





**T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ**

**e-ISSN : 2630 - 5712**

**ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ**

**JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY**  
**OF ESKİŞEHİR OSMANGAZİ UNIVERSITY**

**YIL/YEAR : 2022**

**CİLT/VOLUME : 30**

**SAYI/ISSUE : 3**



# T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

e-ISSN : 2630 - 5712

## SAHİBİ / OWNER

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Adına  
Prof. Dr. Muammer KAYA  
Dekan

## EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Haldun KURAMA ([hkurama@ogu.edu.tr](mailto:hkurama@ogu.edu.tr))

## EDİTÖR YADIMCISI / ASSOCIATE EDITOR

Prof. Dr. Melih İPHAR ([miphar@ogu.edu.tr](mailto:miphar@ogu.edu.tr))

## ALAN (BÖLÜM) EDİTÖRLERİ / AREA EDITORS

| Bölüm / Department   | Adı ve Soyadı / Name   |
|--|--|
| Bilgisayar Mühendisliği<br>Computer Engineering                              | Dr. Öğr. Üyesi Esra N. YOLAÇAN<br><a href="mailto:yolacan@ogu.edu.tr">yolacan@ogu.edu.tr</a>                           |
| Biyomedikal Mühendisliği<br>Biomedical Engineering                           | Dr. Öğr. Üyesi Sultan BÜTÜN ŞENGEL<br><a href="mailto:sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr">sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr</a> |
| Elektrik-Elektronik Mühendisliği<br>Electrical-Electronics Engineering       | Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ<br><a href="mailto:gdindis@ogu.edu.tr">gdindis@ogu.edu.tr</a>                             |
| Endüstri Mühendisliği<br>Industrial Engineering                              | Prof. Dr. Müjgan SAĞIR<br><a href="mailto:msagir@ogu.edu.tr">msagir@ogu.edu.tr</a>                                     |
| İnşaat Mühendisliği<br>Civil Engineering                                     | Doç. Dr. Hakan ÖZBAŞARAN<br><a href="mailto:ozbasaran@ogu.edu.tr">ozbasaran@ogu.edu.tr</a>                             |
| Jeoloji Mühendisliği<br>Geology Engineering                                  | Prof. Dr. Selahattin KADİR<br><a href="mailto:skadir@ogu.edu.tr">skadir@ogu.edu.tr</a>                                 |
| Kimya Mühendisliği<br>Chemical Engineering                                   | Prof. Dr. Ayşegül AŞKIN<br><a href="mailto:aaskin@ogu.edu.tr">aaskin@ogu.edu.tr</a>                                    |
| Maden Mühendisliği<br>Mining Engineering                                     | Prof. Dr. Sabiha KOCA<br><a href="mailto:skoca@ogu.edu.tr">skoca@ogu.edu.tr</a>  |
| Makine Mühendisliği<br>Mechanical Engineering                                | Prof. Dr. Haydar ARAS<br><a href="mailto:haras@ogu.edu.tr">haras@ogu.edu.tr</a>  |
| Metalurji ve Malzeme Mühendisliği<br>Metallurgical and Materials Engineering | Dr. Öğr. Üyesi S. Mine TOKER<br><a href="mailto:stoker@ogu.edu.tr">stoker@ogu.edu.tr</a>                               |
| Mimarlık<br>Architecture   | Doç. Dr. Başak GÜÇYETER<br><a href="mailto:basakgucyeter@gmail.com">basakgucyeter@gmail.com</a>                        |
| Uçak Mühendisliği<br>Aeronautical Engineering                                | Prof. Dr. Melih KUŞHAN<br><a href="mailto:mkushan@ogu.edu.tr">mkushan@ogu.edu.tr</a>                                   |
| Yazılım Mühendisliği<br>Software Engineering                                 | Dr. Öğr. Üyesi İlker ÖZÇELİK<br><a href="mailto:ilker.ozcelik@ogu.edu.tr">ilker.ozcelik@ogu.edu.tr</a>                 |

## ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

| Bölüm  | Adı ve Soyadı   |
|--|---|
| Bilgisayar Müh. / Computer Engineering                           | Araş. Gör. Dr. Zuhale TEPECİK CAN<br><a href="mailto:zcan@ogu.edu.tr">zcan@ogu.edu.tr</a>                 |
| Biyomedikal Mühendisliği/Biomedical Engineering                  | Dr. Öğr. Üyesi Yapıncak GÖNCÜ<br><a href="mailto:yapincak.goncu@ogu.edu.tr">yapincak.goncu@ogu.edu.tr</a> |
| Elektrik ve Elektronik Müh. / Electrical-Electronics Engineering | Araş. Gör. Dr. İpek ÇETİNBAS<br><a href="mailto:ipekccetinbas@ogu.edu.tr">ipekccetinbas@ogu.edu.tr</a>    |
| Endüstri Müh. / Industrial Engineering                           | Araş. Gör. Aslıhan KARAS<br><a href="mailto:aslihan.karas@ogu.edu.tr">aslihan.karas@ogu.edu.tr</a>        |
| İnşaat Müh. / Civil Engineering                                  | Araş. Gör. Çağdaş KARA<br><a href="mailto:ckara@ogu.edu.tr">ckara@ogu.edu.tr</a>                          |



ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

| Bölüm   | Adı ve Soyadı   |
|---|---|
| Jeoloji Müh. / Geology Engineering                                  | Araş. Gör. Duru CESUR<br><a href="mailto:daral@ogu.edu.tr">daral@ogu.edu.tr</a>                 |
| Kimya Müh. / Chemical Engineering                                   | Araş. Gör. Fırat YILMAZ<br><a href="mailto:fiat.yilmaz@ogu.edu.tr">fiat.yilmaz@ogu.edu.tr</a>   |
| Maden Müh. / Mining Engineering                                     | Araş. Gör. Dr. H. Serkan GÖKCEN<br><a href="mailto:sgokcen@ogu.edu.tr">sgokcen@ogu.edu.tr</a>   |
| Makine Müh. / Mechanical Engineering                                | Bünyamin ÖZTÜRK<br><a href="mailto:bunyamin.ozturk@ogu.edu.tr">bunyamin.ozturk@ogu.edu.tr</a>   |
| Metalurji ve Malzeme Müh. / Metallurgical and Materials Engineering | Araş.Gör. Dr. Alanur BİNAL AYBAR<br><a href="mailto:abinal@ogu.edu.tr">abinal@ogu.edu.tr</a>    |
| Mimarlık/Architecture   | Doç. Dr. Başak GÜÇYETER<br><a href="mailto:basakgucyeter@gmail.com">basakgucyeter@gmail.com</a> |
| Uçak Mühendisliği/Aeronautical Engineering                          | Prof. Dr. Melih KUŞHAN<br><a href="mailto:mkushan@ogu.edu.tr">mkushan@ogu.edu.tr</a>            |
| Yazılım Mühendisliği/Software Engineering                           | Araş. Gör. Sergen AŞIK<br><a href="mailto:sergen.asik@ogu.edu.tr">sergen.asik@ogu.edu.tr</a>    |

YAYIN KURULU / PUBLISHING EDITORS

| Adı ve Soyadı / Name               | Bölüm / Department   |
|------------------------------------|--|
| Prof. Dr. Haldun KURAMA            | Editör, ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR       |
| Prof. Dr. Melih İPHAR              | Editör Yrd., ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR  |
| Dr. Öğr. Üyesi Esra Nergis YOLAÇAN | ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR          |
| Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ       | ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR |
| Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR         | SDÜ Mühendislik Fakültesi<br>Endüstri Mühendisliği Bölümü İSPARTA                            |
| Doç. Dr. Cenk KARAKURT             | Bilecik Şeyh Edebalı Üniv. Mühendislik Fakültesi<br>İnşaat Mühendisliği Bölümü BİLECİK       |
| Prof. Dr. Selahattin KADİR         | ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Jeoloji Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR             |
| Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY             | Bilecik Şeyh Edebalı Üniv. Mühendislik Fakültesi<br>Kimya Mühendisliği Bölümü BİLECİK        |
| Prof. Dr. Sabiha KOCA              | ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR               |
| Prof. Dr. Ramazan KÖSE             | Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi<br>Makine Mühendisliği Bölümü KÜTAHYA          |
| Dr. Öğr. Üyesi S. Mine TOKER       | ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi<br>Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü ESKİŞEHİR        |



**EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD**

---

- Prof. Dr. Yasemin Serin, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [serin@metu.edu.tr](mailto:serin@metu.edu.tr)
- Prof. Dr. Demircan Canadınç, Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [dcanadinc@ku.edu.tr](mailto:dcanadinc@ku.edu.tr)
- Prof. Dr. Hatem Akbulut, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, [akbulut@sakarya.edu.tr](mailto:akbulut@sakarya.edu.tr)
- Prof. Dr. Zeki Aktaş, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [zaktas@eng.ankara.edu.tr](mailto:zaktas@eng.ankara.edu.tr)
- Prof. Dr. Fatih Altun, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, [faltun@erciyes.edu.tr](mailto:faltun@erciyes.edu.tr)
- Prof. Dr. Gürsoy Arslan, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, [garslan@anadolu.edu.tr](mailto:garslan@anadolu.edu.tr)
- Dr. Fatemeh Azmandian, Dell EMC Hopkinton, Massachusetts, ABD, [fatemeh\\_azmandian@yahoo.com](mailto:fatemeh_azmandian@yahoo.com)
- Prof. Dr. Yüksel Avcıbaşı Güvenilir, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [avcibasi@itu.edu.tr](mailto:avcibasi@itu.edu.tr)
- Prof. Dr. Buket D. Barkana, University of Bridgeport, Bridgeport, Connecticut, ABD, [bbarkana@bridgeport.edu](mailto:bbarkana@bridgeport.edu)
- Prof. Dr. Cemal Baykara, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [baykaracem@itu.edu.tr](mailto:baykaracem@itu.edu.tr)
- Prof. Dr.-Ing. Habil. Ali Cemal Benim, Duesseldorf University, Duesseldorf, Almanya, [alicemal.benim@hs-duesseldorf.de](mailto:alicemal.benim@hs-duesseldorf.de)
- Prof. Dr. A. Hakan Benzer, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [benzer@hacettepe.edu.tr](mailto:benzer@hacettepe.edu.tr)
- Prof. Dr. Cafer Çelik, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, [ccelik@atauni.edu.tr](mailto:ccelik@atauni.edu.tr)
- Prof. Dr. Emin Çiftçi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [eciftci@gmail.com](mailto:eciftci@gmail.com)
- Prof. Dr. Kadri Dağdelen, Colorado School of Mines, Colorado, ABD, [kdagdelen@mines.edu](mailto:kdagdelen@mines.edu)
- Prof. Dr. Cengiz Dündar, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, [dundar@cu.edu.tr](mailto:dundar@cu.edu.tr)
- Prof. Dr. Serpil Erol, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [serpiller@gazi.edu.tr](mailto:serpiller@gazi.edu.tr)
- Prof. Dr. L. Antonio Estévez, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, [antonio.estevez@upr.edu](mailto:antonio.estevez@upr.edu)
- Prof. Dr. Cahit Helvacı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, [cahit.helvacı@deu.edu.tr](mailto:cahit.helvacı@deu.edu.tr)
- Prof. Dr. Ömer Nezih Gerek, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, [ongerek@eskisehir.edu.tr](mailto:ongerek@eskisehir.edu.tr)
- Prof. Dr. Fatih Hocaoğlu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, [hocaoglu@aku.edu.tr](mailto:hocaoglu@aku.edu.tr)
- Prof. Dr. Rasim İpek, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, [rasim.ipek@ege.edu.tr](mailto:rasim.ipek@ege.edu.tr)
- Prof. Dr. Derviş Karaboğa, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, [karaboga@erciyes.edu.tr](mailto:karaboga@erciyes.edu.tr)
- Prof. Dr. Şadan Kelebek, Queen's University, Kanada, [sadan.kelebek@queensu.ca](mailto:sadan.kelebek@queensu.ca)
- Prof. Dr. Manuel Pozo Rodríguez, Universidad Autónoma of Madrid, İspanya, [manuel.pozo@uam.es](mailto:manuel.pozo@uam.es)
- Prof. Dr. Şeref Sağıroğlu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [ss@gazi.edu.tr](mailto:ss@gazi.edu.tr)
- Prof. Dr. Mehmet Saltan, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, [mehmetsaltan@sdu.edu.tr](mailto:mehmetsaltan@sdu.edu.tr)
- Prof. Dr. Paul A. Schroeder, University of Georgia, ABD, [schroe@uga.edu](mailto:schroe@uga.edu)
-



Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, bilim ve teknolojideki son gelişmeleri aktarmak amacıyla;

- ❖ Bilgisayar Mühendisliği
- ❖ Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- ❖ Endüstri Mühendisliği
- ❖ İnşaat Mühendisliği
- ❖ Jeoloji Mühendisliği
- ❖ Kimya Mühendisliği
- ❖ Maden Mühendisliği
- ❖ Makine Mühendisliği
- ❖ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- ❖ Mimarlık
- ❖ Uçak Mühendisliği
- ❖ Yazılım Mühendisliği

dallarında; *kuramsal ve uygulamalı araştırma* ile *tarama* niteliklerinde makaleler yayımlamayı amaçlayan disiplinler arası ve hakemli bir dergidir. Dergi, belirtilen mühendislik branşlarında hızla gelişen alanlarına ilişkin çalışmalarını ulaştırmayı amaçlamaktadır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi ilk olarak **1986 yılında** "Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi" olarak yayın hayatına başlamıştır. 1993 ve 2005 yıllarında yapılan isim değişiklikleri sonrasında, üniversitemiz adının "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi" olması nedeniyle derginin adı da "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi" (ISSN: 1301-045x) haline gelmiştir.

Dergi yılda 2 sayı olarak yayımlanmış olup 2012 yılı sonunda yayın hayatına ara vermiştir.

2018 yılından itibaren e-Dergi olarak yayın hayatına tekrar başlamıştır.

