngüden (hız döngüsü) başlanıp daha sonra dış döngüden (konum döngüsü) devam edilerek belirlenmiştir. Deneysel gözlemler sonucunda bulunan PID katsayıları Çizelge 3’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Deneysel gözlemler sonucu bulunan kontrol katsayıları.

Parametre	Konum Kontrol	Hız Kontrol
$K_p$	2.12	0.015
$K_i$	0.015	0.625
$K_d$	0.0065	0.000001

Enkoderden okunan sinyaller ile gerekli işlemler yapılarak DC motorun gerçek zamanlı konum ve hız verisine ulaşılabilmektedir. Konum bilgisi enkoder bloğundan okunan sinyal sayacının  $360/(4xCPR)$  ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Hız bilgisi ise enkoder bloğundan okunan sinyal sayacının  $T=0.01s$ ’de saydığı değer  $60/(4xCPRxT)$  ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 7’de hız hesabı için oluşturulmuş *Hız Ölçümü* blok yapısı görülmektedir.



Şekil 7. Hız Ölçümü blok yapısı.

Konum bilgisi konum kontrolcüsüne, hız bilgisi de hız kontrolcüsüne geri besleme olarak verilmiştir. Kaskad PID denetleyici yapısında konum kontrolcüsünün çıkışı hız kontrolcüsünün referansı olur, hız kontrolcüsünün çıkışı da sistemin çıkışıdır.

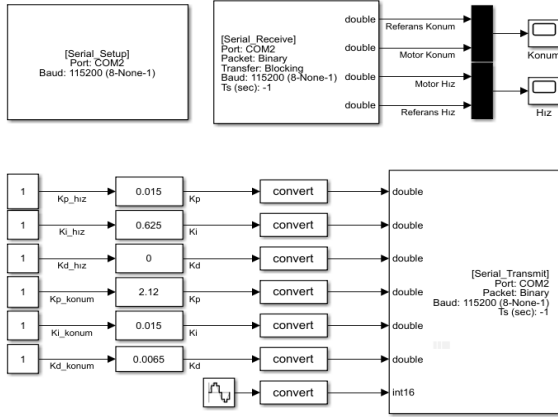
Simulink modelinde görülen PID kontrolcü blok (*Konum – Hız PID Controller*) yapıları Şekil 4 esas alınarak oluşturulmuştur. Dolayısıyla konum kontrolcü blok girişini, hata ve PID parametreleri (konum) oluşturmakta ve blok içerisinde hata sinyali  $K_p, K_i, K_d$  parametreleri ile gerekli işleme sokulup, toplanarak kontrol sinyali elde edilmektedir (Şekil 4). Benzer şekilde elde edilen konum kontrol sinyali ve PID parametreleri (hız) hız kontrolcü blok girişine uygulanıp, hız kontrol sinyali elde edilmektedir.

Denetleyici referans sinyallerini ve parametrelerini ( $K_p, K_i, K_d$ ) bilgisayardan göndermek ve ölçüm verilerini sistemden alabilmek için, Şekil 8’ deki ana bilgisayar modeli (host model), 0,01 örnekleme zamanı ile UART iletişim protokolü kullanılarak tasarlanmıştır.

Kaskad denetleyici performansının gözlenebilmesi için sisteme farklı referans girişler verilmiştir. Şekil 8’de görülen ana bilgisayar modeli aracılığıyla

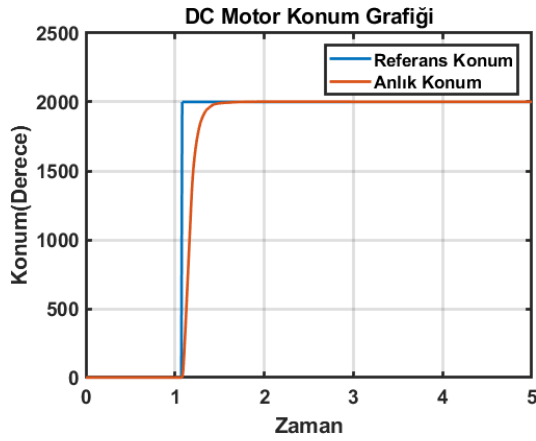


gerçek zamanlı olarak deney düzeneğine referans giriş sinyali uygulanmış ve sistem yanıtları (DC Motor konum ve hız bilgisi) aynı model üzerinden incelenerek veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

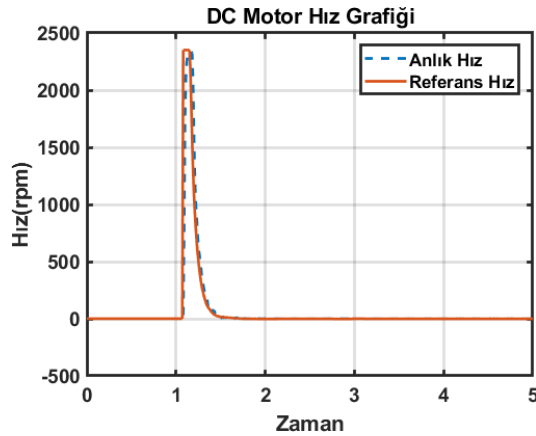


Şekil 8. PID kontrol – ana bilgisayar modeli.

Öncelikle sisteme referans giriş sinyali olarak basamak fonksiyonu uygulanmıştır. Bu durumda sistem çıkış sinyallerinin referans sinyalleri takip etmesi beklenmektedir.



Şekil 9. Basamak giriş / sistem konum yanıtı.

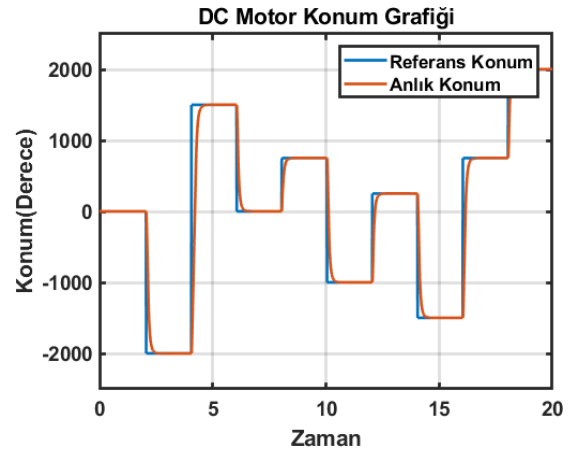


Şekil 10. Basamak giriş / sistem hız yanıtı.

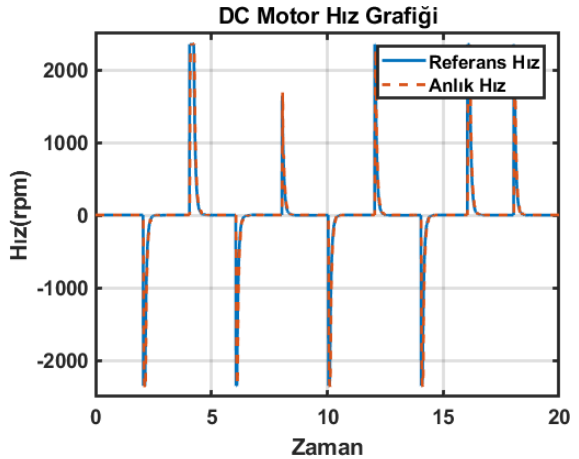
Şekil 9 ve 10 basamak girişine karşılık elde edilen sistem konum ve hız yanıtlarını göstermektedir. Grafiklerde sistem çıkışı ile birlikte referans sinyali

de görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sisteme enerji verildikten yaklaşık 1 sn. sonra referans sinyal uygulanmış ve sistem çıkışları referans sinyalleri başarılı bir şekilde takip etmiştir.

İkinci olarak ise kontrolcünün performansının farklı karakteristiğe sahip bir referans sinyal ile test edilebilmesi için sisteme rastgele basamak girişleri uygulanmıştır. Bu girişe ait sistem yanıtları, referans sinyalleri ile birlikte Şekil 11 ve 12'de görülmektedir. 20 sn. boyunca 2 sn. aralıklarla sisteme rastgele değerlerde basamak girişi uygulanmış ve sistem çıkışlarının referans sinyalleri takip ettiği gözlenmiştir.

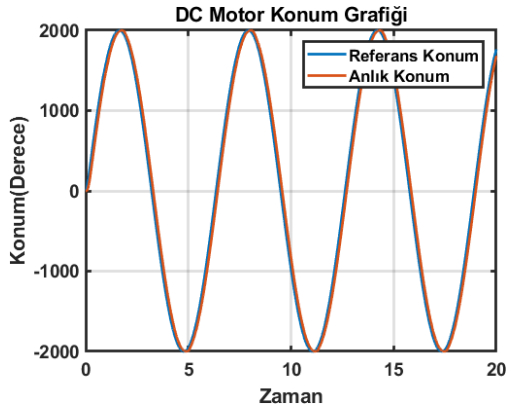


Şekil 11. Rastgele giriş / sistem konum yanıtı.