Dergi hakkında ayrıntılı bilgiler

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

web sayfasında verilmiştir.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi yılda 3 sayı olarak yayımlanmaktadır.

Bu sayılara ek olarak Editörler Kurulu'nun kararıyla, fakültemiz bölümleri tarafında yürütülen bir kongrede sunulan bildiriler "Özel Sayı" olarak yayımlanabilmektedir.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is a multidisciplinary and peer-reviewed journal in engineering. The journal is not limited to a particular aspect of science and engineering, but is instead devoted to a wide range of areas in engineering. The journal aims to publish high quality papers in the areas of:

- ❖ Computer Engineering
- ❖ Electrical-Electronics Engineering
- ❖ Industrial Engineering
- ❖ Civil Engineering
- ❖ Geology Engineering
- ❖ Chemical Engineering
- ❖ Mining Engineering
- ❖ Mechanical Engineering
- ❖ Metallurgical and Materials Engineering
- ❖ Architecture
- ❖ Aeronautical Engineering
- ❖ Software Engineering

This journal publishes original theoretical and empirical research papers as well as review papers and case studies related to these areas of engineering. High quality submissions are welcome from academics, researchers, and practitioners.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University was first launched in 1986. After the name of the journal changed in both 1993 and 2005, consequently, the name is "The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University" (ISSN: 1301-045x). The journal was published as 2 issues per year until the end of 2012, then publication of the journal is suspended between 2012-2017.

It has resumed its publication life as an online journal in 2018.

Additional information for the journal is given at web page :

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is published as 3 issues per year.

In addition to the regular issues, proceedings of the conferences which are organized by our university are published as special issues depending upon the decision of the Editorial Board.



**T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ**

**e-ISSN : 2630 - 5712**

Dergi, halen, aşağıda verilen indeksler tarafından taranmaktadır.

The journal is currently indexed in the following databases.



[TR Dizin](#)



[SOBIAD](#)



[EBSCO Host](#)



[Index Copernicus](#)



[DOAJ \(Directory of Open Access Journals\)](#)



[BASE](#)



[WorldCat](#)



İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

| <b><u>Araştırma Makaleleri / Research Articles</u></b>   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--|---------------------|
| <b>Experimental Insights Into Induced Partial Saturation Methods Developed for Liquefaction Mitigation: Distribution of Gas Bubbles</b><br>Zemin Sıvılaşmasına Karşı Geliştirilen Kısmi Doygunluğa İndirgeme Metotları Üzerine Deneysel Çalışma: Gaz Kabarcıklarının Dağılımı<br>Abdülhakim ZEYBEK                 | 309 – 317           |
| <b>Derin Öğrenme Temelli Otomatik Yardım Masası Sistemi</b><br>Automated Help Desk System Based On Deep Learning<br>Metin YILMAZ , Efnan ŞORA GÜNAL  | 318 – 327           |
| <b>Development of a Fault Injection Tool &amp; Dataset for Verification of Camera Based Perception in Robotic Systems</b><br>Robotik Sistemlerde Kamera Tabanlı Algının Doğrulanması İçin Hata Enjeksiyon Aracı ve Veri Kümesinin Geliştirilmesi<br>Uğur YAYAN, Alim Kerem ERDOĞMUŞ                                | 328 – 339           |
| <b>2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Spektral Karakteristiklerin Karşılaştırılması: Eskişehir Örneği</b><br>Comparison of Spectral Characteristics According to 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes: Eskişehir Case<br>Eren BAYRAKCI, Eren BALABAN, Mehmet İnanç ONUR, Yücel GÜNEY                 | 340 – 347           |
| <b>Tane Şeklinin Galen Cevherinin Flotasyonuna ve Topaklanmasına Etkisi</b><br>The Effect of Shape Factor on Flotation and Aggregation of Galena Ore<br>Turan UYSAL, Onur GÜVEN  | 348 – 356           |
| <b>Kurşunlu-Dağdere (Konya) Arasındaki Bölgenin Jeokimyasal Özellikleri ve Cevher Potansiyelinin İstatistiksel Değerlendirilmesi</b><br>Geochemical Features and Statistical Evaluation of The Ore Potential of The Region Between Kurşunlu and Dağdere (Konya)<br>Fetullah ARIK, Zahide Seher ATEŞ, Yeşim ÖZEN    | 357 – 378           |
| <b>Üç Farklı Termik Santralden Alınan Uçucu Külün İnce Taneli Zeminin Kompaksiyon ve Dayanım Özellikleri Üzerindeki Performansı</b><br>Performance of Fly Ash Provided From Three Different Thermal Plants on The Compaction and Strength Properties of Fine-Grain Soil<br>Hakan BİLİCİ, Murat TÜRKÖZ, Hasan SAVAŞ | 379 – 388           |
| <b>Investigation of Gold Nanoparticle Modification on Screen Printed Gold Electrode By Electrochemical Impedance Spectroscopy</b><br>Ekran Baskılı Altın Elektrot Üzerine Altın Nanopartikül Modifikasyonunun Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi İle İncelenmesi<br>Yücel KOÇ, Huseyin AVCI                   | 389 – 396           |
| <b>Performance Comparison of Parallel and Series Channel Cold Plates Used in Electric Vehicles By Means of CFD Simulations</b><br>Elektrikli Araçlarda Kullanılan Paralel ve Seri Kanallı Soğutma Plakalarının Performanslarının HAD Yöntemi İle Karşılaştırılması<br>Ayhan Nazmi İLİKAN, Ahmet YAYLI              | 397 – 404           |





**Araştırma Makaleleri / Research Articles**

**Sayfa**

- Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi İçin Üretilmiş Kobalt Esaslı Süperalaşım Besleme Stoklarının Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi** 405 - 411  
Investigation of Rheological Properties of Cobalt Based Superalloy Feedstocks Manufactured For Powder Injection Molding Method  
Eren GAYRETLİ, Batuhan SORUŞBAY, H. Özkan GÜLSOY
- AHP, Bulanık AHP, LBWA ve COPRAS Yöntemleri İle Tedarikçi Değerlendirme: Demiryolu Sektöründe Bir Uygulama** 412 - 430  
Supplier Evaluation Through AHP, Fuzzy AHP, LBWA and COPRAS Methods: An Application in The Railway Industry  
Meryem ULUSKAN, Dilşad TOPUZ, Cansel ÇİMEN
- Polimer Kompozit ve Çelik Diske Karşı Cam Elyaf Takviyeli Poli-Eter-Eter-Keton (PEEK) Kompozitin Aşınma Özellikleri** 431 - 440  
Wear Behaviours of Glass Fiber Reinforced Poly-Ether-Ether-Ketone Composite (PEEK) Versus Polymer Composite and Steel Counterparts  
Hüseyin ÜNAL, Salih Hakan YETGİN, Veysel Furkan ÜNAL
- Investigation of Polyps in Endoscopy Images By Using Deep Learning Algorithm** 441 - 453  
Derin Öğrenme Algoritması Kullanılarak Endoskopi Görüntülerinde Poliplerin Araştırılması  
Emine CENGİZ, Faik YAYLAK, Eyyup GULBANDILAR
- Agrega Ocakları İçin Sınır Metilen Mavisi Değeri Optimizasyonu** 454 - 463  
Cutoff Methylene Blue Value Optimization for Aggregate Quarries  
Emre Serhan BATTAL, Adnan KONUK
- Diagnosing Diseases From Fingernail Images** 464 - 470  
Tırnak Görüntülerinden Hastalık Teşhisi  
Zuhal CAN, Sahin Isik
- Estimation of Coal Seam Methane Contents Using Fuzzy Logic Method** 471 - 480  
Kömür Damarı Metan İçeriklerinin Bulanık Mantık Yöntemi İle Tahmini  
Nilüfer KURŞUNOĞLU

## EXPERIMENTAL INSIGHTS INTO INDUCED PARTIAL SATURATION METHODS DEVELOPED FOR LIQUEFACTION MITIGATION: DISTRIBUTION OF GAS BUBBLES

Abdülhakim ZEYBEK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Muş,  
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7096-5770>

### Keywords

Liquefaction,  
Partial Saturation,  
Air Injection,  
Chemical Substances,  
Hydrogen Peroxide

### Abstract

Saturated deposits of sandy soils may liquefy during an earthquake event, causing detrimental effects on the site and structures. Mitigation of liquefaction-induced damage is of the essence when the structures are expected to exceed the acceptable limits of safety and serviceability. Induced Partial Saturation (IPS) has been recently proposed as a novel liquefaction countermeasure. In the present study, several laboratory tests were conducted on partially saturated sand models to offer insights into two IPS methods, paying more attention to the distribution of air/gas bubbles entrapped in pore spaces. For this purpose, loose deposits of partially saturated sand were prepared in transparent plexiglass boxes either injecting air or using a chemical substance. Digital images were recorded at different stages of the tests, which provided an opportunity to visualize the distribution of gas/air bubbles. Furthermore, moisture sensors were placed at different locations of sand models, allowing to capture the variation of the degree of saturation with time. Comprehensive analyses of the test data suggested that oxygen bubbles were generated through a reaction between water and chemical substance, and the distribution of oxygen bubbles was sufficiently uniform across the sand models. This method also allowed the preparation of sand models at the desired degrees of saturation. On the contrary, at 1-g injected air was observed to flow through a path of less resistance, and this technique was comparatively less successful in preparing sand models with uniformly distributed air bubbles and at lower degrees of saturation (i.e., below 90%).

## ZEMİN SIVILAŞMASINA KARŞI GELİŞTİRİLEN KİSMİ DOYGUNLUĞA İNDİRGEME METOTLARI ÜZERİNE DENEYSEL ÇALIŞMA: GAZ KABARCıklarININ DAĞILIMI

### Anahtar Kelimeler

Sıvılaşma,  
Kısmi Doygunluk,  
Hava Enjeksiyonu,  
Kimyasal Madde,  
Hidrojen Peroksit

### Öz

Doymuş kumlu zeminler, deprem yükleri altında sıvılaşarak serbest saha ve yapılar üzerinde zararlı etkilere neden olabilmektedir. Yapıların güvenliğini ve kullanılabilirliğini sağlamak için zemin sıvılaşmasına bağlı hasarların azaltılması veya önlenmesi gerekmektedir. Son yıllarda ortaya çıkmış olan Kısmi Doygunluğa İndirgeme (IPS) tekniği sıvılaşmanın etkilerini azaltmada kullanılacak yeni bir yöntemdir. Bu çalışmada, iki farklı IPS yöntemi kullanılarak kısmi doygun hale getirilmiş kum modelleri üzerinde laboratuvar testleri gerçekleştirilmiş ve özellikle zemin içerisindeki boşluklarda suni olarak oluşturulmuş olan hava/gaz kabarcıklarının dağılımı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, hava enjekte ederek veya kimyasal madde kullanarak şeffaf pleksiglas kutu içinde kısmi doygun gevşek kum modelleri hazırlanmıştır. Farklı test aşamalarında kaydedilmiş dijital resimler yardımı ile gaz/hava kabarcıklarının zemin içindeki dağılımı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kum modellerinin farklı noktalarına yerleştirilen toprak nem ölçüm sensörleri ile doygunluk derecesinin zamana bağlı değişimi tespit edilmiştir. Test verilerinin kapsamlı analizleri, kullanılan kimyasal maddenin su içinde reaksiyona girmesi ile zemin içinde oksijen kabarcıkları oluşturduğunu ve bu kabarcıkların yeterince üniform olarak dağıldığını göstermiştir. Aynı zamanda bu yöntem ile istenilen

\* Sorumlu yazar; e-posta: [a.zeybek@alparslan.edu.tr](mailto:a.zeybek@alparslan.edu.tr)



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*doğunluk derecelerinde kum modelleri hazırlanabilmiştir. Buna karşılık, zemine enjekte edilen havanın sınırlı bir akış yolunu takip ettiği gözlemlenmiş ve hava enjeksiyon tekniğinin yerçekimi etkisi altında üniform ve düşük doğunluk derecesine (%90 altı) sahip kısmi doğun kum modellerinin hazırlanmasında nispeten daha az başarılı olduğu görülmüştür.*

|                    |              |                  |              |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi |              | Research Article |              |
| Başvuru Tarihi     | : 25.01.2022 | Submission Date  | : 25.01.2022 |
| Kabul Tarihi       | : 10.06.2022 | Accepted Date    | : 10.06.2022 |

## 1. Introduction

Saturated deposits of sandy soils may liquefy during an event of an earthquake, leading to significant loss of shear strength and soil stiffness degradation. Earthquake-induced liquefaction has the potential to cause significant economic losses and casualties. Its detrimental effects have been recurrently observed during past and recent earthquakes, such as in 1995 Kobe (Elgamal et al., 1996), 1999 Izmit (Bray et al., 2004), 2001 Bhuj (Rajendran et al., 2001), 2010 Maule (Bertalot et al., 2013), 2011 Tohoku (Bhattacharya et al., 2011) and 2011 Christchurch (Cubrinovski et al., 2011). A large number of structures in seismically active regions continue to be at extremely high risk of liquefaction-induced damage, and a pressing need exists for the use of countermeasures against liquefaction.

In the aftermath of the 1964 Niigata earthquake, extensive attention has been dedicated to this problem, and different types of liquefaction mitigation methods have been proposed (Seed et al., 2003; Mitchell et al., 1995). Although most of these methods have been proven to be suitable for the new sites, they are less applicable under existing structures and are often very expensive (Gallagher et al., 2007). In recent years, researchers have attempted to resolve this problem and developed a few non-disruptive and cost-effective mitigation methods including passive site remediation (Gallagher and Mitchell, 2002), microbial-induced calcite precipitation (DeJong et al., 2010; Montoya et al., 2013; Choi et al., 2020; Zamani et al., 2021), and induced partial saturation (IPS) methods.