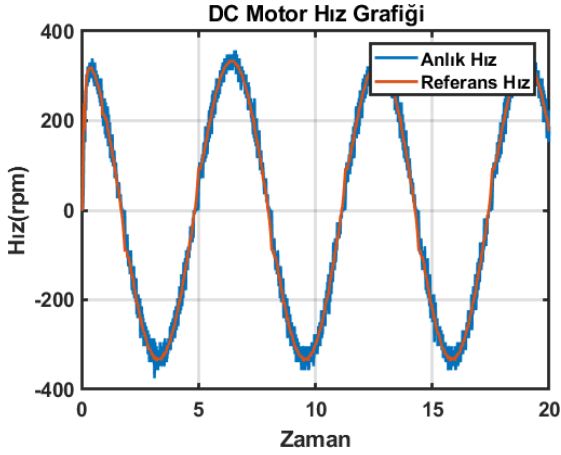


Şekil 12. Rastgele giriş / sistem hız yanıtı.

Son olarak sisteme sinüs dalgası, referans olarak verilmiştir. Şekil 13 ve 14'de referans ve sistem yanıtları görülmektedir. Sistem yanıtlarından anlaşılacağı üzere kontrolcü diğer iki referans girişinde olduğu gibi sinüs dalga referans giriş takibinde de başarılı bir performans sergilemiştir. Çıktılardan görüldüğü üzere DC motor konum-hız kontrolü deneysel gözlemler sonucu elde edilen PID parametreleri ile başarı ile sağlanmıştır.



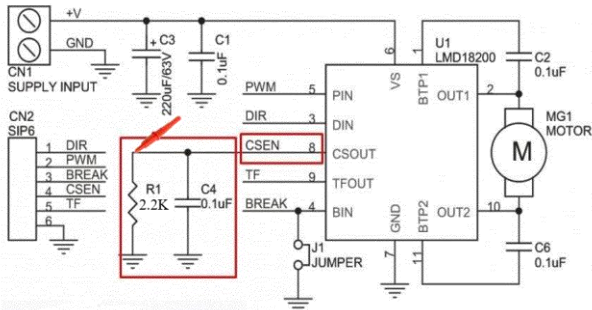
Şekil 13. Sinüs giriş / sistem konum yanıtı.



Şekil 14. Sinüs giriş / sistem hız yanıtı.

#### 4.2 Konum – hız – tork kontrolü

DC motor konum-hız kontrolü gerçekleştirildikten sonra kaskad yapıya akım döngüsü eklenmiştir. Konum, hız ve tork kontrolü gerçekleştirmek için oluşturulan kaskad denetleyici yapısı Şekil 18’ de verilen Simulink uygulama modelinde görülmektedir.

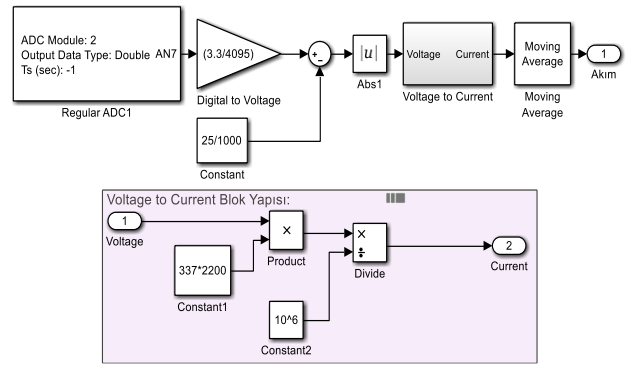


Şekil 15. LMD18200 motor sürücü şeması.

Akım geri beslemesi için devre şeması Şekil 15’de görülen LMD18200 motor sürücü kartının “Current Sense Output” pininden alınan gerilim çıkışını, STM32F4 mikro denetleyicisinin ADC birimi ile dijitalle çevirip gerekli matematiksel dönüşümlerin yapılması gerekmektedir.

LMD18200 motor sürücü kartının 8.pini  $337 \mu A / A$  çıkış sinyali vermektedir [6]. Şekil 15’deki şemada görüldüğü üzere CSEN pin çıkışı (akım sinyali)  $2.2K \Omega$  değerindeki direnç üzerinden toprağa iletilmektedir. Böylece bağlanan direnç üzerindeki gerilim voltmetre ile kolaylıkla ölçülebilmektedir. Ölçülen gerilim (V) değeri akım bilgisini de içermektedir.

Şekil 16’da akım değerini ölçmek için Simulink uygulama modelinde kullanılan blok yapısı görülmektedir. Blok yapısının giriş sinyalini, CSEN pininden ölçülen gerilim değeri oluşturmaktadır.

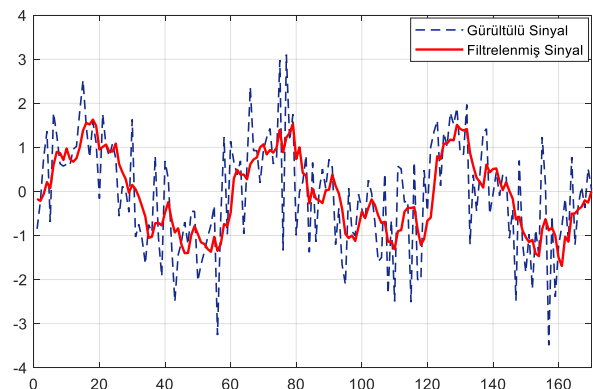


Şekil 16. Akım Bilgisinin ADC birimi ile okunması.

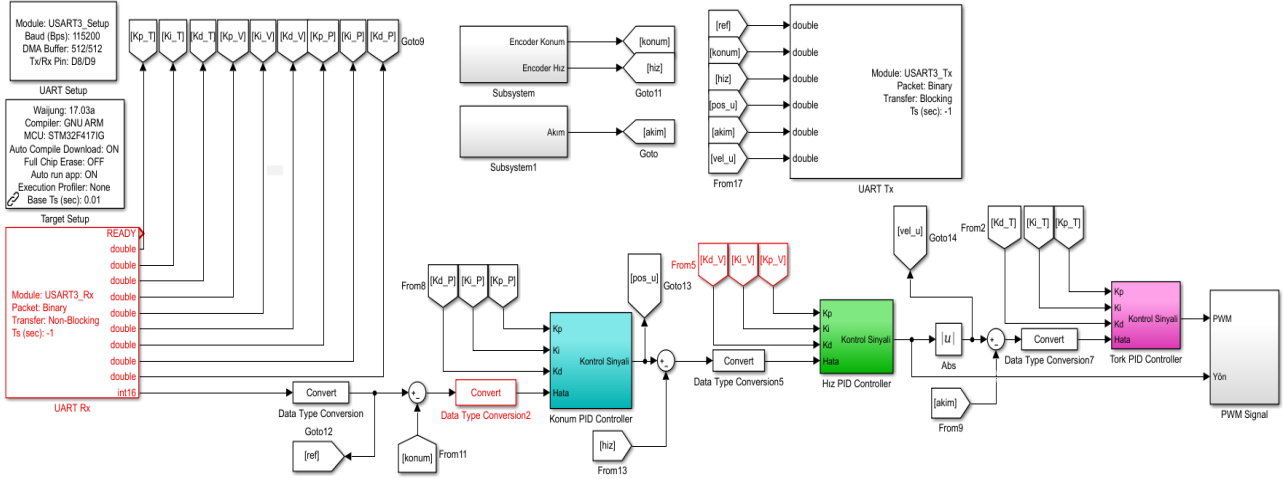
Ölçülen dijital değer gerekli matematiksel işlemler yapılarak akım bilgisine dönüştürülür. DC motordan ölçülen akım üzerinde gürültüler olduğundan ölçüm çıkışına “Hareketli Ortalama” filtresi uygulanarak gürültü seviyesi bir miktar giderilmiştir.

Hareketli Ortalama Filtresi (*Moving Average Filter*), giriş sinyalini gürültülerden temizlemek için tercih edilebilecek basit bir yumuşatma filtresidir. Filtrenin çalışma yapısı, Denklem (10)’da görüldüğü üzere çıkışın sürekli giriş değerlerinin ortalamasının alınması şeklindedir.

$$y(k) = \frac{[u(k) + u(k-1) + \dots + u(k-n+1)]}{n} \quad (10)$$



Şekil 17. Hareketli ortalama filtresinin uygulanması



Şekil 18. Konum-Hız-Tork kontrolü Simulink modeli.

Filtrenin uygulanması için önce filtre boyutu ( $n$ ) kadar veri saklanmakta ve bu verilerin aritmetik ortalaması çıkış olarak kullanılmaktadır. Her yeni veri geldiğinde, en eski değer çıkarılarak yerine bu yeni veri koyulmakta ve tekrar ortalamasının alınması şeklinde devam etmektedir. Şekil 17’de hareketli ortalama filtresinin gürültülü bir sinyale etkisi görülmektedir.

DC motorun tork bilgisi elde edilmek istenirse Denklem (3)’deki matematiksel işlem yapılabilir.  $K_t$  motor tork sabitidir. Şekil 18’de gösterilen kontrol yapısında kaskad PID denetleyicisine akım döngüsü eklenmiştir. Konum-hız kontrolünde olduğu gibi PID parametreleri deneysel gözlemlere dayanılarak önce iç döngünün (akım döngüsü) daha sonra bir sonraki döngünün (hız döngüsü) ve son olarak en dış döngünün (konum döngüsü) kontrol parametreleri belirlenip PID denetleyicisine girilmiştir. Deneysel gözlemler sonucunda bulunan PID katsayıları Çizelge 4’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deneysel gözlemler sonucu bulunan kontrol katsayıları.

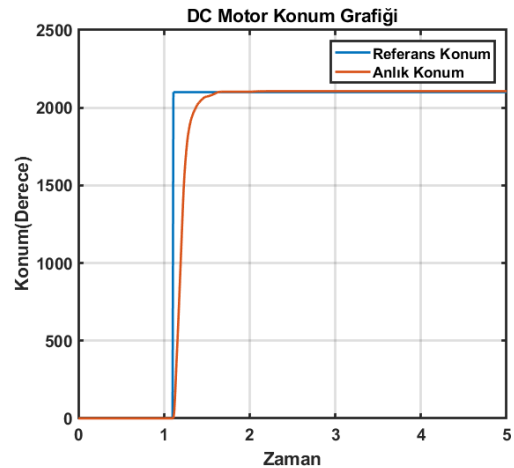
Parametre	Konum Kontrol	Hız Kontrol	Tork Kontrol
$K_p$	2.26	0.015	1.0275
$K_i$	0.0511	0.625	0.0008
$K_d$	0.025	0.000001	0

Şekil 8’de görülen ana bilgisayar modeli kaskad yapıya eklenen döngüye göre güncellenmiştir. Modele, tork PID denetleyici parametreleri ve sistem tork çıkışı ilave edilmiştir. Güncellenen model aracılığıyla gerçek zamanlı olarak deney düzeneğine referans giriş sinyali uygulanmış ve sistem yanıtları (DC Motor konum, hız ve tork bilgisi) aynı model

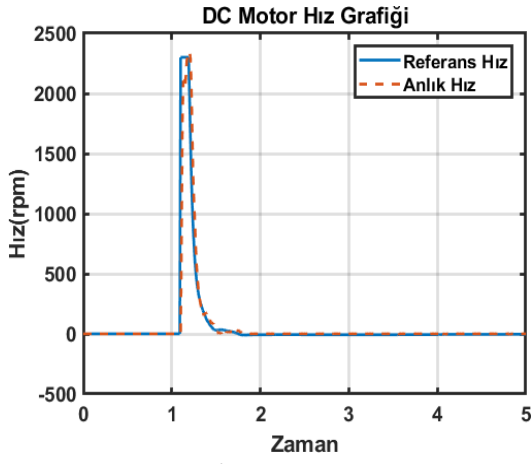
üzerinden incelenerek veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 19, 20 ve 21 sırasıyla basamak girişine karşılık elde edilen sistem konum, hız ve tork yanıtlarını göstermektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sisteme referans sinyal uygulandıktan sonra sistem çıkışları referans sinyalleri başarılı bir şekilde takip etmiştir.

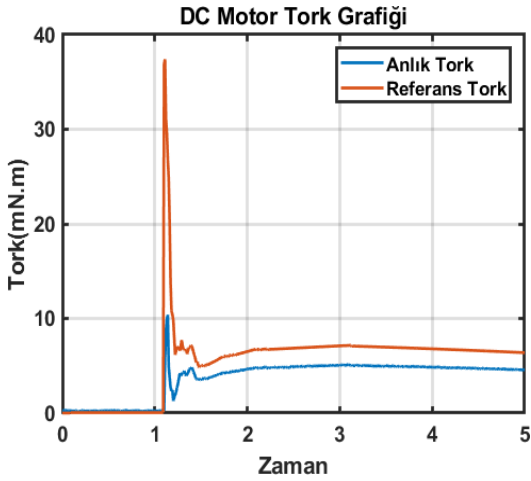
Konum ve hız verileri, doğrudan ölçülebilir sinyallerdir; tork sinyali ise akım verisi üzerinden dolaylı olarak ölçülmektedir. Dolayısıyla akım verisinin tork kontrol performansı üzerindeki etkisi açıktır. Ölçülen - gürültülü akım sinyali ile filtrelenmiş akım sinyali arasında genlik farkı ve kaymalar (Şekil 17) oluşabilmektedir. Oluşan bu durumlar tork kontrol performansını da doğrudan etkilemektedir. Bu etki, DC motor tork grafiklerinde (Şekil 21, 24, 27) yüzde aşım ve kalıcı durum hatası olarak açıkça görülmektedir.



Şekil 19. Basamak giriş / sistem konum yanıtı.

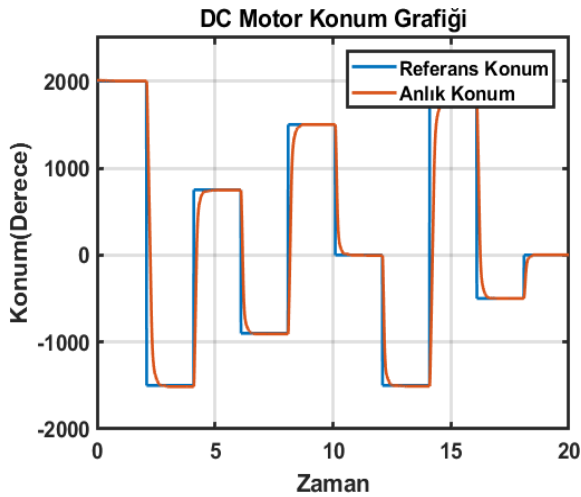


Şekil 20. Basamak giriş / sistem hız yanıtı.

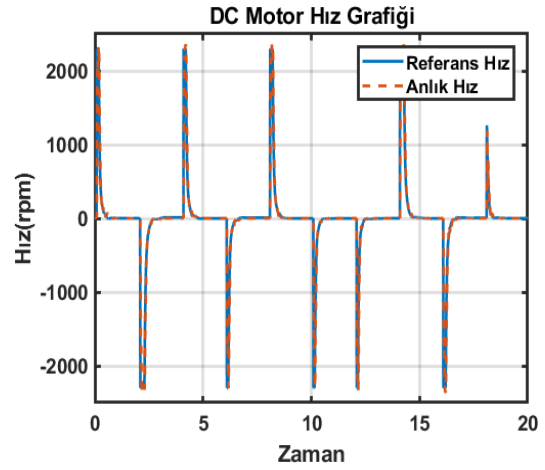


Şekil 21. Basamak giriş / sistem tork yanıtı.

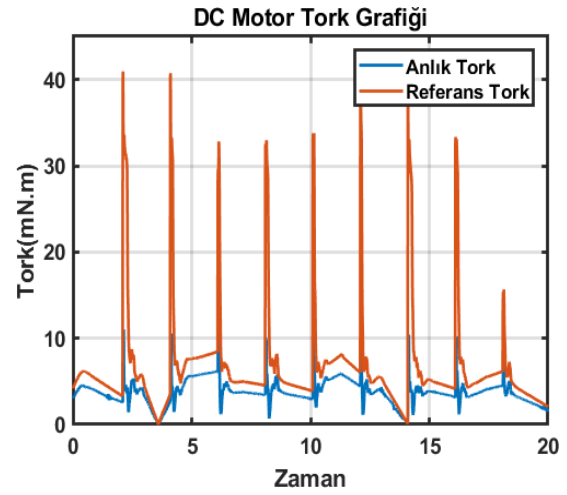
Konum-hız kaskad PID denetleyici deneylerinde olduğu gibi konum-hız-tork kaskad PID denetleyicisinin test edilmesi için ikinci olarak sisteme rastgele değerlerde 2 sn. aralıklarla basamak girişler uygulanmıştır. Bu girişe karşılık sistemden alınan konum, hız ve tork yanıt grafikleri sırası ile Şekil 22, 23 ve 24'de görülmektedir.



Şekil 22. Rastgele giriş / sistem konum yanıtı.



Şekil 23. Rastgele giriş / sistem hız yanıtı.



Şekil 24. Rastgele giriş / sistem tork yanıtı.

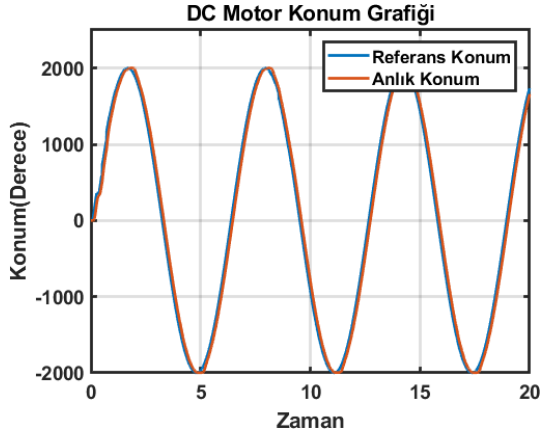
Son olarak sisteme sinüs dalgası, referans olarak verilmiştir. Şekil 25, 26 ve 27'de referans ve sistem yanıtları görülmektedir. Sistem yanıtlarından anlaşılacağı üzere kontrolcü diğer iki referans girişinde olduğu gibi sinüs dalga referans giriş takibinde de başarılı bir performans sergilemiştir.

Tork kontrolünün sistemden ölçülen akım sinyaline bağlı olduğu düşünülecek olursa, akımın yüksek hassasiyetle ölçülmesinin oldukça önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Kullanılan motor sürücü kartı, fiziki bağlantılar vb. gibi gerçek zamanlı uygulamalarda karşılaşılabilecek durumlar bu ölçümde olumsuz etkiye sebep olabilmektedir. Özellikle ölçülen sinyalde oluşan gürültü bahsedilen etkilerin başında gelmektedir. Elde edilen gerçek zamanlı sistem tork yanıtlarında, tork sinyali doğru davranışı sergilemekle birlikte akım sinyalindeki gürültüler kontrolcünün performansına olumsuz etki etmiştir. Aynı etki konum ve hız yanıtlarında söz konusu değildir.