IPS methods can be classified into five major groups: electrolysis (Yegian et al., 2007), drainage-recharge (Yegian et al., 2007), air injection (Okamura et al., 2011; Zeybek and Madabhushi, 2017a), denitrifying bacteria-biogas (He et al., 2013; O'Donnell et al., 2017; Mousavi and Ghayoomi, 2021) and chemical substance as a source of gas bubbles (Eseller-Bayat et al., 2013). The IPS methods rely on the artificial generation of air or gas bubbles in pore spaces, reducing the degree of saturation  $S_r$  and markedly increasing the liquefaction resistance of soil (Okamura and Soga, 2006). The IPS methods can be applied both at new sites and beneath existing structures. The material used in their application (i.e., air, sodium percarbonate) is very cheap, significantly reducing the total cost (i.e., Okamura and Tomida, 2015). Moreover, these methods are

environmental-friendly as they do not require the use of synthetic materials or chemicals (i.e., epoxy, cement). Several research programs have been undertaken by different research groups around the world to investigate the effectiveness of IPS methods on reducing the liquefaction effects. Cyclic triaxial or dynamic simple shear tests revealed that partially saturated sand specimens prepared with a chemical substance, sodium percarbonate, exhibited greater liquefaction resistance than their saturated counterparts (i.e., Zeybek, 2022a; Eseller-Bayat and Gulen, 2020). Through the dynamic centrifuge tests, generation of high excess pore pressures, associated soil softening, ground surface and/or foundation settlements were shown to substantially decrease as liquefiable sand models were desaturated by injecting pressurized air (i.e., Marasini and Okamura, 2015; Zeybek and Madabhushi, 2017b; Zeybek and Madabhushi, 2019). Through the 1-g shaking table tests, the magnitude of excess pore pressures was shown to decrease as saturated deposits of liquefiable sand were mitigated with electrolysis and drainage recharge techniques (Yegian et al., 2007), a chemical substance containing hydrogen peroxide (Eseller-Bayat et al., 2013; Zeybek, 2022b) and denitrifying bacteria (He et al., 2013). The laboratory and field tests suggested that under different conditions (i.e., horizontal/vertical flow, shaking) air or gas bubbles can remain entrapped within the pore spaces and the IPS techniques offer a reliable solution in the long term (i.e., Okamura et al., 2006; Yegian et al., 2007; Zeybek and Madabhushi, 2017c; Eseller-Bayat et al., 2013; Hu et al. 2020). Few in situ tests were conducted to examine the practicality and efficacy of air injection (Okamura et al., 2011) and chemical methods (Nababan, 2015).

Previous studies established the fundamental principles and highlighted promising features of IPS methods. Despite their virtues, there is a need for further study, targeting the critical factors that control their response. The current study aims to offer experimental insights into two IPS methods, which are expected to enhance the current understanding of these particular mitigation methods and help the geotechnical engineers during their practical applications. Air injection and chemical methods are chosen for this purpose. The performance of these methods is compared with a particular focus on the distribution of air and gas bubbles entrapped in pore spaces.

**2. Research Methodology**

**2.1. Testing Program**

In this study, a series of 10 tests were conducted on partially saturated sand models prepared in transparent plexiglass boxes. The main facets of the tests are presented in Table 1.

Five of the sand models were prepared using the air injection method and Hostun sand. The remaining tests involved the use of Şile sand and a chemical substance as a way of generating gas bubbles. In every test, sand models were prepared at a relative density  $D_r$  of approximately 40%, saturated with de-aired water, and desaturated with air injection (A) or chemical substance (C). The degree of saturation of air injected and chemically mitigated sand models was in the range of 89.5 to 94.8% and 78.0 to 94.1%, respectively. It is noted that unless otherwise stated, the term 'chemical substance' indicates the 'denture cleanser' hereafter.

Table 1

| Experimental Program |         |            |           |           |           |
|----------------------|---------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Test No              | Test ID | IPS Method | Sand Type | $D_r$ (%) | $S_r$ (%) |
| 1                    | A1      |            |           | 40.1      | 94.8      |
| 2                    | A2      | Air        | Hostun    | 39.8      | 90.2      |
| 3                    | A3      | Injection  | HN31      | 40.8      | 91.2      |
| 4                    | A4      |            |           | 41.0      | 90.3      |
| 5                    | A5      |            |           | 39.1      | 89.5      |
| 6                    | C1      |            |           | 41.3      | 94.1      |
| 7                    | C2      | Chemical-  | AFS       | 39.5      | 89.6      |
| 8                    | C3      | Efferdent  | 55/60     | 38.7      | 85.0      |
| 9                    | C4      |            | Şile      | 40.2      | 80.5      |
| 10                   | C5      |            |           | 40.4      | 78.0      |

**2.2. Material and Equipment**

Two types of sand, namely, Hostun HN31 and AFS 55/60 Şile were used for the preparation of models. Table 2 presents the basic properties of sands. Both are uncrushed clean siliceous sand and are widely used for industrial purposes.

Table 2

| Basic properties of sands            |             |                |
|--------------------------------------|-------------|----------------|
| Sand Type                            | Hostun HN31 | AFS 55/60 Şile |
| Average particle size, $D_{50}$ [mm] | 0.480       | 0.296          |
| Uniformity coefficient, $C_u$        | 1.67        | 1.352          |
| Specific gravity, $G_s$              | 2.65        | 2.65           |
| Minimum void ratio, $e_{min}$        | 0.555       | 0.574          |
| Maximum void ratio, $e_{max}$        | 1.01        | 0.885          |
| Soil Classification (USCS)           | SP          | SP             |

Based on the analysis of particle size distribution, Hostun sand appears to be coarser than Şile sand (Figure 1). More details regarding the physical and mechanical properties of Hostun and Şile sand can be found in the published literature (i.e., Heron, 2013; Zeybek, 2017; Zeybek, 2022a).

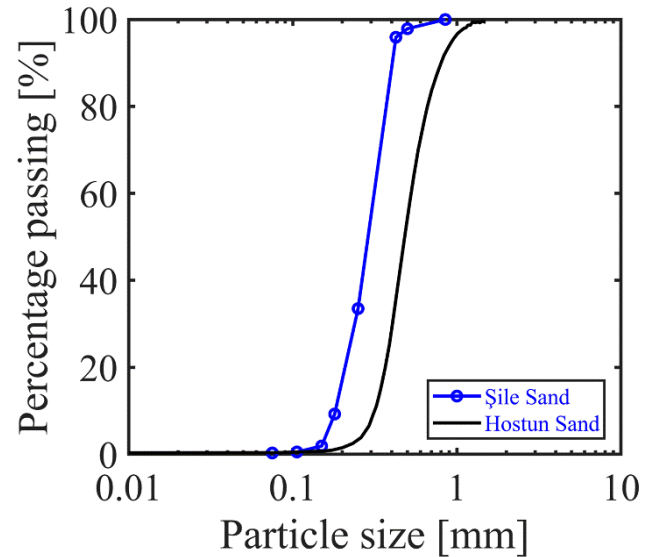


Figure 1. Particle size distribution of HN31 Hostun sand and AFS 55/60 Şile sand

In the tests involving chemical treatment, commercially available denture cleanser tablets, called Efferdent, were used (Figure 2a). It was purchased in tablet form (Figure 2b), and finely powdered (Figure 2c). This type of chemical substance contains hydrogen peroxide and can produce oxygen bubbles through its reaction with water. Further details about the use of Efferdent as a liquefaction mitigation method can be found in the published literature (i.e., Eseller-Bayat et al., 2013).

In some of the tests, VH400 soil moisture sensor probes (manufactured by Vegetronix) were used to measure the variation of the degree of saturation.

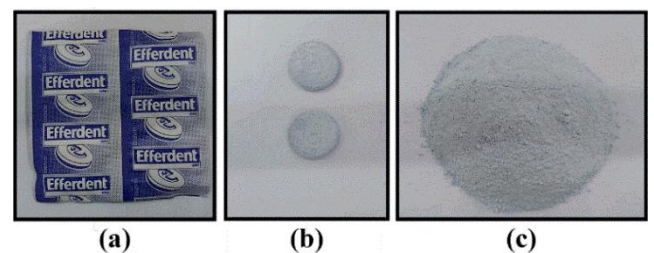


Figure 2. The chemical substance in tablet and powder form

### 2.3. Preparation of Sand Models

#### 2.3.1. Air Injection Tests

A porous plastic tube and an air diffuser with extremely fine openings were placed on the base of the clear plexiglass model box (Figure 3a). Their inlets were connected to a header tank filled with de-aired water for saturation and an air compressor for air injection. Hostun sand was dry pluviated at a controlled flow rate and drop height. The sand pouring process was halted to install the soil moisture probes at the targeted locations (Figure 3b). Subsequently, reconstituted sand models in a loose condition were saturated by slowly infiltrating the de-aired water from bottom to top (Figure 3c). The saturation process continued until 15 mm of free water was collected above the sand surface (Figure 3d).

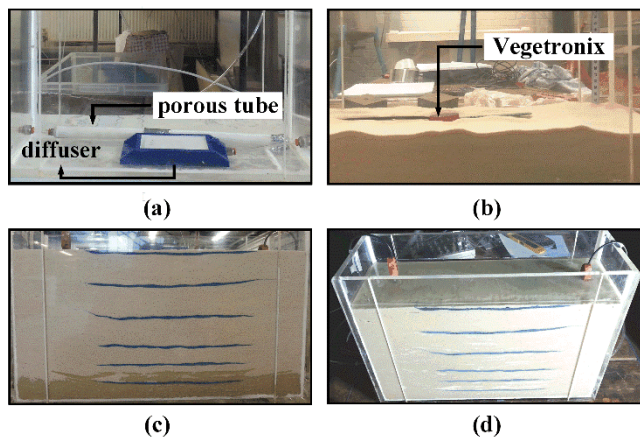


Figure 3. Preparation of partially saturated sand models using the air injection method

This was followed by the desaturation of sand models using the air injection technique. Air was injected in a controlled manner. The flow rate and injection pressure were measured through a flow sensor and pressure gauge (Figure 4).

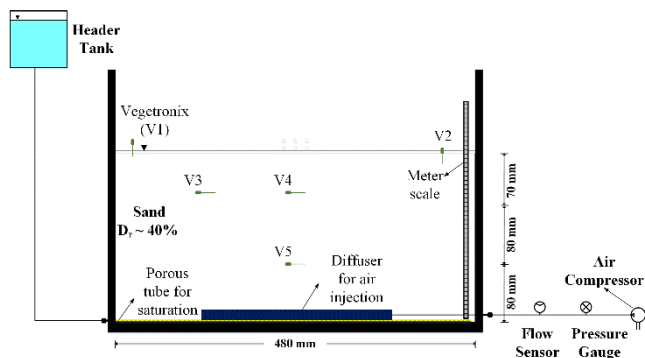


Figure 4. Typical cross-sections of models and test setup

The change in water level was measured through a meter scale on the back window. Similarly, the moisture sensor placed at the sand surface (V1) allowed for continuous measurement of the variation of water level.

#### 2.3.2. Chemical Tests

The chemical tablets were finely powdered, and the chemical powder was mixed with clean Şile sand at different ratios (Figure 5a and Figure 5b). The obtained mixture was poured into the model box through air pluviation (Figure 5c) and subsequently saturated with a specific amount of de-aired water (Figure 5d). After one day of the reaction between the chemical substance and water, oxygen gas bubbles were generated in the pore spaces of the sand model and an increase in the height of free water above the sand surface was observed. It is noteworthy that the top of the sand models was sealed using plastic wrap to minimize the possibility of water loss due to evaporation.

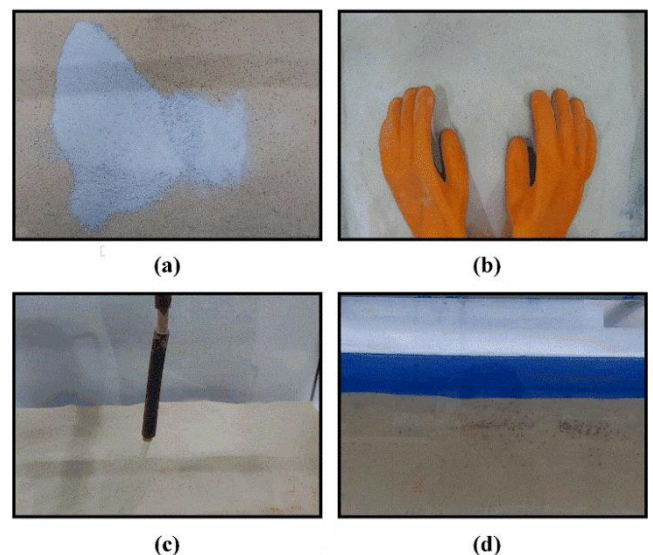


Figure 5. Preparation of partially saturated sand models using chemical powder

## 3. Results

### 3.1. Degree of Saturation, $S_r$

The degree of saturation of sand models was assessed during the saturation and desaturation process by two different approaches, namely, soil phase relations and soil moisture sensors. For the conventional soil phase (mass-volume) method, the weight and/or volume of sand, chemical substance, and water were measured with caution. The average degree of saturation across the sand model was calculated with an assumption of the volume of air or gas bubbles entrapped in pore spaces being equal to the volume of water replaced by air or gas bubbles. In addition, the moisture sensors

were used to record the variation of  $S_r$  at discrete points of sand models.

Figure 6 depicts an example of the time histories of the degree of saturation recorded during the saturation and desaturation (air injection) process in test A2. The test data corresponds to  $S_r$  values obtained based on mass-volume and moisture sensor measurements. It is seen that the degree of saturation of dry sand models increased when saturated with water. The readings of the sensors at the deeper layers (i.e., V5) started to vary earlier than those of the sensors at the shallower layers (i.e., V2) because the saturation started from the bottom and propagated upwards. At the start of the air injection, the average  $S_r$  was approximately 97.5%. This was slightly overestimated particularly by the lower sensors. It is also obvious from the figure that  $S_r$  of the sand models started to reduce with the inclusion of air bubbles. The average  $S_r$  was captured well by the sensor V4. The sensor V5 responded earlier due to its proximity to the air injector, and its measurement was slightly larger than the average  $S_r$ . The response of the top sensor V2 was delayed and its readings overestimated the average  $S_r$ . It can be deduced from these findings that soil moisture sensors are expected to provide localized and sufficiently accurate measurements, and the results of the mass-volume method were not far off their readings.