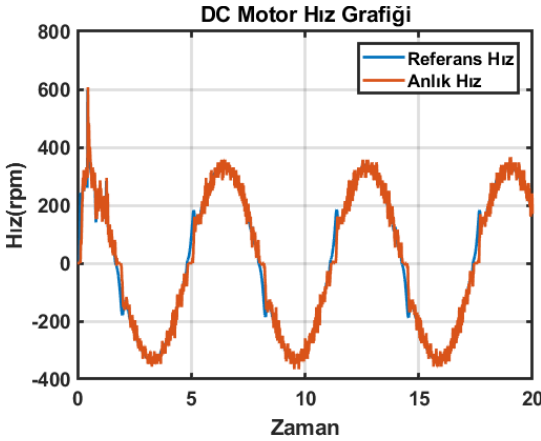
Örnek bir karşılaştırma olması açısından her iki kaskad denetleyici için basamak giriş – sistem konum yanıtının karakteristikleri Çizelge 5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Basamak giriş – sistem konum yanıtının karşılaştırılması.

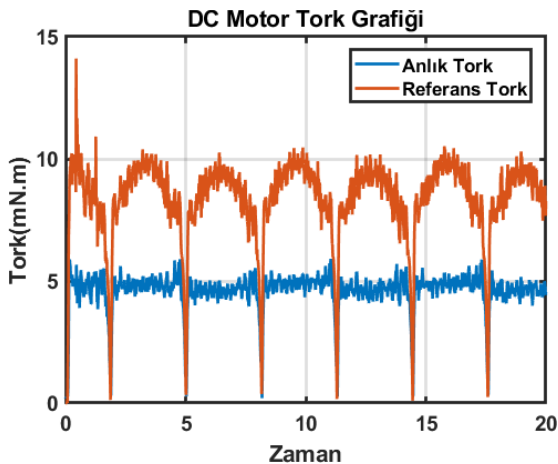
Denetleyici	Yüzde Aşım	Yükselme Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
Konum-Hız	% 0	0.2	% 0.4
Konum-Hız-Tork	% 0	0.4	% 0.6



**Şekil 25.** Sinüs giriş / sistem konum yanıtı.



**Şekil 26.** Sinüs giriş / sistem hız yanıtı.



**Şekil 27.** Sinüs giriş / sistem tork yanıtı.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada DC motorun konum, hız ve tork kontrolü için kaskad PID denetleyici tasarlanmış ve gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Gerçek zamanlı uygulamalarda öncelikle konum-hız döngüsü içeren kaskad PID yapısı oluşturulmuş ve konum-hız kontrolü yapılmıştır. Kontrol katsayıları deneysel gözlemlere dayanılarak belirlenmiş olup, ana bilgisayar (host) model aracılığıyla PID denetleyicisine verilmiştir. Daha sonrasında sisteme akım döngüsü de eklenip konum, hız ve tork kontrolü için kaskad PID denetleyici yapısı oluşturulmuş ve gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Yine bu uygulamada da PID katsayıları deneysel verilere dayanılarak belirlenmiştir. Denetleyici performanslarının incelenmesi için sisteme gerçek zamanlı olarak basamak, sinüs ve rastgele referans giriş verilmiş ve yanıtlar gözlenmiştir.

Tasarlanan konum-hız ve konum-hız-tork kaskad denetleyici yapılarında özellikle konum ve hız denetleyici döngüleri başarılı bir kontrol performansı sergilemiştir. Tork kontrolünde ise akım sinyalindeki gürültüler kontrolcü performansını olumsuz etkilemiştir. Gelecek çalışmalarda bu konu üzerinde durulup, denetleyici performansının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## 6. Kaynaklar

- Bacac, N., Slukic, V., Puskaric, M., Stih, B., Kamenar, E., Zelenika, S., 2014. Comparison of Different DC Motor Positioning Control Algorithms. *In Proceedings of the 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 1654–59.
- Bhavina, R., Jamliya, N. and Vashishtha, K., 2013. Cascade Control Of DC Motor with Advance Controller. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*, 1:1, 18–20.
- Bingül, Z. ve Küçük, S., 2017. Robot Dinamiği ve Kontrolü, Umutepe Yayınları, 10-25.
- Gross, H., 1983. *Electrical Feed Drives for Machine Tools*, Wiley, 40-69.
- Gücin, T. N., Biberoglu, M., Fincan, B. and Gülbahçe, M. O., 2015. Tuning Cascade PI(D) Controllers in PMDC Motor Drives: A Performance Comparison for Different Types of Tuning Methods. *In Proceedings of*

*the 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 1061–66.*

Karadeniz, M., İskender, İ. ve Yüncü, S., 2014. Doğru Akım Motor Hızının Uyarlamalı Kutup Yerleştirme Denetimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **19**:3, 327–34.

Kelekçi, E., Yaren, T. and Kizir, S., 2019. Model Based PID Controller Design of a DC Motor Using Black Box System Identification. *In Proceedings of the 10th International Conference on Image Processing, Wavelet and Applications (IWW2019)*, 166–175.

Kizir, S., Yaren, T. and Kelekçi, E., 2019. Matlab Simulink Destekli Gerçek Zamanlı Kontrol: Teori ve Mühendislik Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 188-189.

Patel, L. S. and Dave, K. C., 2011. Cascade Control Technique for DC Motor Speed Control. *In Proceedings of the International Conference on Science and Engineering (ICSE 2011)*, 599-603.

Robet, P. P. and Gautier, M., 2014. Cascaded Loops Control of DC Motor Driven Joint Including an Acceleration Loop. *IFAC Proceedings*, **47**:3, 7227–7232.

Kumar, P., 2013. Cascaded PID Controller Design for Heating Furnace Temperature Control. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, **5**:3, 76–83.

Zhuang, M., 1994. Optimum Cascade PID Controller Design for SISO Systems. *In Proceedings of the International Conference on Control'94*, 606–611.

#### **İnternet kaynakları**

1)<https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorPosition&section=SimulinkModeling>, (15.12.2021)



AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 047202 (996-1004)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 047202 (996-1004)

DOI: 10.35414/akufemubid.892317

Araştırma Makalesi / Research Article

## Pedikül Vidaları İçin PLA Malzeme Kullanımının Mukavemet Açısından Değerlendirilmesi

Talip ÇELİK<sup>1</sup>, Çağatay TAŞDEMİRÇİ<sup>2</sup>, İbrahim MUTLU<sup>1</sup>, Arif ÖZKAN<sup>2</sup><sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Sorumlu yazar e-posta: celiktlp@gmail.com.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0033-2454>cagatay.tasdemirci@kocaeli.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6471-0867>mutluibrahim@gmail.com. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3864-3725>arif.ozkan@kocaeli.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1288-6166>

Geliş Tarihi: 06.03.2021

Kabul Tarihi: 20.08.2021

### Öz

Omurga sorunlarında sıklıkla pedikül vida ve rod sistemleri kullanılır. Bu sistemlerin en büyük sorunları vida kırılması ve vida gevşemesidir. Vida ve rod malzemesi olarak halihazırda metalik implantlar kullanılmaktadır ve metalik implantların elastik modüllerinin yüksek olması sebebi ile kemiğe yük aktarımında sıkıntılar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, metalik implantlara göre elastiklik modülü daha düşük olan ve son zamanlarda kullanımı artan Polilaktik Asit (PLA) malzemesi ve bu malzemedan oluşturulan Polilaktik Asit/Hidroksiapatit (PLA/HA) kompozit malzemesinin pedikül vidalarında kullanılabilirliği mukavemet yönünden değerlendirilmiştir. Bu amaçla sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. T9 omurga modeli MIMICS yazılımı ile oluşturulmuş ve vida-rod modelleri ile ameliyat prosedürüne uygun olarak bilgisayar ortamında birleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için pedikül vida malzemeleri Ti6Al4V, PLA ve PLA/HA malzemeleri seçilmiştir. Ayrıca, pedikül vida modeli üzerinde tasarım değiştirilerek iki farklı model daha analize katılmıştır. Yapılan 5 farklı analiz sonuçları karşılaştırılmış ve en uygun pedikül malzemesi/tasarımı belirlenmiştir. Sonuç olarak, PLA/HA kompozit malzeme kullanımı yeterli mukavemete ve rijitliğe sahip olmuştur. Ayrıca, vida tasarım değişikliği ile PLA malzemesi pedikül vidalar için kullanılabilir.

### Anahtar kelimeler

Pedikül vidası; Vida-rod sistemi; PLA; PLA/HA; Sonlu elemanlar analizi

## Evaluation of the Use of PLA Material for Pedicle Screws in Terms of Strength

### Abstract

Pedicle screw and rod systems are frequently used in spinal diseases. The biggest problems of these systems are screw failure and screw loosening. Metal implants are currently used as screw and rod materials, and problems may occur in load transfer to the bone due to the high elastic modulus of metallic implants. In this study, the use of the Polylactic Acid (PLA) material, which has a lower elasticity module compared to metallic implants and has recently increased, and the Polylactic Acid / Hydroxyapatite (PLA / HA) composite material formed from this material, in pedicle screws were evaluated in terms of strength. For this purpose, the finite element method has been used. The T9 spine model was created with MIMICS software and assembled with screw-rod models in a computer environment in accordance with the surgical procedure. Pedicle screw materials Ti6Al4V, PLA, and PLA / HA materials were selected for finite element analysis. In addition, two different models were included in the analysis by changing the design of the pedicle screw model. The results of 5 different analyzes were compared and the most suitable pedicle material/design was determined. As a result, the use of PLA/HA composite material has had sufficient strength and rigidity. Also, with the screw design change, PLA material can be used for pedicle screws.