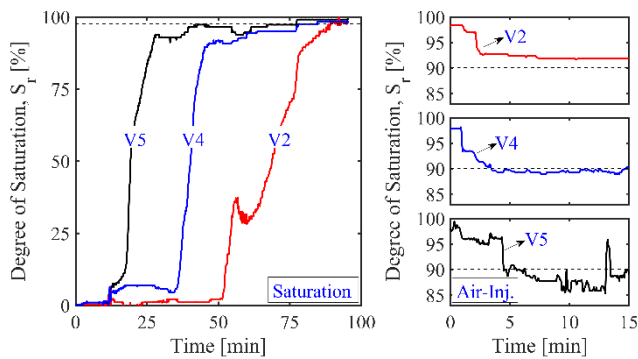


Figure 6. Variation of degree of saturation during saturation and air injection process

### 3.2. Distribution of Gas Bubbles

Two-dimensional digital images were recorded at different stages of the tests. The visual inspections of the sand models were carried out through the transparent window, showing that sand appeared to be brighter at the end of the desaturation process than at the beginning. The brighter parts in the partially saturated sand models correspond to the presence of air or gas bubbles. The digital images were processed in MATLAB using the image subtraction toolbox. This allowed subtracting the two images recorded before and after the air injection process and offering a rough estimate of

the distribution of bubbles across the partially saturated sand models.

Figure 7 displays the distribution of bubbles in the partially saturated sand models involving air injection and chemical treatment. The left-hand two plots are from tests A1 and A4 conducted on Hostun sand with the air injection method. The degrees of saturation of sand models were 94.8 and 90.3%, respectively. The right-hand plots of Figure 7 are for tests C3 and C4 performed on Şile sand with the chemical method. The degrees of saturation of sand models were 85 and 80.5%, respectively. The dark red zones correspond to nearly saturated sand with a small number of bubbles, whereas the light zones (light red or yellow) indicate partially saturated sand with a large number of tiny air or gas bubbles. It can be inferred from the figure that air bubbles were distributed non-uniformly in the sand models prepared with the air injection technique. This may be attributed to the preferential flow pathways where the air tended to flow through the surface along a path of less resistance (indicated by the arrow lines). On the other hand, the distribution of oxygen gas bubbles was comparatively more uniform, and homogeneous partially saturated sand models were achieved in the tests involving chemical treatment. In the comparable condition, this method performed better than the air injection technique, but gas bubbles did not cover the entire sand model in some tests (i.e., TestC3), which can be ascribed to the segregation that occurred during the preparation of models with the sand-chemical mixture.

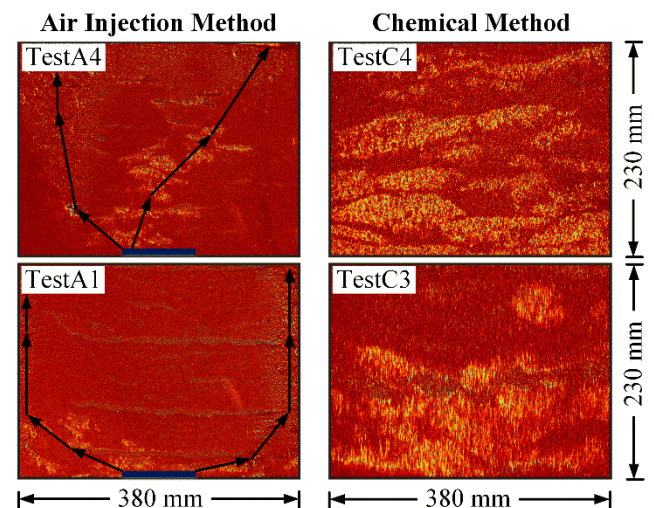


Figure 7. Distribution of air/gas bubbles

Figure 8 shows an example of the time histories of the degree of saturation recorded during the air injection process in TestA1 and TestA4. This data corresponds to the readings of the moisture sensor V5. In TestA4, the moisture sensor appeared to be within a zone where a significant amount of air bubbles was concentrated.

Therefore, the probe of the sensor directly interacted with multiple bubbles, providing a reading lower than the average  $S_r$ . On the other hand, in TestA1 the sensor interacted with less amount of air bubbles and measured a higher saturation ratio than the average method. The comparison of the two tests revealed that the distribution of air bubbles was relatively more uniform in sand models with lower  $S_r$  (TestA4). The results presented herein were in accordance with the published literature (i.e., Yasuhara et al., 2008; Marasini and Okamura, 2015; Zeybek and Madabhushi, 2018).

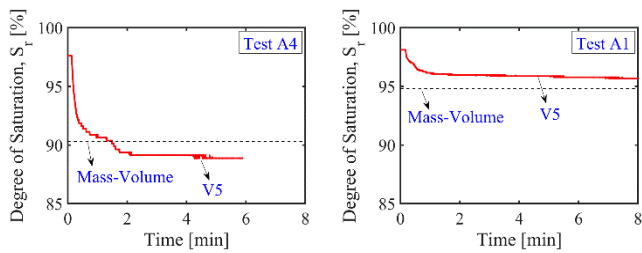


Figure 8. Time histories of the degree of saturation

**3.3. Model Disturbance**

The desaturation process may affect the structure of sand and cause a substantial model disturbance such as piping or boiling. The sand models were monitored in the front window to obtain a visual indication of this phenomenon. Figure 9 presents typical images of sand models recorded before and after the desaturation process. Experimental observations made after 5 minutes of air injection highlighted that although the air was injected in a slow and controlled manner, many fissures occurred across the sand model.

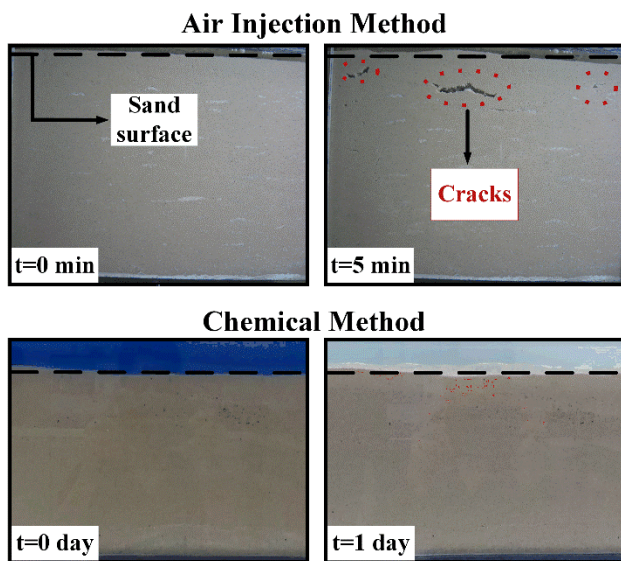


Figure 9. Model disturbance and deformation of the sand structure

Air bubbles caused an uplift of the sand grains at the surface. Moreover, large air-filled cavities and many large cracks were visible in the front window, and they were particularly concentrated at the shallow layers. On the contrary, the reaction of the chemical substance with water in one day led to small fissures. In comparison with the air injector method, the model disturbance was limited during the chemical treatment of the sand model. Zeybek (2022a) suggested that the deformation of sand can be completely prevented by applying a small amount of pressure on the model surface.

**5. Discussions**

Induced partial saturation (IPS) methods offer an economical, and ecological solution to mitigate the effects of earthquake-induced liquefaction. The performance of the two IPS methods was assessed through a series of laboratory tests conducted at 1-g (Earth's gravity). The particular focus of the tests was placed on the distribution of air/gas bubbles and model disturbance, which were observed in the front window of the transparent box. Detailed analysis of the test results suggested that with a maximum allowable air injection pressure, the degree of saturation of sand models was reduced by about 10% only, and a further reduction in  $S_r$  was challenging even with the excessive air pressure. The air bubbles were concentrated in some regions only, which can be attributed to the occurrence of preferential flow pathways. Moreover, an extensive model disturbance was observed particularly at the shallow layers where effective stress was very small. Unlike the 1-g tests presented in the current work, air bubbles were distributed more uniformly in centrifuge models at high-g, and  $S_r$  was successfully reduced to the desired level such as below 80%. (Zeybek and Madabhushi, 2018). It can be inferred from these results that at 1-g air injection method is less successful in preparing partially saturated sand models with uniformly distributed air bubbles and at lower saturation ratios. These issues were however resolved by the chemical method. This type of treatment method allowed controlling and reducing the  $S_r$  to the desired level. The distribution of air bubbles was also found to be comparatively more uniform in this case, and it caused limited model disturbance (only small fissures). Zeybek (2022a) suggested that small fissures can be prevented by applying a small amount of static load on top of sand models.

**6. Conclusions**

From this research, the following conclusions can be drawn.

The extent and magnitude of the desaturation and distribution of air/gas bubbles are important design considerations in IPS methods. The air injection method

can be effectively implemented at high-stress levels (i.e., field or centrifuge tests). However, its efficacy is limited at low-stress levels (i.e., shaking table or small model tests at 1-g). The air bubbles tend to distribute unevenly because of the preferential flow of air. Therefore, the liquefaction resistance is expected to vary across the air-injected sand models.

The reaction of chemical substances (i.e., effluent) with water can produce many tiny oxygen bubbles in liquefiable sand models. The magnitude of the desaturation can be controlled by varying the amount of chemical substance, and comparatively more uniform gas bubble distribution can be obtained even at 1-g. Moreover, the model disturbance can be entirely prevented through simple measures (i.e., applying a small pressure on top).

The test results showed that the chemical method can overcome some of the problems and limitations that the air injection method suffers at 1-g tests. This conclusion is however based on the analysis of digital images and five soil moisture sensors, providing only a relatively rough approximation to the distribution of bubbles. Despite its promising feature, further study (i.e., centrifuge or field tests) is needed to elucidate the performance and effectiveness of the chemical method at high-stress levels. The centrifuge models can be combined with several moisture sensors placed at different locations of the sand models to obtain more qualitative results.

### Acknowledgments

The author (Abdülhakim ZEYBEK) would like to thank Professor Gopal Madabhushi for his useful insights and helpful discussions. The assistance of the technicians at the Civil Engineering Laboratory of Muş Alparslan University is also gratefully acknowledged. The author also acknowledges the financial support of Muş Alparslan University-Scientific Research Coordination Unit under Project Numbers: BAP-20-MMF-4901-01.

### Author Contributions

The author (Abdülhakim ZEYBEK) is responsible for conceptualization, methodology, formal analysis, investigation and discussion of results, writing and reviewing of the manuscript.

### Conflict of Interest

The author (Abdülhakim ZEYBEK) has no conflicts of interest to disclose. This study complies with scientific research and publication ethics and principles.

### References

- Bertalot, D., Brennan, A. J. & Villalobos, F. A. (2013). Influence of bearing pressure on liquefaction-induced settlement of shallow foundations. *Géotechnique*, 63(5), 391-399. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.11.P.040>
- Bhattacharya, S., Hyodo, M., Goda, K., Tazoh, T. & Taylor, C. A. (2011). Liquefaction of soil in the Tokyo Bay area from the 2011 Tohoku (Japan) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(11), 1618-1628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.06.006>
- Bray, J., Sancio, R., Durgunoglu, T., Onalp, A., Youd, T., Stewart, J., Seed, R., Cetin, O., Bol, E., Baturay, M., Christensen, C. & Karadayilar, T. (2004). Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari, Turkey. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(7), 673-685. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:7\(673\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:7(673))
- Choi, S. G., Chang, I., Lee, M., Lee, J. H., Han, J. T. & Kwon, T. H. (2020). Review on geotechnical engineering properties of sands treated by microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) and biopolymers. *Construction and Building Materials*, 246(June), 118415. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118415>
- Cubrinovski, M., Bray, J. D., Taylor, M., Giorgini, S., Bradley, B., Wotherspoon, L. & Zupan, J. (2011). Soil liquefaction effects in the Central Business District during the February 2011 Christchurch Earthquake. *Seismological Research Letters*, 82(6), 893-904. doi: <https://doi.org/10.1785/gssrl.82.6.893>
- DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C. & Nelson, D. C. (2010). Bio-mediated soil improvement. *Ecological Engineering*, 36(2), 197-210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.029>
- Elgamal, A.-W., Zeghal, M., and Parra, E. (1996). Liquefaction of reclaimed island in Kobe, Japan. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(1):39-49. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1996\)122:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:1(39))
- Eseller-Bayat, E. & Gulen, D. B. (2020). Undrained dynamic response of partially saturated sands tested in a DSS-C device. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(11), 04020118. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002361](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002361)
- Eseller-Bayat, E., Yegian, M. K., Alshawabkeh, A. & Gokyer, S. (2013). Liquefaction response of partially saturated sands. I: Experimental results. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(6), 863-871. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002361](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002361)



- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000815](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000815)
- Gallagher, P. M. & Mitchell, J. K. (2002). Influence of colloidal silica grout on liquefaction potential and cyclic undrained behavior of loose sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22(9), 1017-1026. doi: [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00126-4](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00126-4)
- Gallagher, P. M., Pamuk, A. & Abdoun, T. (2007). Stabilization of liquefiable soils using colloidal silica grout. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(1), 33-40. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:1\(33\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:1(33))
- He, J., Chu, J. & Ivanov, V. (2013). Mitigation of liquefaction of saturated sand using biogas. *Géotechnique*, 63(4), 267-275. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.004>
- Heron, C. M. (2013). The dynamic soil structure interaction of shallow foundations on dry sand beds (Doctoral Dissertation), University of Cambridge, Cambridge, UK. Retrieved from <https://doi.org/10.17863/CAM.11754>
- Hu, X., Li, D., Peng, E., Hou, Z., Sheng, Y. & Chou, Y. (2020). Long-term sustainability of biogas bubbles in sand. *Scientific Reports*, 10(1), 12680. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69324-0>
- Marasini, N. P. & Okamura, M. (2015). Air injection to mitigate liquefaction under light structures. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 15(3), 129-140. doi: <https://doi.org/10.1680/jphmg.14.00005>
- Mitchell, J. K., Baxter, C. D. P. & Munson, T. C. (1995). Performance of improved ground during earthquakes. *Soil Improvement for Earthquake Hazard Mitigation, Geotechnical Special Publication*, 49, 1-36. Retrieved from <http://worldcat.org/isbn/0784401233>
- Montoya, B. M., DeJong, J. T. & Boulanger, R. W. (2013). Dynamic response of liquefiable sand improved by microbial-induced calcite precipitation. *Géotechnique*, 63(4), 302-312. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.019>
- Mousavi, S. & Ghayoomi, M. (2021). Liquefaction Mitigation of Sands with Nonplastic Fines via Microbial-Induced Partial Saturation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147(2), 04020156. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002444](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002444)
- Nababan, F. R. P. (2015). Development and evaluation of induced partial saturation (IPS), delivery method and its implementation in large laboratory specimens and in the field (Doctoral Dissertation), Northeastern University, Boston. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2047/D20200382>
- O'Donnell, S. T., Rittmann, B. E. & Kavazanjian, E. (2017). MIDP: Liquefaction mitigation via microbial denitrification as a two-stage process. I: Desaturation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(12), 04017094. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001818)
- Okamura, M. & Soga, Y. (2006). Effects of pore fluid compressibility on liquefaction resistance of partially saturated sand. *Soils and Foundations*, 46(5), 703-708. doi: <https://doi.org/10.3208/sandf.46.695>
- Okamura, M., and Tomida, Y. (2015). Full scale test on cost effective liquefaction countermeasure for highway embankment. In *Proceedings of the 6th International Geotechnical Symposium on Disaster Mitigation in Special Geoenvironmental Conditions*, IIT Madras, Chennai, India (Indian Geotechnical Society, Chennai Chapter, Vol. 1, pp. 208-212).
- Okamura, M., Takebayashi, M., Nishida, K., Fujii, N., Jinguji, M., Imasato, T., Yasuhara, H. & Nakagawa, E. (2011). In-situ desaturation test by air injection and its evaluation through field monitoring and multiphase flow simulation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7), 643-652. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000483](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000483)
- Rajendran, K., Rajendran, C. P., Thakkar, M., & Tuttle, M. P. (2001). The 2001 Kutch (Bhuj) earthquake: Coseismic surface features and their significance. *Current Science*, 80(11), 1397-1405. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24104957>
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Rens, M. O. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E. & Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. In *Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar* (pp. 301-371).
- Yasuhara, H., Kochi, M. & Okamura, M. (2008). Experiments and predictions of soil desaturation by air injection technique and the implications mediated by multiphase flow simulation. *Soils and Foundations*, 48(6), 791-804. doi: <https://doi.org/10.3208/sandf.48.791>
- Yegian, M. K., Eseller-Bayat, E., Alshawabkeh, A. & Ali, S. (2007). Induced partial saturation (IPS) for liquefaction mitigation: Experimental investigation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(4), 372-380. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:4\(372\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:4(372))

- Zamani, A., Xiao, P., Baumer, T. & Carey, T. J. (2021). Mitigation of liquefaction triggering and foundation settlement by MICP treatment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147(10), 04021099. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002596](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002596)
- Zeybek, A. & Madabhushi, S. P. G. (2017a). Centrifuge testing to evaluate the liquefaction response of air-injected partially saturated soils beneath shallow foundations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(1), 339-356. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9968-6>
- Zeybek, A. & Madabhushi, S. P. G. (2017b). Influence of air injection on the liquefaction-induced deformation mechanisms beneath shallow foundations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 266-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.03.018>
- Zeybek, A. & Madabhushi, S. P. G. (2017c). Durability of partial saturation to counteract liquefaction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 170(2), 102-111. doi: <https://doi.org/10.1680/jgrim.16.00025>
- Zeybek, A. & Madabhushi, S. P. G. (2018). Physical modelling of air injection to remediate liquefaction. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 18(2), 68-80. doi: <https://doi.org/10.1680/jphmg.16.00049>
- Zeybek, A. & Madabhushi, S. P. G. (2019). Simplified procedure for prediction of earthquake-induced settlements in partially saturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(11), 04019100. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002173](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002173)
- Zeybek, A. (2017). Air injection technique to mitigate liquefaction beneath shallow foundations (Doctoral Dissertation), University of Cambridge, Cambridge, UK. Retrieved from <https://doi.org/10.17863/CAM.14729>
- Zeybek, A. (2022a). Suggested method of specimen preparation for triaxial tests on partially saturated sand. *Geotechnical Testing Journal*, 45(2). doi: <https://doi.org/10.1520/GTJ20210168>
- Zeybek, A. (2022b). Shaking table tests on seismic performance of shallow foundations resting on partially saturated sands. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(8), 774. doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10032-6>

**DERİN ÖĞRENME TEMELLİ OTOMATİK YARDIM MASASI SİSTEMİ**Metin YILMAZ <sup>1</sup>, Efnan ŞORA GÜNAL <sup>2,\*</sup><sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9478-4114><sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6236-174X>

| Anahtar Kelimeler   | Öz   |
|---|--|
| Derin Öğrenme<br>Doğal Dil İşleme<br>Metin Sınıflandırma<br>Yardım Masası | <i>Yardım masası, bir organizasyonun çalışanlarına veya müşterilerine merkezi bilgi ve destek yönetimi hizmeti sağlayan iletişim noktasıdır. Organizasyonun verimliliği açısından, yardım masasına gelen taleplerin doğru kategorilere ayrılarak, doğru kişilere ve zamanında yönlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, bu çalışma kapsamında, derin öğrenmeye dayalı otomatik bir yardım sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem, talepleri, başlıklarında yer alan cümlelere göre otomatik olarak uygun kategorilere ayırmaktadır. Bu işlem için kelime gömme (ing. word embedding) yöntemi kullanılmıştır. Metin ön işleme adımlarından sonra, gömme, düzleştirme (ing. flatten) ve yoğun (ing. dense) oluşan üç katmanda öğrenme gerçekleştirilerek, yardım masası taleplerinin ait olduğu kategori belirlenmektedir. Bu amaçla, kurumsal bir şirkete ait BT yardım masası talepleri kullanılmıştır. Dokuz farklı kategoride toplam 28.104 talepten oluşan veri kümesi, %60 eğitim, %20 doğrulama ve %20 test kümesine ayrılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %98'e ulaşan sınıflandırma doğruluğu, önerilen modelin otomatik bir yardım masası sistemi için iyi bir aday olduğunu ortaya koymuştur.</i> |

**AUTOMATED HELP DESK SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING**

| Keywords   | Abstract   |
|--|--|
| Deep Learning<br>Natural Language Processing<br>Text Classification<br>Help Desk | <i>A help desk is an organization's point of contact that provides a centralized information and support management service to its employees or customers. For the efficiency of the organization, it is of great importance that the queries coming to the help desk are grouped into the correct categories and directed to the right people on time. Therefore, in this study, an automatic help desk system based on deep learning is proposed. The proposed system automatically categorizes queries according to the sentences in their titles. Word embedding method was used for this process. After the text preprocessing steps, learning is performed in three layers (embedding, flatten, and dense) and the category to which the help desk queries belong is determined. For this purpose, IT help desk queries belonging to a corporate company were used. The dataset, consisting of a total of 28.104 requests in nine different categories, is divided into 60% training, 20% validation, and 20% test set. As a result of the experiments, the classification accuracy reaching 98% revealed that the proposed model is a good candidate for an automated help desk system.</i> |

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Araştırma Makalesi          | Research Article             |
| Başvuru Tarihi : 19.12.2021 | Submission Date : 19.12.2021 |
| Kabul Tarihi : 22.06.2022   | Accepted Date : 22.06.2022   |

\* Sorumlu yazar; e-posta: esora@ogu.edu.tr

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Günümüzde, iç ve dış birimlere hizmet veren kurumlar bünyesinde, yardım masası uygulamaları üzerinden gelen talepleri değerlendirmek ve ilgili birimlere aktarmak, sorunların hızlı giderilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle, bilişim teknolojileri gibi farklı alanlara hizmet veren birimlerde, taleplerin hızlı çözülerek zaman kaybını en aza indirmek gerekmektedir. Gelen talebin doğru kategoriye ayrılarak, doğru kişiye zamanında yönlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu işlem genel olarak, talepleri okuyarak ilgili birime yönlendiren birinci seviye destek hizmetinden sorumlu bir personel tarafından veya metin içeriğini analiz edebilen yönlendirme yazılım uygulaması ile gerçekleştirilir.

Yardım masası uygulamasının atama işlemini otomatik olarak yapabilmesi için, talebi açan kullanıcının talep şablonunu doğru belirleyerek, ilgili tüm alanları doldurması gerekmektedir. Ancak, talep açan kullanıcıların bu konuda ihmalkâr davrandığı ya da talebinin tam olarak hangi şablona ait olduğunu bilmediği durumlar çıkabilmektedir. Bu sebeple, giriş yapan kişinin, en yakın gördüğü bir şablondan talebi açarak, ilgili alanları da boş bıraktığı ya da doldurulması zorunlu alanları rastgele karakterler ile doldurduğu görülmektedir. Talepleri kategorize etmek için, bir personel görevlendirme konusunda ise; eğer görevli kişi destek personeli ise ve tüm birinci seviye destekten o kişi sorumlu ise problem yaşanmamaktadır. Bu şekilde, küçük ölçekli işletmelerde sorunun üstesinden gelinebilmektedir. Ancak, çok farklı alanlara hizmet verilen daha büyük işletmelerde, görevli personel kendi alanı dışında bir taleple karşılaştığında, talebin kategorisini belirlemede güçlük çektiğinde problemin çözümünde zaman kaybı yaşanmaktadır. Bu durum, aynı zamanda, işyeri verimliliğinin ve iç müşteri memnuniyetinin de azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, yardım masası taleplerinin sınıflandırılmasının makine öğrenmesi destekli metin analizi yöntemleri ile yapılması, insan kaynaklı sorunlara da çözüm getirecektir. Bu çalışma kapsamında, yukarıda ifade edilen soruna bir çözüm sunmak için, hiçbir alan doldurulmasa dahi, sadece başlık metni kullanılarak, kurum bünyesinde önceden açılmış taleplerin türleri ile eğitilmiş model kullanılarak, kategorilere ayırma hedeflenmiştir. Bu işlem için, derin öğrenme teknikleri kullanılarak metin sınıflama gerçekleştirilmiştir.

Metin sınıflandırmanın temel amacı, verilen metni denetimli öğrenme algoritmaları kullanarak önceden tanımlanmış kategoriler halinde sınıflandırmaktır. Son yıllarda, makine öğrenmesinin bir yan kolu olarak sıklıkla kullanılmaya başlayan derin öğrenme algoritmaları, bir veri setinden alınan örnekler kullanılarak, metinler ve kategoriler arasında ilişkiyi belirtmek için eğitilebilir. Eğitilen model yardımıyla, verilen metnin kategorisi tahmin edilebilir. Bir metin sınıflandırma görevi, belgelerin ayrıştırılması,

belirteçlere ayırma, kök oluşturma, durak kelimelerin kaldırılması, metin terim matrisinin temsil edilmesi, öznitelik seçimiyle birlikte, eğitim ve test yoluyla, en iyi sınıflandırıcı modellerinin seçilmesinden oluşur (Borko ve Bernick, 1963).

Son zamanlarda, metin sınıflandırma (kategorizasyon), farklı dijital platformlarda bulunan çok sayıda belge ve metin nedeniyle birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Kilimci ve Akyokus (2018), çalışmalarında, kelime yerleştirmeleri ve metin sınıflandırması için temel sınıflandırıcılar topluluğu yararına farklı belge gösterimleri kullanmıştır. Sekiz farklı veri kümesinde, üç farklı belge gösterimi yöntemi kullanarak, beş heterojen temel öğrenme ve iki entegrasyon yönteminden oluşan bir topluluğun performansını değerlendirilmiştir. Sınıflandırıcıların tekli kullanımda ortalama sınıflandırma doğruluk sırası şu şekilde bulunmuştur: random forest (RF) > convolutional neural network (CNN) > multinomial naïve Bayes (MNB) > support vector machine (SVM) > multivariate Bernoulli naïve Bayes (MVNB). CNN'in temel öğrenme setine dahil edilmesiyle, Türkçe Hürriyet ve AHaber veri kümeleri için sırasıyla %89,55 ve %92,70 ile daha iyi doğruluk oranları elde edilmektedir. Kowsari ve diğ. (2017) çalışmalarında, belge sınıflaması problemini, mevcut belge sınıflandırma yöntemlerinden farklı bir şekilde ele alınmıştır. Metin sınıflandırmada, Hiyerarşik Derin Öğrenme (ing. Hierarchical Deep Learning for Text classification - HDLTex) adında bir yaklaşım kullanarak hiyerarşik sınıflandırma gerçekleştirilmektedir. HDLTex, belge hiyerarşisinin her seviyesinde derin öğrenme mimarileri yığınları kullanır. Bu yaklaşım, geleneksel belge sınıflandırma yöntemlerine göre gelişmiş doğruluk sergilemektedir.