### Keywords

Pedicle Screw; Screw-rod System; PLA; PLA/HA; Finite Element Analysis



## 1. Giriş

Omurga kırıklarının sabitlenmesinde, spinal füzyonda, skolyoz düzeltme ameliyatlarında sıklıkla pedikül vida ve rod sistemleri kullanılır. Bu sistem omurgalarda meydana gelen hasarları ve kırıkları sabitleyerek sistemin stabilitesini sağlar ve bu sayede gerekli tedavi yapılmış olur. Bu amaçla kullanılan vida ve rod sistemlerinde sıklıkla titanyum alaşımları tercih edilir. Fakat bunun yanında 316L ve 316LVM paslanmaz çelik, 22Cr13Ni-5Mn paslanmaz çelikler de kullanılır. Bu sistemlerde en sık karşılaşılan sorun pedikül vida ve rod kırılmasıdır (Hicks et. al. 2010, Chatzistergos *et al.* 2010, Eldin ve Ali 2014). Omurga sabitlemelerinde en sık görülen sorunlar %34 pedikül vida kırılması, %24 rod kırılması, %22 rod gevşemesi, %16 vida gevşemesi, %4 hem rod hem vida hasarları olarak belirtilmiştir (Eldin ve Ali 2014). Diğer bir çalışmada vida kırılması ve vida gevşemesi en sık görülen sorun olarak bildirilmiştir [(Hicks et. al. 2010, Chatzistergos *et al.* 2010). Pedikül vida ve rod kırılmaları genellikle aşırı gerilmelerden veya yorulma gerilmelerinden dolayı oluşmaktadır (Puvanesarajah 2014, Newcomb et.al. 2016, Chen et. al. 2003). Ayrıca, kemikte pedikül vida yerleştirilirken deliğin uygun bir şekilde açılmaması da vida hasarlarına yol açmaktadır (Li et. al. 2003). Pedikül vidalarında en sık görülen kırılma hasarı, vidanın boyun bölgesinde, mukavemet açısından en zayıf yerinde görülmektedir (Lai et. al. 2018). Buradan da anlaşılacağı üzere bu tarz sabitleme işlemlerinde en sık görülen problemler vida-rod sistemlerindedir. Bu sebeple, vida-rod sistemlerine alternatif bir sistem geliştirilmeli veya farklı malzemeler ile bu risk azaltılmalıdır.

Ortopedik implant pazarında en çok metalik implantlar satılmaktadır. Wolf kanununda yük taşımayan kemiğin zamanla kütleini kaybedeceği belirtilir. Bu durum zamanla imlantın gevşemesine yol açar (Shih et. al. 2015). İmplantlarda kullanılan metalik malzemelerin elastiklik modülleri kemiğe göre çok yüksektir. İmplantların elastik modülleri 100 ile 300 GPa arasında değişirken, vertebra kortikal kemiğin elastiklik modülü 12 GPa civarındadır (Su et. al. 2018, Basaran et. al. 2019). Bu elastik modüllerindeki yüksek fark

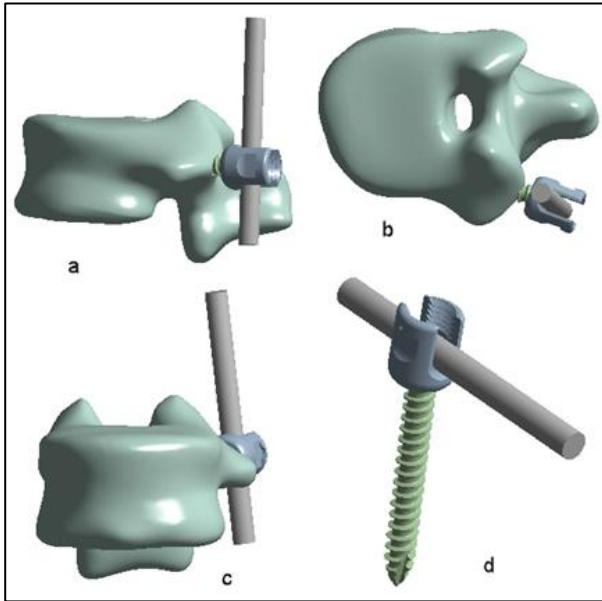
zamanla stres kalkını denilen olaya sebebiyet verir (Çelik and Kisioglu 2020). Bu sebepten dolayı ortopedide kullanılan implantlara alternatif malzeme arayışları devam etmektedir. Son zamanlarda özellikle 3D yazıcıların gelişmesiyle birlikte PLA malzemeye ilgi artmıştır. Ayrıca, PLA malzemenin yüksek biouyumlu olması medikal alanda kullanımını genişletmektedir. Bunun yanında, PLA'nın biyobozunur olması, toksik madde içermemesi, vücut sıvıları ile etkileşime girmemesi sebebiyle büyük avantajlara sahiptir (Leksakul et. al. 2018). Bu avantajlar sebebiyle biyomedikal uygulamalarda son zamanlarda kullanımı artmıştır. Öncelikle düşük mukavemet gerektiren yerlerde plak malzemesi olarak kullanımı başlamıştır. PLA malzemesinin düşük elastik modülü sebebiyle PLA/HA kompozit malzemeler üzerine çalışmalar yapılmış ve içerdiği Hidroksiapatit (HA) sayesinde PLA elastik modülü ve dayanımı arttırılmıştır (Farah et. al. 2016). Bu sayede düşük ve orta dercede mukavemet gerektiren plaklarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada da omurga sorunlarında sıklıkla kullanılan pedikül vida- rod sistemlerinin en büyük sorunları olan vida ve rod kırılmalar ve gevşemelerine PLA ve PLA/HA malzemeleri kullanımının etkisi değerlendirilmiştir. Araştırma sorusu olarak, "PLA ve PLA/HA malzemelerinin vida-rod sistemlerinde kullanılabilir mi?" sorusu belirlenmiştir. Bu amaçla, son zamanlarda sıklıkla tercih edilen ve gerilmelerin rahatlıkla ayrıntılı bir şekilde değerlendirme fırsatı sunan sonlu elemanlar yöntemi seçilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Üç Boyutlu Modelleme

Omurga modeli oluşturmak için gönüllü bir hastanın Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntülerinden yararlanılmıştır. BT görüntüleri MIMICS 12.0 yazılımı kullanılarak açılmış ve T9 omurgası 3 boyutlu model haline getirilmiştir. Omurga modelinin trabeküler ve kortikal kısımları ayrı ayrı oluşturulmuş ve SolidWorks yazılımına aktarılmıştır. Ayrıca, pedikül vidası ve rod sistemleri de SolidWorks yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Pedikül vidasının uzunluğu 45 mm, dış dibi çapı 4 mm, dış üstü çapı 6.5 mm, vida adımı 2.5 mm olacak şekilde

tasarlanmıştır. Rod çapı ise 6 mm'dir (Basaran et. al. 2019). Modellemeleri yapılan rod, vida ve omurga modelleri SolidWorks yazılımında ameliyat prosedürüne uygun olarak birleştirilmiştir. Birleştirilen model daha sonra Ansys Workbench yazılımına aktarılmıştır. Burada vida ve omurga modellerinde vidanın girdiği bölgelerden hacim çıkarma (subtract) işlemi yapılarak omurgada vida girintisi oluşturulmuştur. Ayrıca, pedikül vidasının orta bölgesi Hidroksiapatit (HA) malzemesini enjekte edebilmek ve Ti6Al4V çubuk yerleştirebilmek için boşaltılmıştır. PLA malzemesi kullanıldığında vidanın rijitliğini arttırmak amacıyla 3 mm çapında delik açılmış ve bu delik içerisine titanyum alaşımı çubuk ve HA malzemesi yerleştirilmiştir. Oluşturulan modelin farklı yönlerden görünümü ve vida-rod sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** 3 boyutlu omurga-vida-rod sisteminin lateral (a), superior (b), anterior (c) görüntüleri ve vida-rod sistemi (d)

## 2.2 Sonlu Elemanlar Modeli

Sonlu elemanlar analizi (SEA) için gerekli olan malzeme özellikleri lineer, izotropik ve elastik malzeme olarak belirlenmiş ve Çizelge 1'de gösterilmiştir. Modellemede omurga kemik modeli kortikal ve trabeküler olarak ayrı modellendiği için bu modellere ayrı ayrı malzeme özelliklere tanımlanmıştır (Su et. al. 2018, Basaran et. al. 2019, Farah et. al. 2016, Keller 1994).