Metin sınıflandırmada, son yıllarda sıklıkla kullanılan, etkili yöntemlerden biri olan kelime gömme ise, anlamsal olarak benzer olan kelimelerin, birbirine daha yakın vektörler halinde temsil edilmesidir (Jurafsky ve Martin, 2000). (Li, Hu, Cui ve Hu, 2018), patent sınıflandırma problemini çözmeye, evrimsel sinir ağları (ing. Convolutional Neural Networks - CNN) otomatik hiyerarşik öznitelik çıkarımı ile derin sinir ağlarının güçlü modelleme gücünden yararlanarak, kelime vektör gömmeye dayalı DeepPatent algoritması kullanılmıştır. İlk olarak, sözcük belirteçlerini etkili bir şekilde öznitelik vektörlerine dönüştürür. Daha sonra, sözcük düzeyi vektörleri metin düzeyi yoğun matrisini oluşturmak için birleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, özet bölümün patent sınıflandırmasında, anahtar bilgilere sahip olduğu sonucu elde edilmiş olup, özet bölümüne ilave olarak başlık bölümünün birlikte kullanımı ile daha yüksek başarımlar elde edilebileceği doğrulanmıştır. ALRashdi ve O'Keefe (2019), çalışmalarında farklı sinir ağı mimarileri ve farklı genel amaçlı kelime yerleştirmeleri kullanmıştır. Tweet sınıflandırma modellerinin performansını iyileştirme yeteneklerini araştırmak için, farklı sinir ağlarının genel amaçlı ve

alana özgü kelime düğümleriyle birlikte uygulanması incelenmiştir. Çalışmada kullanılan CrisisNLP veri setinde, dört tweet sınıflandırma modelini değerlendirip, karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, GloVe gibi genel amaçlı kelime gömme tekniği, özellikle çift yönlü uzun ömürlü kısa-dönem belleği (ing. Bidirectional Long Short-Term Memory - Bi-LSTM) ile, sonuçların %62,04 F1-skoru ile en yüksek performansı bildirdiği alana özgü kelime gömme yerine kullanılabilirliğini göstermiştir.

GloVe yönteminin yanı sıra, günümüzde Mikolov, Chen, Corrado ve Dean (2013) tarafından önerilen Word2Vec, en popüler kelime gömme tekniğidir. Kocmi ve Bojar (2017), çalışmasında, derin ağlarda kullanılan kelime gömmeler için çeşitli rastgele ve önceden eğitilmiş ağlarla, bunların hem tekrarlayan hem de evrimsel mimarilerle dört doğal dil işleme (DDİ) görevi üzerindeki performans etkilerini incelemişlerdir. Önceden eğitilmiş kelime gömmelerin, özellikle öğrenme hızı göz önüne alındığında, rastgele başlatmadan biraz daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir. Büyük bir veri üzerinde eğitilen "Word2Vec" kelime gömme, vektör uzayındaki sözcüksel ilişkiler ve aritmetik işlemler arasında uyuma göstermektedir. Zhang ve diğ. (2018), çalışmalarında, bibliyometrik verilerden konuları etkili bir şekilde ayıklayan bir çözüm oluşturmak için, bir kelime gömme modeliyle bir araya gelen yeni bir çekirdek K-means kümeleme yöntemi önermektedir. Bu yöntemin iki bibliyometrik veri kümesindeki dört kümeleme taban çizgisi (örneğin, k-means, bulanık c-means, ana bileşen analizi ve konu modelleri) ile karşılaştırılmasının deneysel sonuçları, nispeten geniş bir disiplin yelpazesinde veya belirli bir etki alanında etkinliğini göstermektedir. Yapılandırılmamış metin verilerinden, konuları etkili bir şekilde ayıklamada bir çözüm oluşturmak için, kelime gömmelerini içeren bir çekirdek k-means kümeleme metodolojisi önerilmektedir. Word2Vec yöntemini derin öğrenmenin temsili bir tekniği olarak kullanılmıştır. Word2Vec yönteminin hesaplama verimliliğini artırmak için sinir ağlarının kullanımını basitleştirmeye çalışmıştır.

Metin sınıflandırmanın kullanıldığı bir başka çalışmada ise, bir kuruma ait sahadaki anomali içeren arıza ya da sel gibi olağanüstü durumlarda, gelen metin verilerinin içerikleri hızlı bir şekilde analiz edilerek, doğru çözüm üretebilen kararlar alınması sağlanmıştır. Bu ortamda, gelen alarmlar gerçekten oluşmadan önce doğru bir şekilde tahmin edilebilirse, operatörler zamanında düzeltici eylemlerde bulunan anormal davranışları ele alma ve muhtemelen kaçınma şansına sahip olabilir. Cai, Palazoglu, Zhang ve Hu (2019), çalışmalarında, doğal dil işlemede derin öğrenme uzun ömürlü kısa-dönem belleği (ing. Long Short-Term Memory - LSTM) uygulamasından esinlenilerek, bir süreç ayarındaki bir sonraki uyarı tahmin etmede, kelime gömme ve tekrarlayan sinir ağlarına dayalı bir uyarı tahmin

yöntemi sunmaktadır. Bu, hem alarm yönetimine yeni bir yaklaşımı hem de bu soruna doğal dil işleme ve derin öğrenme tekniklerinin yeni bir uygulamasını temsil eder. Metin madenciliği, biyomedikal araştırmalar için de önemli bir araç haline gelmiştir. En temel metin madenciliği görevi, genler, kimyasallar ve hastalıklar gibi biyomedikal adlandırılmış varlıkların Varlık İsmi Tanıma (ing. Named Entity Recognition - NER) tanınmasıdır. Geçerli NER yöntemleri, varlık türlerinin belirli yüzey özelliklerini, tipik yerel bağlamın özelliklerini, arka plan bilgisini ve dil bilgilerini yakalamaya çalışan önceden tanımlanmış özelliklere dayanır. Habibi, Weber, Neves, Wiegandt ve Leser (2017), çalışmasında, derin öğrenme ve istatistiksel kelime gömmelere dayanan tamamen genel bir yöntemin (ing. long short-term memory network-conditional random field, LSTM-CRF) son teknoloji varlığa özgü NER araçlarından ve genellikle büyük bir farkla daha iyi performans göstermektedir. Bu amaçla, LSTM-CRF yönteminin beş farklı varlık sınıfını kapsayan 33 adet veri kümesindeki performansını, sınıfının en iyisi NER araçları CRF uygulamasıyla karşılaştırmışlardır.

Duygu sınıflandırma teknikleri, kullanıcı görüşlerini analiz etmek için, yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel denetimli öğrenme yöntemlerinde, alanın tam olarak anlaşılmasını gerektiren özniteliklere ihtiyaç vardır. Sosyal medya paylaşımları genellikle çok kısa olduğundan, etkili sınıflandırma için öznitelik eksikliği vardır. Böylece, kelime gömme modelleri, çeşitli bağlamlarda farklı kelimeleri öğrenmek için kullanılabilir. Kısa metinlerden duygu kutupluluğunu (ing. sentiment polarity) tespit etmede, derin öğrenme yöntemlerini kullanarak kelimelerin daha derin anlam bilimlerini keşfetmek gerekir. Wang, Liu, Luo ve Wang (2018), çalışmasında, sosyal medyada duygu sınıflandırması için kelime gömme ve LSTM etkilerini araştırmaktadır. İlk olarak, yazılardaki kelimeler, kelime gömme modelleri kullanılarak vektörlere dönüştürülür. Daha sonra, cümleler arasındaki uzun mesafeli bağlamsal bağımlılığı öğrenmek için, cümlelerdeki kelime dizisi LSTM modeline verilir. Deneysel sonuçlar, derin öğrenme yöntemlerinin yeterli eğitim verisi verildiğinde, sosyal medya bağlamında kelime kullanımını etkili bir şekilde öğrenebileceğini göstermiştir. İlk olarak, kısa metinlerdeki kelimeleri vektör olarak temsil etmek için Word2Vec tabanlı bir kelime gömme modeli kullanılır. İkincisi, LSTM, kısa metinlerdeki kelime dizisi arasındaki uzun mesafeli bağımlılığı öğrenmek için kullanılır. Son zaman noktasından elde edilen nihai çıktı, tahmin sonucu olarak kullanılır. Birkaç sosyal veri kümesinde duygu sınıflandırması deneylerinde, LSTM yönteminin performansını naive Bayes (NB) ve Extreme Learning Machine (ELM) ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarına bakıldığında, önerilen yöntem geleneksel olasılık modeline ve daha fazla eğitim verisine sahip sinir ağlarına göre daha iyi performans sağlayabilir.

Semberecki ve Maciejewski (2017), çalışmasında, LSTM birimleri ile derin sinir ağı kullanarak metin belgelerini sınıflandırma yöntemini sunar. Sınıflandırılacak belgeleri temsil eden öznitelik vektörleri oluşturmada farklı yaklaşımlar test edilip; Word2Vec aracını kullanarak sözcükleri vektör gösterimlerine ve bu vektör gösterimlerinin dizilerini belgelerin öznitelikleri olarak kullanılmıştır. Öznitelik vektörü belgeleri temsil etmek ve sınıflandırıcıları eğitmek için kavramsal olarak farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Temel fark, sözcüklerin frekanslarına dayanan öznitelik vektörlerini kullanmak yerine, belgelerdeki sözcük dizilerine dayanan öznitelik vektörleri kullanmaktır. Bunun bir sonucu olarak, kullanılan sınıflandırıcı türünü de değiştirmek gerekir: LSTM ağını eğitmek için sözcük dizilerini temsil etmenin iki farklı yolu, kelimelerin basit kodlamasıyla ve vektör uzayındaki kelimeleri temsil eden Word2Vec yöntemi kullanılmaktadır. Teknik olarak, sınıflandırmaya sunulan yaklaşımda, GPU üzerinde eğitilen modellerle derin sinir ağları için Tensorflow kütüphanesine sahip Keras kullanılmıştır. Keras, modelin oluşturduğu katmanları tanımlayan sinir ağları katmanlarını sadece birkaç kod satırında oluşturma yeteneği veren Tensorflow'a ait bir kütüphanedir.

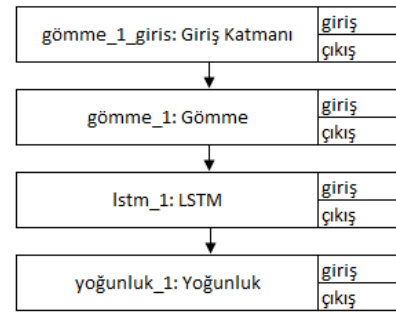
Güncel literatürden bir başka örnekte, Ibrahim, Khan, Mehmood, Asim ve Mahmood (2021), Yinelemeli sinir ağı (ing. Recurrent Neural Network - RNN), LSTM ve Kapı Özyinelemeli Geçitler (ing. Gated Recurrent Unit - GRU) ile 3 farklı şekilde eğitilmiş sinir ağları kullanarak, klinik veri seti üzerinde metin sınıflandırma yapan GHS-NET uygulaması geliştirmiştir. Bir diğer çalışmada, Liang ve Yi (2021a) üç yönlü kararlar (ing. three-way decisions - 3WD) ile politik metin sınıflaması yapmıştır. Bu yöntemde, sınıflandırma için 3WD-AdaCNN-SVM (3WD-AdaCNN modeli 3WD ve CNN modelini taban almaktadır) modelinin kombinasyonu kullanılmıştır. Liang ve diğ. (2021b) ise Uzamsal Görüş Dikkati Evrimsel Sinir Ağı (ing. Spatial View Attention Convolutional Neural Network SVA-CNN) yöntemini kullanmıştır. Araştırmacılar, bu modeli kullanarak belge sınıflandırması, duygu sınıflandırması ve tematik sınıflandırma dahil olmak üzere üç sınıflandırma görevi için beş veri kümesi (AG News Corpus (NEWS-4), Hate Speech (HATE-3), Amazon Review (AMZ-5), Movie Review (IMDB-2), Emotion Text (TWT-13)) üzerinde deney yapmıştır.

Çalışmamızda ise kelime gömme yöntemi tabanlı, yardım masasından alınan talep başlıklarının sınıflandırılmasında, son yıllarda literatürde sıklıkla tercih edilen kelime gömme tekniği temelli model eğitimi kullanılarak, talepler kategorilere ayrılmıştır. Kurumsal bir şirketin 2019-2020 yıllarına ait yardım masası verileri kullanılarak, taleplerin kategorilere ayrılmasında %89,22 F1-skor değerinde başarımlar sağlanmıştır. Veri setinin daha az sayıda kategori şeklinde ele alınmasıyla yapılan deneysel çalışmalarda ise %91,31 ve %93,42 F1-skor değerlerine ulaşılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki bölümü olan yöntem başlığı altında, algoritmanın sunumu ve kullanılan tekniklerin açıklaması yer alırken, deneysel çalışma başlığı altında, oluşturulan veri seti hakkında bilgi verilerek, eğitim ve test sonucu elde edilen tahmin sonuçları karşılaştırmalı tablolar ile sunulmuştur. Tartışma bölümünde ise önerilen yöntemin sonuçları değerlendirilmiştir.

## 2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, ele alınan yardım masası talep içeriklerinin sınıflandırılması, derin öğrenme temelli standart bir LSTM ağı, kelime gömme yöntemi ile metin sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır. Şekil 1'de LSTM model mimarisi görünmektedir. Metin vektör dönüşümü için word2vec yaklaşımı kullanılmıştır. Metin analizi işlemleri için, Python dilinde Doğal Dil İşleme (DDİ, ing-Natural Language Processing, NLP) kütüphaneleri (Loper ve Bird, 2002) kullanılmıştır. Çalışmamızda, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Şekil 1. LSTM model mimarisi

### 2.1. Veri Seti Hazırlama

Yöntemde kullanılan Türkçe dilindeki veri seti, bir işyerine ait bilişim teknolojileri biriminin kendisine gelen talepleri almak için kullandığı yardım masası uygulaması verileridir. 2019 ve 2020 yılına ait veriler 9 kategoride, 28.104 adet talepten oluşmaktadır. Talepler başlıklar üzerinden değerlendirilmiş, cümleler ve kategorileri kontrol edilerek düzenlenmiştir. Veri setindeki kategori dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Yardım masasından alınan metin verileri, manuel incelenerek, kategorileri doğrulanmıştır. Gereksiz ve hatalı açılan talepler veri setinden çıkarılmıştır. Taleplerin kategorilerinin etiketlenmesi esnasında, kontrol edilerek, içeriği net olmayan metinler iptal edilmiştir. Böylece, modelin eğitiminde kullanılacak temiz bir veri seti oluşturulmuştur. Hazırlanan veri setinden alınan veriler, %60 eğitim, %20 doğrulama ve %20 test olmak üzere bölümlenmiştir.

Tablo 1

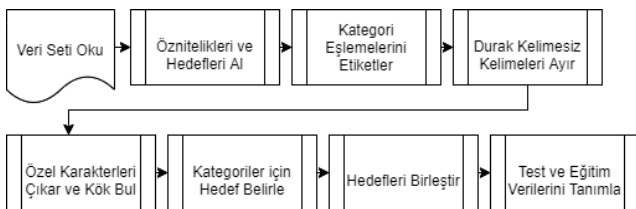
## Talep kategori dağılımı

| Kategori             | Talep Sayısı |
|----------------------|--------------|
| Donanım              | 5.037        |
| E-posta              | 2.505        |
| Kullanıcı İşlemleri  | 4.432        |
| Kurumsal Uygulamalar | 1.827        |
| SAP                  | 2.317        |
| Sunucu               | 1.077        |
| Veri İşlemleri       | 3.067        |
| Yazıcı               | 1.104        |
| Yazılım              | 6.738        |

## 2.2. Ön İşlem Aşamaları

Sınıflandırma öncesinde, ön işleme aşamalarında kullanılan durak sözcük çıkarma ve kök bulma için, bir Python kütüphanesi olan Natural Language Toolkit (NLTK) kullanılmıştır. NLTK, insan dili verileriyle çalışmak için Python programlama dili ile geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan 50'nin üzerinde derlem (ing. corpus) ve sözcük kaynağı (ing. lexical resources) ile oluşturulmuş açık kaynaklı bir kütüphanedir (Loper ve Bird, 2002).

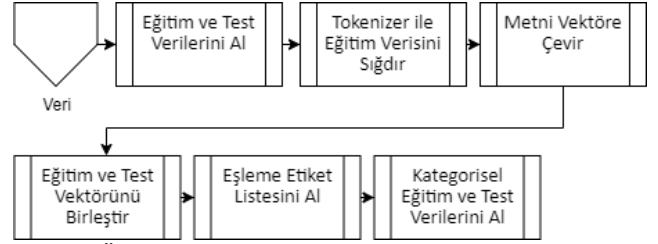
Bu kütüphanede, ön işleme, makine öğrenmesi algoritmaları, Twitter API ile işlemlerinin yapılabildiği modüller mevcuttur. Örnek olarak; bir cümledeki kelimeleri ayırma (ing. tokenization), kelimenin kökünü bulma (ing. stemming) işlemleridir (Loper ve Bird, 2002). Şekil 2'de ön işlem aşamaları görülmektedir.



Şekil 2. Ön işlem aşamaları

## 2.3. Metinden Öznitelik Çıkarılması

Öznitelik oluşturma adımı ise; ön işlemden geçirilmiş olan, eğitim ve test verileri alınır. Girdi verilerinin tamsayı olarak kodlanmasını gerektirir, böylece her kelime benzersiz bir tamsayı ile temsil edilir. Bu adım, Keras ile birlikte sağlanan Tokenizer API kullanılarak gerçekleştirilir. Test ve eğitim verilerindeki metinleri dizi (ing. Sequence) vektörüne çevrilir. Bu dizi vektörleri diziye çevrilir. Oluşan vektör dizisi kategori etiketleri ile eşleşerek kategorilendirilmiş vektörler eğitim ve test verisi için hazır hale gelir. Şekil 3'te öznitelik çıkarımı aşamaları görülmektedir.



Şekil 3. Öznitelik çıkarımı aşamaları

## 2.4. Sınıflandırma

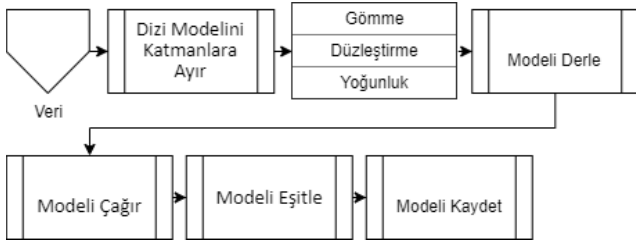
Bu çalışmada derin öğrenme temelli, Keras Embedding Layer kullanılarak eğitilen kategori belirlemek için metin sınıflama kullanılmıştır. Keras Embedding Layer temelde üç katmandan oluşmaktadır:

- Gömme
- Düzleştirme
- Yoğun

Keras, metin verilerindeki sinir ağları için kullanılacak bir gömme katmanı sunar (Keras, 2021). Girdi verilerinin tamsayı olarak kodlanmasını gerektirir, böylece her kelime benzersiz bir tamsayı ile temsil edilir. Gömme katmanı rastgele ağırlıklarla başlatılarak, eğitim, veri setindeki tüm kelimeler için bir yerleştirme öğrenir. Gömmenin modelin kendisiyle birlikte öğrenildiği bir derin öğrenme modelinin parçası olarak kullanılabilir. Bir tür aktarım öğrenme türü olan önceden eğitilmiş bir kelime gömme modelini yüklemek için kullanılabilir. Gömme katmanı, bir ağırlık katmanı olarak tanımlanır. 3 bağımsız değişken belirtmelidir (Brownlee, 2017):

- input\_dim: metin verisindeki kelime dağarcığının boyutudur. Örneğin, veri 0-10 arasındaki değerlere kodlanmış tamsayı ise, kelime haznesinin boyutu 11 kelime olacaktır.
- output\_dim: kelimelerin gömüleceği vektör uzayının boyutudur. Her kelime için bu katmandan çıktı vektörlerinin boyutunu tanımlar. Örneğin, 32 veya 100 veya daha büyük olabilir.
- input\_length: bir Keras modelinin herhangi bir girdi katmanı için tanımlanabileceği gibi, girdi dizilerinin uzunluğudur. Örneğin, tüm girdi metinleri 1.000 kelimeden oluşuyorsa, input length 1.000 olur.

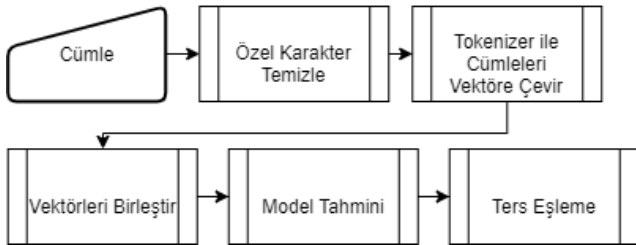
Metin sınıflandırma için Kelime Gömme yöntemi test edilmiştir. Üç katmanlı bir yapı ile kelime gömme işlemi gerçekleştiren Tensorflow Keras Layer kütüphanesi (REF) kullanılmıştır. Eğitim modeli olarak "Sequential Model" kullanılmıştır. Sequential Model (Sıralı model), her katmanın tam olarak bir giriş vektörüne ve bir çıkış vektörüne sahip olduğu düz bir katman yığını için uygundur. Son olarak test verileri ilgili kategorilere tahmin edilmesi denemiştir. Modelin eğitim aşamaları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Model eğitim aşamaları

Sınıflandırma için, öncelikle Sequential model katmanlarına ayrılır. Kelime gömme için kullanılan katmanlar; Embedding katmanı, öğrenilen ağırlıklara sahiptir. Modeli kaydedilirken buna Embedding katmanı ağırlıkları da dahil edilecektir. Embedding katmanı çıktısı, sözcüklerin giriş sırasındaki her sözcük için bir gömme içeren bir 2B vektördür. Flatten katmanı kullanarak 2B çıktı matrisi 1B vektörüne düzeltilir. Böylece Dense katmanı doğrudan Embedding katmanına bağlanır. Gömme işlemi sonrasında model derlenip, eğitime sağlanır. Eğitim sonunda belirtilen adrese model dosyası kaydedilmiş olur.

Eğitilmiş model tahmine hazır hale gelmiştir. Seçilen test verileri tahmin için yönlendirilerek çalışmaya başlanır. Belirlenen vektörler model kullanılarak tahmin edilmesi sağlanır. Tahmin sonucunda bulunan değer ters eşleme ile hangi kategoriye ait olduğu belirlenmiş olur. Tahmin aşamaları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Tahmin aşamaları

## 2.5. Başarım Metrikleri

Çalışmanın TP (doğru pozitif, ing. True Positive), FP (yanlış pozitif, ing. False Positive), TN (doğru negatif, ing. True Negative), FN (yanlış negatif, ing. False Negative) değerinden yola çıkılarak kesinlik, hassasiyet, F-Skor ve doğruluk hesaplamaları yapılmaktadır.

### 2.5.1 Kesinlik ve Hassasiyet (ing. Precision & Recall)

Kesinlik, bir ölçme aletinin aynı fiziksel boyuta ait tekrarlanan çeşitli ölçümlerde aynı değeri verebilme ölçüsüdür (Powers, 2020). Yapılan çalışmada doğru kategoride bulunan sonuçların yüzde kaçının gerçekten de doğru kategoride olduğudur. Eşitlik (1)'de Kesinlik formülü görünmektedir. Hassasiyet, yapılan bir ölçümde getirilen doğru bilginin, yapılan çeşitli

ölçümlerle getirilmesi gereken doğru sonuçlara oranını ölçmektedir (Powers, 2020). Yani; yapılan çalışmada doğru kategoride bulunan sonuçların yüzde kaçının pozitif doğru olduğudur. Eşitlik (2)'de Hassasiyet formülü görünmektedir.

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Hassasiyet = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

Bu denklemlerde görünen ifadeler, donanım ve diğer kategoriler olarak ele alınan bir modelin başarımını ölçmede;

TP: Gerçekte "donanım" kategorisinde olup, "donanım" olarak tahmin edilen;

FP: Gerçekte "donanım" kategorisinde olmayıp, "donanım" olarak tahmin edilen;

FN: Gerçekte "donanım" kategorisinde olup, "donanım" olarak tahmin edilmeyen;

TN: Gerçekte "donanım" dışındaki kategori/kategorilerde olup, "donanım" dışındaki kategori/kategorilerde tahmin edilmesidir.

### 2.5.2 F-Skoru (ing. F-Score)

F-Skoru, hassasiyet ve kesinlik değerlerinin harmonik ortalamasıdır. Eşitlik (3)'te F-Skoru formülü ve çalışmanın F-skoru görünmektedir (Powers, 2020).

$$F - Skoru = 2 \times \frac{Kesinlik \times Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet} \quad (3)$$

### 2.5.3 Doğruluk (ing. Accuracy)

Doğruluk değeri, Eşitlik (4)'te görünen, doğru tahmin edilen kategorilerin toplam veri kümesine oranıdır (Powers, 2020).

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

Kullanılan deneyde birden fazla kategori olması durumunda; TP, TN, FP ve FN sonuçları farklılaşır ve yorumlamak zorlaşır. Bu sebeple karışıklık matrisini (ing. confusion matrix) yorumlamak için her bir kategori değeri ayrı hesaplanarak ortalamalarının alınması gerekmektedir. Örneğin Tablo 2'de görüldüğü gibi Donanım kategorisini tek başına ele alıp, donanım ve diğer kategoriler olarak işlem yapılmaktadır.



Tablo 2

Donanım karışıklık matrisi

|                           |         | Gerçek Kategoriler |       |
|---------------------------|---------|--------------------|-------|
|                           |         | Donanım            | Diğer |
| Tahmin Edilen Kategoriler | Donanım | 208                | 50    |
|                           | Diğer   | 157                | 32    |

### 3. Deneysel Çalışma

Python 3.8 kullanılarak Spyder IDE'si ile geliştirme ortamında, veri seti üzerinde, ön işleme ve model eğitim adımları gerçekleştirilmiştir.

Uygulama, 9 kategoriye sahip veri seti için, eğitim ve tahmin olmak üzere ayrılmıştır. Eğitim bölümünde model eğitimi gerçekleştirilmiştir. 28.104 adet veri, %60 eğitim, %20 doğrulama ve %20 test kümesi olarak ayrılarak, ön işleme adımlarında, kök bulma ve durak kelimelerin atılması sağlanmıştır. Elde edilen veriler dizi vektörüne dönüştürülür. Burada, word2vec vektör uzayının boyutsallığı 100'e eşit olan eğitim kümesinden hesaplanmıştır. Gömme Katmanı için LSTM ağı değerleri Tablo 3'te verildiği şekilde belirlenmiştir.

Tablo 3

Çok terimli sınıflandırma için vektörleştirici ile kullanılan LSTM ağı

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| input_dim:    | MAX_WORDS(28.104)        |
| output_dim:   | OUTPUT_DIM(50)           |
| input_length: | MAX_SEQUENCE_LENGTH(100) |

Model üç katmandan oluşmaktadır. Sonuçlar Tensorflow paketi ile Keras framework kullanılarak elde edilmiştir. Tüm deneyler 16GB RAM ile NVIDIA GeForce GTX 1650 Ti GPU üzerinde yapılmıştır. Eğitimde kullanılan maksimum dönem sayısı (ing. epochs) 5 ve parti boyutu (ing. batch\_size) 200'dir. İkili sınıflandırma için ikili çapraz entropi (ing. Crosstentropy) ve bir kayıp (ing. loss) fonksiyonu olarak çok terimli seyrek kategorisel çapraz entropi (ing. categorial crossentropy) ve optimize edici, varsayılan parametrelere sahip Adam fonksiyonu kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak geleneksel olarak kullanılan softmax tercih edilmiştir.

Veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, farklı kategori ayrımları gerçekleştirilerek, üç farklı yapıda ele alınmıştır. Böylece, kategoriye bağlı başarımların analizi de sağlanmıştır. Dördüncü deneyde ise, modelin eğitiminde başarımların epoch sayısına bağlılığı incelenmiştir.