Üç boyutlu modellere malzeme özellikleri atandıktan sonra sonlu elemanlar modelleri oluşturmak için meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yakınsama çalışması yapılarak en uygun element boyutları belirlenmiştir. Yakınsama çalışmasında modellere farklı element boyutları atanarak analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen gerilme değerleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, benzer sonlu elemanlar çalışmaları ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir (Basaran et. al. 2019). Yakınsama çalışmaları sonucunda omurga modelinin element boyutu 2 mm ve vida-rod sisteminin element boyutu ise 0.75 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, pedikül vida boyun bölgesi gibi gerilmenin yüksek beklendiği bölgelerde daha küçük element boyutunda mesh atılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar modeline Şekil 2'de gösterildiği gibi sınır şartları tanımlanmıştır. Kuvvet, rod üzerinden pedikül vidasını eğilmeye zorlayacak şekilde uygulanmıştır. Kuvvet değeri ise literatürde uygulanmış olan 80 N'un biraz üzerinde 100 N olarak belirlenmiştir (Tsai et. al. 2019). Omurganın alt ve üst kısımlarından 6 serbestlik derecesinde hareket sınırlanmış ve bu şekilde sabitleme yapılarak sınır şartı tanımlanmıştır. Modeller arasındaki temaslar, pedikül vida ile kemik bütünleşmesi tamamlandığı varsayılarak yapışkan (bonded) temas tipi seçilmiştir.

**Çizelge 1.** Sonlu Elemanlar Modeli için kullanılan malzeme özellikleri

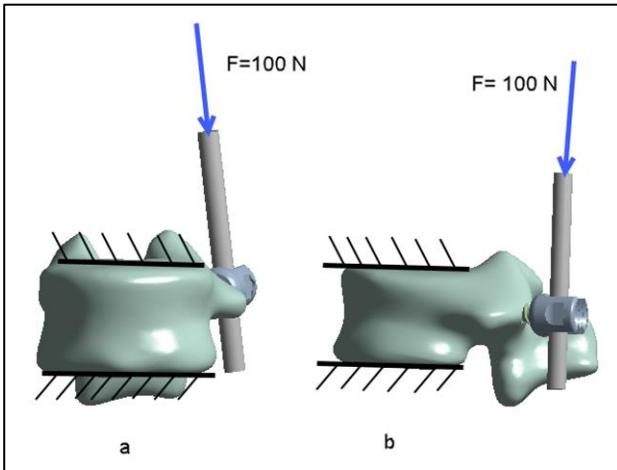
	Elastiklik modülü (MPa)	Poisson oranı	Akama Mukavemeti (MPa)	Referans
Titanyum alaşımı	113000	0.33	862	[11, 12]
PLA	3500	0.36	70	[15]
PLA/HA kompozit	10000	0.34	130	[15]
HA				
Omurga/Kortikal	12000	0.30	>100	[11, 12, 16]
Omurga/Trabeküller	100	0.20	-	[11, 12]

## 3. Bulgular

SEA sonuçlarını değerlendirmek için iki önemli kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; malzeme mukavemetini değerlendirmek için kullanılan eşdeğer gerilme ve modellerin rijitliğini belirlemede önemli bir değer olan deformasyon miktarıdır.

Modeller üzerinde oluşan von Mises gerilme dağılımları Şekil 3'te gösterilmiştir. Pedikül vida

malzemesi PLA ise model ismi PLA, PLA/HA kompozit malzemesi ise PLA/HA, Ti6Al4V ise Ti6Al4V olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, PLA pedikül vida içerisine HA yerleştirilmiş modele PLA-HA ve titanyum alaşımli çubuk yerleştirilmiş modele ise PLA-Titanyum olarak isimlendirilmiştir. Beş farklı sonlu elemanlar analizinde en yüksek von Mises bileşik gerilme değeri 97.79 MPa ile PLA/HA modelinde vida baş parçası üzerinde elde edilmiştir. En düşük maksimum gerilme değeri ise 76.83 MPa ile PLA-Titanyum modelinde ve pedikül vida üzerinde hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen maksimum von Mises gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 2’de gösterilmiştir. Omurga kemiği üzerinde oluşan maksimum gerilme değeri 76.30 MPa ile PLA-HA modelinde oluşmuştur. Pedikül vida malzemesi olarak sadece PLA malzemesi seçildiğinde kemiğe aktarılan gerilme değeri 50.03 MPa’ya düşmektedir. PLA/HA kompozit malzemesi seçildiğinde ise omurgada oluşan gerilme değeri 28.85 MPa değerine inmektedir. PLA-Titanyum ve Titanyum alaşımı kullanıldığında ise kemik üzerinde sırasıyla 7.87 ve 7.92 MPa gerilme hesaplanmıştır. Bu sonuca göre kemik için en kritik model PLA-HA modelidir. Maksimum gerilme sonuçları pedikül vida için değerlendirilirse, maksimum von Mises gerilme değeri 76.83 MPa ile PLA-Titanyum modelinde çıkmıştır. En düşük gerilme ise 34.70 MPa ile PLA/HA modelinde elde edilmiştir.

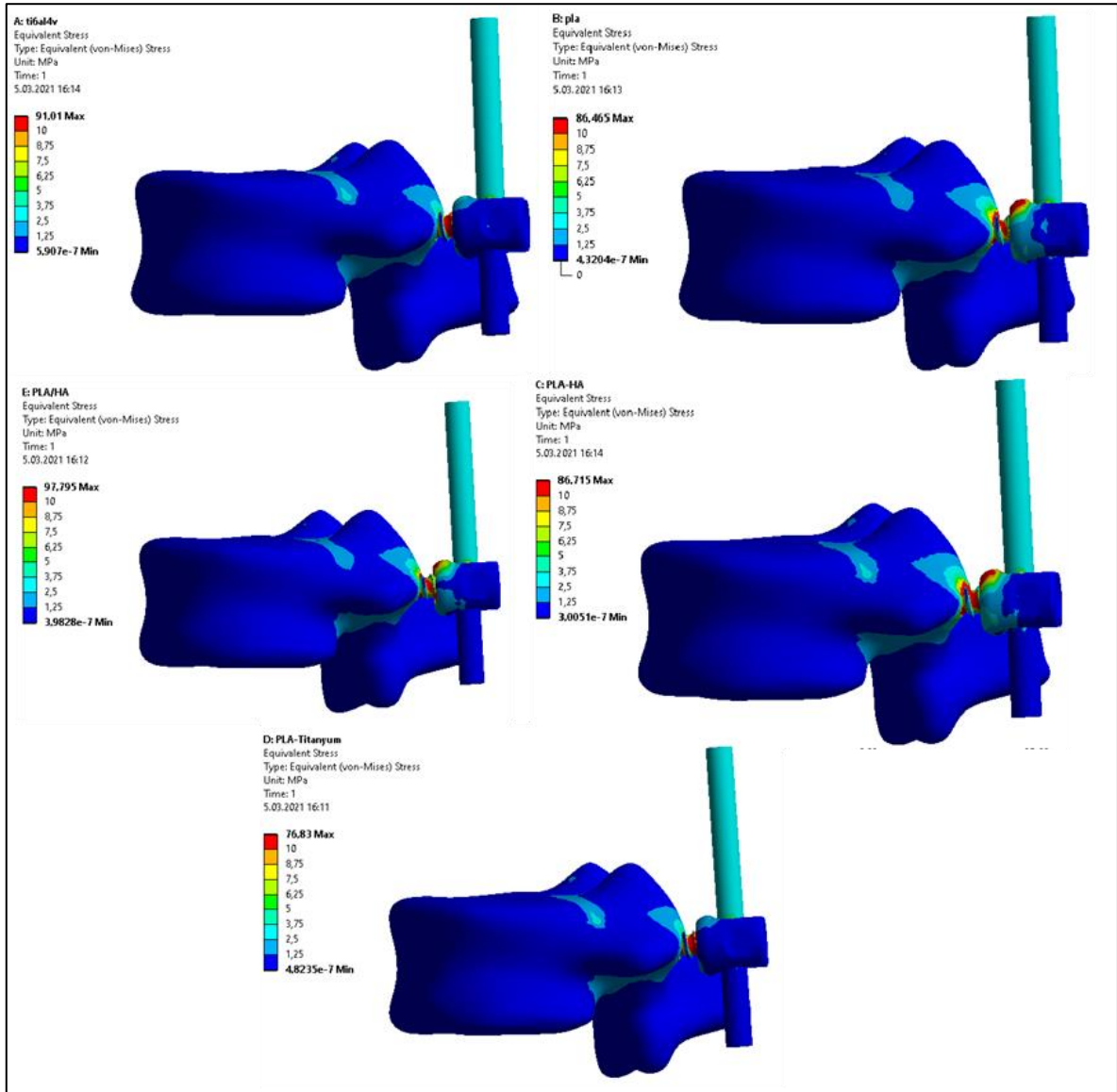


Şekil 2. 3 boyutlu omurga-vida-rod sisteminin lateral (a), superior (b), anterior (c) görüntüleri ve vida-rod sistemi (d)

Bu sonuçları mukavemet açısından daha iyi irdeleyebilmek için her bir modelin güvenlik

katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge 1’deki akma mukavemet değerleri referans alınarak hesaplanan güvenlik katsayıları, omurga-rod sisteminin kullanılabilirliğini göstermektedir (Çizelge 2). Bu değerlere göre, PLA-Titanyum modelinde elde edilen en düşük güvenlik katsayısı 0.91 ile pedikül vidada hesaplanmıştır. Pedikül vidası tanımlanan sınır şartlarına göre bu model de hasara uğrayacaktır. Bu sebeple PLA-Titanyum modeli, yani PLA pedikül vidası içerisine Ti6Al4V çubuğunu yerleştirmek mukavemet açısından olumsuz sonuç vermiştir. Diğer yandan PLA-HA modelinde ise güvenlik katsayısı 1.31 ile omurga modelinde hesaplanmıştır. Pedikül vida için PLA/HA kompozit malzemesi seçilmesi sonucunda ise en düşük güvenlik katsayısı 3.46’dır. Bu değer sistemin yaklaşık 3.5 kat güvenli olduğunu göstermektedir. Sadece PLA malzemesi seçilmesi ile de en düşük güvenlik katsayısı 1.98 çıkmıştır. Yani bu sistemde yaklaşık 2 kat güvenlidir. Ti6Al4V malzemesi seçiminde ise en iyi sonuçlar alınmaktadır. Bu sistem için de güvenlik katsayısı 9.47’dir. Gerilme sonuçlarına göre en iyi sonuç veren modeller sırası ile Ti6Al4V, PLA/HA, PLA ve PLA-HA’dır. PLA-Titanyum modelinde elde edilen sonuçlara göre mukavemeti yetersiz kalmıştır.

Omurga kırıklarında esas olan rijitliktir. Bu sebeple sistemde oluşan total deformasyon miktarları da incelenmiştir. Buna göre en rijit model beklendiği üzere Ti6Al4V modelidir. Bu modele en yakın rijitlik sunan model ise PLA-Titanyum modelidir, fakat bu model mukavemet açısından yetersiz kaldığı için kullanılamaz. PLA/HA modelinde 0.067 mm deformasyon hesaplanmıştır ve rijitlik açısından Ti6Al4V modeline en yakın sonuç vermiştir. PLA-HA modelinde ise toplam deformasyon 0.125 mm’dir. Fakat bu modelde de mukavemet yönünden zayıf çıkması sebebiyle rijitlik önemini yitirmiştir. Son olarak sadece pedikül vida için PLA malzemesi seçilmesi her ne kadar mukavemet açısından yeterli görünse de sistem rijitliğini sağlayamamıştır. Bu modelde toplam deformasyon 0.132 mm hesaplanmıştır. Bu da referans model olan Ti6Al4V modeline göre yaklaşık 6 kat daha az rijit olması anlamına gelmektedir.



Şekil 3. Maksimum gerilme dağılımları ve değerleri

Çizelge 2. Sonlu Elemanlar Modeli için kullanılan malzeme özellikleri

Pedikül vida malzemesi	Model	Maksimum von Mises gerilmesi (MPa)	Güvenlik Katsayısı	Total Deformasyon (mm)
Ti6Al4V	Omurga	7.92	12.62	0.0221
	Pedikül Vida	60.56	14.23	
	Vida baş parçası	91.01	9.47	
	Rod	20.28	42.50	
PLA	Omurga	50.03	1.99	0.132
	Pedikül Vida	35.28	1.98	
	Vida baş parçası	86.46	9.97	
	Rod	12.12	71.12	

<b>PLA/HA kompozit malzemesi</b>	Omurga	28.85	3.46	0.067
	Pedikül Vida	34.70	3.74	
	<b>Vida baş parçası</b>	<b>97.80</b>	8.81	
	Rod	14.28	60.36	
<b>PLA vida içerisine HA enjekte edildiğinde</b>	<b>Omurga</b>	<b>76.30</b>	1.31	0.125
	Pedikül Vida	41.10	1.70	
	Vida baş parçası	86.72	9.94	
	<b>Rod</b>	<b>29.01</b>	29.71	
<b>PLA vida içerisine Ti6Al4V çubuk yerleştirildiğinde</b>	Omurga	7.87	12.70	0.0227
	<b>Pedikül Vida</b>	<b>76.83</b>	0.91	
	Vida baş parçası	57.61	14.96	
	Rod	19.82	43.49	

#### 4. Tartışma

Bu çalışma kapsamında son zamanlarda, özellikle 3B yazıcıların gelişmesi ile daha çok kullanılan PLA malzemesinin, omurga pedikül vidası olarak kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modelleme ve analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen deformasyon ve gerilme değerleri incelenmiştir.

PLA malzemesi biyouyumluluğu yüksek bir malzemedir. Bu özelliğinin yanında dokular ile hızlı bütünleşebilmektedir. Metalik implantlarda her ne kadar biyouyumlu malzemeler kullanılsa da, bu malzemelerin doku ile bütünleşmesi zaman almaktadır. Bazı metal malzemelerde ise doku ile bütünleşme olmamaktadır. Bundan dolayı ortopedik implantlarda stres kalkını ve aseptik gevşeme gibi sorunlar sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu sorunları önlemek için birçok çalışma yapılmıştır (Çelik and Kışioğlu 2019). Metalik implantların elastik modüllerinin kemik malzemesi elastik modülüne göre çok yüksek olması gerilme aktarımında sorunlara yol açmaktadır. Wolf kanununa göre yük aktarımı olmayan ya da diğer deyişle gerilme oluşmayan kemik zamanla zayıflar. İşte bu sebeple kemiğe yerleştirilen her implant, kuvvet aktarımını kemik sisteminin doğal yük aktarımına en uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır (Toktaş vd. 2017). Tasarımın yanında uygun malzeme seçimi de çok önemlidir. Metalik implantlar içinde en çok biyouyumlu olan titanyum

alaşımalarıdır ve ortopedi camiası için bu malzeme altın standarttır. Fakat, bu malzemede de sorunlar bulunmaktadır. Literatürde omurga pedikül vidalarında en sık karşılaşılan sorunun vida kırılması olduğu bildirilmiştir (Hicks et. al. 2010, Chatzistergos et al. 2010, Eldin ve Ali 2014). Bu hasarın sebebi ise vida üzerinde oluşan aşırı gerilmeler veya tekrarlı yüklemeler sonucunda malzeme yorulmalarıdır. Yine omurga sabitlemelerinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri vida gevşemesidir (Eldin ve Ali 2014). Bu sorunun sebebinin Wolf kanunu ile açıklamak mümkündür. Metalik implantlarda kemiğin bazı bölgelerine yeteri kadar gerilme aktarılamayabilir ve bu da kemiğin o bölgesinden zayıflaması anlamına gelir. Özellikle gevşeme sorununu, vida tasarımını değiştirmek veya pedikül vidasını daha esnek bir malzeme ile üretmek ile giderilebilir. Kemiğe yük aktarmak için elastik malzemesi düşük malzeme gerekirken, sistemin rijitliğini de korumak da gerekmektedir. Vida malzemesinin elastik modülünü düşürdükçe sistemin stabilitesi de azalmaktadır. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada 4 farklı model sunulmuştur. Referans olarak halihazırda kullanılan Ti6Al4V malzemesi pedikül vidası için seçilmiştir. Diğer sunulan modellerde ise PLA ve PLA/HA malzeme kullanımlarında mukavemet yönünden kayıp olsa da hasar oluşmayacağı tespit edilmiştir. Fakat, PLA malzemesinde sistemin rijitliği yaklaşık 6 kat azalmıştır. Bu rijitlik azalmasını değerlendirmek için, tüm omurga modellenmeli ve kırık olan omurga

üzerine aktarılan yük tespit edilmelidir. Böyle bir çalışma ile bu rijitlik kaybının uygunluğunun değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

Omurga kırıklarının sabitlemesinde kısa ve uzun segment sabitlemeleri kullanılmaktadır. Bu segmentler arasındaki mekanik performansı değerlendiren bir çalışmada maksimum vida gerilme değeri 133 MPa olarak hesaplanmıştır (Basaran et. al. 2019). Sınır şartları olarak öne ve yana eğilmeyi simüle eden çalışmada kuvvet ile birlikte moment de uygulanmıştır. Farklı bir çalışmada ise sisteme 300 N eksenel kuvvet seçilmiştir ve pedikül vidası üzerinde maksimum 112 MPa gerilme hesaplandığı bildirilmiştir (Wang et. al. 2019). Literatürde verilen bu çalışmalar birden fazla omurga modellenerek gerçekleştirilmiştir. Yani uygulanan yük ve moment değerleri bütün sisteme etkilemektedir. Deneysel olarak yapılan bir diğer çalışmada, pedikül vida tasarımlarının dayanımını belirlemek için sentetik omurga modeline sabitlenen pedikül vidaya rod üzerinden 80 N kuvvet uygulanmıştır (Tsai et. al. 2009). Bu çalışmada ise tek omurga modellenmiş ve 100 N eksenel kuvvet rod üzerine uygulanmıştır. Bu sınır şartlarına göre pedikül vida üzerinde maksimum 76.83 MPa gerilme hesaplanmıştır. Pedikül vidası üzerinde oluşan maksimum gerilmeler literatür ile uyumlu olarak vida boyun bölgesinde elde edilmiştir.

Rod üzerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri incelendiğinde, rod ile vida baş parçası arasında kalan temas bölgesinde maksimum gerilmenin meydana geldiği görülmüştür. Literatürde de aynı bölgelerde gerilme hesaplanmıştır. Yine kısa ve uzun segment sabitleme yönteminin değerlendirildiği çalışmada rodlar üzerinde eksenel yüklemde maksimum 36.82 MPa, lateral eğilmede ise 48.12 MPa gerilme hesaplanmıştır (Wang et. al. 2019). Bu çalışmada ise, eksenel yüklem uygulanmış ve 29.01 MPa gerilme elde edilmiştir. Bu aradaki fark, bu çalışmada sadece tek omurga üzerinde tek kısa rod kullanılarak değerlendirme yapıldığı için ortaya çıkmıştır. Bu çalışma için uygulanan sınır şartları ve kuvvet değerleri yine literatürde yapılmış olan deneysel çalışmadan alınmıştır (Weiser et. al. 2017).

PLA/HA malzemesi, PLA malzemesi içerisine HA partiküllerinin belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen kompozit bir malzemedir. PLA/HA malzeme içeriğinde HA oranı arttıkça elastik modülü ve malzeme dayanımı artmaktadır (Farah et. al. 2016). Bu tür kompozit ve biyouyumlu malzemeler ileride

metalik implantlar yerine geçme potansiyeline sahiptir. Bu tür malzemelerin plak ve vida amaçlı kullanımları artmaktadır. Kemik hasarlarında özellikle yüksek dayanım gerektirmeyen üst ekstremitelerde kırık sabitlemelerinde PLA malzemesinin kullanımı literatürde değerlendirilmiştir (Leksakul et. al. 2018). Çalışmada, el bileği kırıklarında kullanılacak plağın PLA malzemesi kullanıldığında mekanik performans etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede özellikle düşme ve çarpma durumlarında bu plağın kırılacağı tespit edilmiştir (Leksakul et. al. 2018). Fakat, bu tarz kırıkların çarpma ve düşme gibi durumlarda metalik implant kullanımında da etkisi değerlendirilmelidir. Metalik implant kullanımında da düşme, çarpma gibi durumlarda plak kırılması ile karşılaşılabilir. Literatürde, omurga vida-rod sistemlerinde PLA ve PLA/HA malzemesinin kullanılmasının mekanik etkisi değerlendirilmemiştir. Bu çalışma da bu konu üzerine çalışılmıştır.

PLA ve PLA/HA malzemesi ile gerçekleştirilen analiz sonucunda pedikül vidanın güvenlik katsayısının düştüğü sonuçlar bölümünde ifade edilmişti. Bu çalışmada, tasarımsal olarak aynı olan pedikül vidanın malzeme farklılıklarında değerlendirilmesi yapılmıştır. Özellikle PLA pedikül vidasında rijitliğin düşmesini farklı yöntemlerle giderilebilir. Mesela, tasarımsal olarak pedikül vidanın değiştirilmesi sistem rijitliğini arttırabilir. Ayrıca, pedikül vidası ile baş parçası ameliyat esnasında cerrahın kemiğe vidanın daha rahat yerleştirmesi için ayrı ayrı üretilmektedir. Bu sayede vida baş kısmı hareketli olmaktadır. Fakat bu hareketi sağlarken vida mukavemetinden de taviz verilmektedir. Vida boyun bölgesi daha düşük çapa sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu sebepten dolayı yeni bir pedikül vida tasarımı ile PLA malzemesi kullanımında ortaya çıkan rijitlik düşmesini en aza indirmek mümkün olabilir.

Bu çalışmanın bazı eksik yönleri vardır. Bunlardan birisi, sadece T9 omurga modeli üzerinde değerlendirme yapılmasıdır. Bütün omurga üzerinde modelleme yapılarak analizlerin gerçekleştirilmesi daha uygun olabilirdi. Fakat sonlu elemanlar yönteminde basitleştirme esastır ve bu basitleştirmeyi tüm modelin bir parçası olarak kurgulanmıştır. Ayrıca literatürdeki benzer tüm modeller üzerinde yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- PLA pedikül vidası titanyum vidalara alternatif olabilir, fakat tasarım yönünden iyileştirilerek mukavemetinin ve rijitliğinin artırılması gereklidir.
- PLA/HA malzemesi, PLA malzemesine göre pedikül vida kullanımına daha uygundur. Aynı şekilde bu malzeme için mukavemetinin artırılması olası mekanik hasarlar riskini azaltacak ve sistemin rijitliğini artıracaktır.
- PLA veya PLA/HA malzemesi kullanımında kemiğe aktarılan gerilme değerleri yükselmektedir. Bu da kemik zayıflamasının önüne geçerek gevşeme sorununu giderebilir.

## 6. Kaynaklar

- Basaran, R., Efendioğlu, M., Kakşi, M., Çelik, T., Mutlu, İ., and Uçar, M., 2019. Finite Element Analysis of Short-Versus Long-Segment Posterior Fixation for Thoracolumbar Burst Fracture. *World Neurosurgery*, **128**, 1109-1117.
- Chen, S.I., Lin R.M., and Chang C.H., 2003. Biomechanical investigation of pedicle screw-vertebrae complex: a finite element approach using bonded and contact interface conditions. *Medical Engineering & Physics*, **25**(4), 275-282.
- Chatzistergos, P.E., Magnissalis E.A. and S.K. Kourkoulis, 2010. A parametric study of cylindrical pedicle screw design implications on the pullout performance using an experimentally validated finite-element model. *Medical Engineering & Physics*, **32**(2), 145-154.
- Çelik, T. and Y. KİŞİOĞLU, 2021. New Hip Prosthesis Design and Evaluation with Using Finite Element Analysis. *Journal of Polytechnic*, **31**, 10-20.
- Çelik, T. and Y. Kişioğlu, Evaluation of new hip prosthesis design with finite element analysis, 2019. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, **42**(4), 1033-1038.
- Çelik, T., Mutlu, İ, Ozkan, A., and Kisioglu Y., 2017. The effect of cement on hip stem fixation: a biomechanical study. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, **40**(2), 349-357.

- Farah, S., D.G. Anderson, and R. Langer, 2016. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **107**, 367-392.
- Hicks, J.M., Singla, A., Shen, F.H. and Arlet, V., 2010. Complications of Pedicle Screw Fixation in Scoliosis Surgery. *Spine*, **35**(11), 465-470.
- Keller, T.S., Predicting the compressive mechanical behavior of bone, 1994. *Journal of Biomechanics*, **27**(9), 1159-1168.
- Lai, D.M., Shih, Y.T., Chen Y.H., Chien H. and Wang, J.L., 2018. Effect of pedicle screw diameter on screw fixation efficacy in human osteoporotic thoracic vertebrae. *Journal of Biomechanics*, **70**, 196-203.
- Leksakul, K. and M. Phuendee, 2018. Development of hydroxyapatite-poly(lactic acid) composite bone fixation plate. *Science and Engineering of Composite Materials*, **25**(5), 903-914.
- Li, S., Wahab, A.A., Demirci E., Silbertschmidt, V., 2014. Penetration of cutting tool into cortical bone: Experimental and numerical investigation of anisotropic mechanical behaviour. *Journal of Biomechanics*, **47**(5), 1117-1126.
- Mohi Eldin, M.M. and Ali A.M.A., 2014. Lumbar Transpedicular Implant Failure: A Clinical and Surgical Challenge and Its Radiological Assessment. *Asian Spine Journal*, **8**(3), 281-297.
- Newcomb, A.G.U.S., Seungwon Baek, M.S., Brian P. K. and Crawford N. R, 2016. Effect of screw position on load transfer in lumbar pedicle screws: a non-idealized finite element analysis. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, **20**(2), 182-192.
- Puvanesarajah, V., 2014. Techniques and accuracy of thoracolumbar pedicle screw placement. *World Journal of Orthopedics*, **5**(2), 112-123.
- Santiuste, C., Millan R.M., Giner E., Miguelez H., 2014. The influence of anisotropy in numerical modeling of orthogonal cutting of cortical bone. *Composite Structures*, **116**, 423-431.



Shih, K.S., Hsu, C.C., Hou, S.M., Yu, S.C., and Liaw, C.K., 2015. Comparison of the bending performance of solid and cannulated spinal pedicle screws using finite element analyses and biomechanical tests. *Medical Engineering & Physics*, **37**(9), 879-884.

Su, Y., Wang, X., Ren D., Liu, Y., Liu S. And Wang P., 2018. A finite element study on posterior short segment fixation combined with unilateral fixation using pedicle screws for stable thoracolumbar fracture. *Medicine*, **97**(34), 1260.

Toktaş İ., Özkan M. T. and Çetindağ H.A., 2017. Burkulma Mukavemetine Göre Eşit Miktarda Filament Kullanımı İle 3 Boyutlu Baskısı Yapılacak Ankastre Kirişlerin Kesit Geometri Biçimlerinin Performansı, *Gazi University Journal of Science: Part C*, **5**(4): 169-177.

Tsai, W.-C., Chen, P.Q., Lu, T.W., Wu, S.S., Shih, S.H. and Li, S.C., 2009. Comparison and prediction of pullout strength of conical and cylindrical pedicle screws within synthetic bone. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **10**(1), 1-10.

Wang T., Zhao Y., Cai Z., Wang W., Xia Y., Zheng G., Liang Y. and Wang Y., 2019. Effect of osteoporosis on internal fixation after spinal osteotomy: A finite element analysis, *Clinical Biomechanics*, **69**, 178-183.

Weiser L., Huber G., Sellenschloh K., Viezens L., Püschel K., Morlock M.M. and Lehmann W., 2017. Insufficient stability of pedicle screws in osteoporotic vertebrae: biomechanical correlation of bone mineral density and pedicle screw fixation strength, *Eur Spine J*, **26**(11), 2891-2897.