### 3.1. Deney 1: Genel Çalışma Sonuçları

Dokuz kategoriden oluşan veri seti, Keras Gömme katmanı kullanılarak eğitilmiş olup, derin öğrenme tabanlı bir kategori sınıflandırma deneyi yapılmıştır. Elde edilen tahminlerin kategori bazlı dağılımına göre hesaplanan Karışıklık Matrisi Tablo 4'te, Başarımlar Metrikleri ise Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 4'te algoritmanın doğru ve hatalı sınıflandırma sonuçlarının kategorilere göre dağılımı gösterilmektedir. Bu matristen yola çıkılarak, donanım ve kullanıcı kategorilerinin birbirlerine fazlasıyla karıştığı gözlenmekte olup, birbirinin yerine karar verildiği gözlemlenmektedir.

Veriler incelendiğinde, taleplerin kullanıcı yetkilendirmelerinin ve donanım isteklerinin benzer ifadelerle anlatıldığı ya da kullanıcı yetkilendirme talebi olan birinin donanım ihtiyacı varmış gibi belirttiği ve donanım ihtiyacı olan birinin ise kullanıcı yetkilendirme gibi ifadeler kullandığı görülmektedir.

Problem dokuz sınıflı olarak ele alındığında %97,60'lık genel doğruluk oranına ulaşılırken, hassasiyet ve kesinlik oranları %89,22 olarak elde edilmektedir. F-skor değeri ise %89,22'dir.

Tablo 5'teki başarımların metriklerinden görüleceği üzere, elde edilen sınıflandırma modeli ile %89,22'lik genel F1-skoru elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde %94,95 başarımlar ile "E-Posta" kategorisindeki tahminler en yüksek değeri elde etmiştir. Bunun sebebi olarak "E-Posta" kategorisinde açılan taleplerin, daha anlaşılır ve tek bir konuya hizmet edecek şekilde ifade edildiği görülmektedir. Yaklaşık %83'lük oranla, diğer kategorilere oranla daha düşük başarımlara sahip "Yazıcı" kategorisindeki talepler incelendiğinde ise, bu alandaki ifadelerin çok farklı bir biçimde yazıldığı, kullanıcıların yazıcı sorunlarını aktarma biçimlerinin çok farklı olduğu gözlemlenmektedir. En düşük başarımlara sahip "Sunucu" kategorisinin ise teknik anlamda kullanıcıların isteklerini tam olarak ifade edemediği gözlemlenmiştir.

### 3.2. Deney 2: Yüksek Başarımlı Kategoriler

Kategori azaltılarak, Donanım, E-Posta, Kullanıcı, Sap, Yazılım kategorileri kullanılarak model eğitilerek, test sonuçları alınmıştır. Alınan sonuçların başarımların metrikleri ise Tablo 6'da görülmektedir.

Buna göre 6 kategori üzerinden çalışma yapılmış ve başarımların belli kategorilerde azalsa da toplamda genel F-Skor değerinin %91'e kadar arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 4

## Karışıklık matrisi

|           | Donanım | E-Posta | Kullanıcı | Kurumsal | SAP | Sunucu | Veri | Yazıcı | Yazılım |
|-----------|---------|---------|-----------|----------|-----|--------|------|--------|---------|
| Donanım   | 942     | 14      | 58        | 24       | 18  | 18     | 36   | 34     | 57      |
| E-Posta   | 2       | 470     | 3         | 1        | 3   | 2      | 2    | 0      | 5       |
| Kullanıcı | 21      | 4       | 788       | 14       | 15  | 8      | 28   | 8      | 19      |
| Kurumsal  | 4       | 4       | 3         | 291      | 4   | 1      | 1    | 2      | 2       |
| SAP       | 4       | 2       | 1         | 4        | 409 | 1      | 2    | 1      | 0       |
| Sunucu    | 4       | 1       | 3         | 7        | 3   | 168    | 8    | 2      | 7       |
| Veri      | 9       | 2       | 24        | 8        | 6   | 12     | 529  | 1      | 10      |
| Yazıcı    | 8       | 1       | 0         | 3        | 3   | 0      | 3    | 170    | 1       |
| Yazılım   | 13      | 4       | 7         | 10       | 3   | 6      | 5    | 2      | 1.247   |

Tablo 5

## Başarım metrikleri (%)

|           | Doğruluk     | Kesinlik     | Hassasiyet   | F-skör       |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Donanım   | 94,23        | 78,43        | 93,55        | 85,33        |
| E-Posta   | <b>99,11</b> | 96,31        | <b>93,63</b> | <b>94,95</b> |
| Kullanıcı | 96,16        | 87,07        | 88,84        | 87,95        |
| Kurumsal  | 98,36        | 93,27        | 80,39        | 86,35        |
| SAP       | 98,75        | <b>96,46</b> | 88,15        | 92,12        |
| Sunucu    | 98,52        | 82,76        | 77,78        | 80,19        |
| Veri      | 97,21        | 88,02        | 86,16        | 87,08        |
| Yazıcı    | 98,77        | 89,95        | 77,27        | 83,13        |
| Yazılım   | 97,31        | 96,14        | 92,51        | 94,29        |
| Toplam    | 97,60        | 89,22        | 89,22        | 89,22        |

Tablo 6

## Azaltılmış kategori çıktıları başarım metrikleri (%)

| Kategori  | Doğruluk     | Kesinlik     | Hassasiyet   | F-skör       |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Donanım   | 91,46        | 83,42        | 91,63        | 87,34        |
| E-posta   | <b>98,76</b> | 94,79        | <b>95,59</b> | <b>95,19</b> |
| Kullanıcı | 95,94        | 90,47        | 90,97        | 90,72        |
| Sap       | 98,06        | 94,96        | 85,33        | 89,89        |
| Yazılım   | 94,57        | <b>95,69</b> | 92,08        | 93,85        |
| Toplam    | 95,95        | 91,07        | 91,54        | 91,31        |

## 3.3. Deney 3: Ekip Bazlı Dağılım

İlgili kategorileri BT de sorumlu ekiplere gidecek şekilde güncelleyerek, 9 kategori toplamda 3 ekibe dağılacak şekilde dağıtılarak, veri seti buna göre güncellenmiştir. Model, ilgili 3 ekibe göre eğitilerek sonuçlar alınmıştır. Buna göre; Donanım, Yazılım ve Yazıcı Destek; E- Posta,

Sunucu ve Kullanıcı Sistem; Kurumsal, SAP ve Veri Mimari ekiplerine dağıtılmış ve oluşan tahmin sonuçlarına göre Başarım Metrikleri de Tablo 7'de gösterilmiştir. Ekip bazlı dağılımda tahmin oranının %93'e kadar çıktığı gözlemlenmektedir.

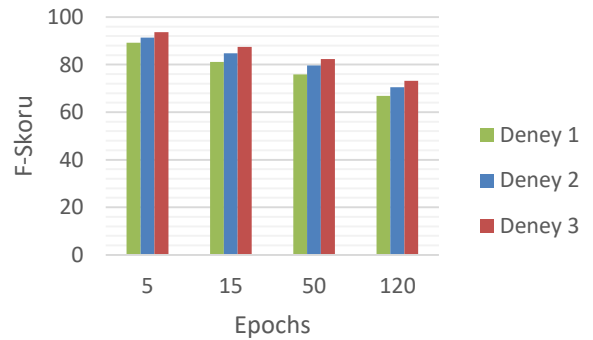
Tablo 7

## Ekip bazlı kategori çıktıları başarım metrikleri (%)

| Kategori | Doğruluk     | Kesinlik     | Hassasiyet   | F-Skor       |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Destek   | 91,31        | <b>93,87</b> | <b>96,33</b> | <b>95,08</b> |
| Mimari   | <b>93,91</b> | 92,07        | 94,09        | 93,07        |
| Sistem   | 93,02        | 90,16        | 91,85        | 91,00        |
| Toplam   | 92,88        | 92,36        | 94,49        | 93,42        |

## 3.4. Deney 4: Parametrik Güncellemeler

Kategori düzenlemelerinden sonra, model üzerindeki parametre değerleri ile sistem kararlılığının değişimini gözlemlemek için epochs (dönem sayısı) değerini 5 ile 120 arasında değiştirerek, her bir deney tekrarlanarak ilgili sonuçlar alınmıştır. Şekil 6'daki epochs dağılım grafiğine bakıldığında, epochs sayısının en yüksek olduğu değer 5 olarak görülmüş, epochs değeri arttıkça başarımın ortalama olarak düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Epochs dağılımı

## 3.5. Deney 5: Karşılaştırmalı Sonuçlar

Veri seti, Bi-LSTM algoritması ile test edilmiş ve mevcut LSTM algoritması ile karşılaştırılmıştır. Tablo 8'de tüm kategoriler sınıflandırılmış ve karşılaştırılmıştır. Tablo 9'da ise ekip bazlı dağılım kategorileri karşılaştırılmıştır. Her iki tabloda görüldüğü üzere,

LSTM algoritması, Bi-LSTM algoritmasına göre mevcut veri setinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 8

Başarım metrikleri (%) karşılaştırması

| Algoritma | F-Skor       |
|-----------|--------------|
| LSTM      | <b>89,22</b> |
| Bi-LSTM   | 50,26        |

Tablo 9

Ekip bazlı kategori başarımleri (%) karşılaştırması

| Algoritma | F-Skor       |
|-----------|--------------|
| LSTM      | <b>93,08</b> |
| Bi-LSTM   | 83,04        |

#### 4. Tartışma

Yazılı olarak iletilen yardım masası talep içeriklerinin belirlenmesi probleminin metin madenciliği teknikleri ile ele alındığı yaklaşımda, GPU üzerinde eğitilen modellerle derin sinir ağları için Tensorflow kütüphanesine sahip Keras kullanılmıştır. Kelime dizileriyle temsil edilen talep başlıkları LSTM sinir ağını eğitmek için kullanılmıştır. Dizi vektör dönüşümü kelimeleri kodlamanın sınıflandırma sonuçlarının word2vec vektör uzayında temsil ile elde edilmiştir. Bu çalışma performansı, word2vec kodlu kelime dizileriyle eğitilmiş LSTM modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Derin sinir ağlarının eğitimi genel olarak yüksek kaynak gerektiren ağlar olarak kabul edilse de bu çalışmada sunulan derin LSTM sinir modellerinin eğitiminin Tensorflow'lu Keras gibi sağlam kütüphane ve orta ölçekli GPU cihazı (16 GB RAM) kullanılarak mümkün olduğu görülmüştür. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, tüm kategoriler için yapılan Deney 1'de %89'luk bir F-skor ile kayda değer başarımler sağlanmıştır. Buna ilave olarak Deney 2 çalışması ile kategoriler azaltılarak, F-skoru artmış, daha az kategori sınıflandırmasında sistemin daha yüksek başarımla çalıştığı gözlemlenmiştir. Kurum içerisindeki ekiplere göre dağıtım da ise (Deney 3) bu oran %93'e çıkarak kurum içerisinde sağlıklı bir şekilde kullanılabilirdiği gözlemlenmiştir. Hazır veri setlerinden farklı olarak, iş yeri ortamından alınan veriler kullanılmış olup, gerçek hayatta bir problemin çözümüne katkı sağlanmıştır. Geliştirilen yardım masası talep sınıflandırma modeli ile, kurum bünyesinde sorun çözümünde zaman ve iş gücü kaybının azaltılmasına katkıda bulunacaktır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli uygulamaların iş odaklı olarak kullanılması, iş dünyasındaki verimlilik artışını hedeflemektedir. Bu yetkinlik önerilen yaklaşıma esnek geliştirme imkânı sunmaktadır. Birbirleri ile karışan sınıflardaki eğitim

verileri, modelde uyarlanabilir olarak sürekli güncellenerek veya taleplerin başlıkları ile birlikte, içeriğinde yer alan metinler de analize dahil edilen yeni modeller ile başarımları artırılabilir.

#### Teşekkür

Gerçek dünya uyarlamasına katkılarından dolayı TEI - TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Yazarların Katkısı

Bu çalışmada; Metin YILMAZ, çalışmanın tasarımı, uygulanması, bilgisayara ortamına aktarılması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması; Efnan ŞORA GÜNAL, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, istatistikî analizler, sonuçların elde edilmesi konularında katkı sağlamıştır.

#### Kaynaklar

- ALRashdi, R., & O'Keefe, S. (2019). Deep learning and word embeddings for tweet classification for crisis response. arXiv preprint arXiv:1903.11024.
- Borko, H., & Bernick, M. (1963). Automatic document classification. *Journal of the ACM (JACM)*, 10(2), 151-162.
- Cai, S., Palazoglu, A., Zhang, L., & Hu, J. (2019). Process alarm prediction using deep learning and word embedding methods. *ISA Transactions*, 85, 274-283.
- Habibi, M., Weber, L., Neves, M., Wiegandt, D. L., & Leser, U. (2017). Deep learning with word embeddings improves biomedical named entity recognition. *Bioinformatics*, 33(14), i37-i48.
- Ibrahim, M. A., Khan, M. U. G., Mehmood, F., Asim, M. N., & Mahmood, W. (2021). GHS-NET a generic hybridized shallow neural network for multi-label biomedical text classification. *Journal of biomedical informatics*, 116, 103699.
- Brownlee, J. (2017). How to Use Word Embedding Layers for Deep Learning with Keras. Eişim Adresi: <http://machinelearningmastery.com/use-word-embedding-layers-deep-learning-keras>.
- Liang, D., & Yi, B. (2021a). Two-stage three-way enhanced technique for ensemble learning in inclusive policy text classification. *Information Sciences*, 547, 271-288.

- Liang, Y., Li, H., Guo, B., Yu, Z., Zheng, X., Samtani, S., & Zeng, D. D. (2021b). Fusion of heterogeneous attention mechanisms in multi-view convolutional neural network for text classification. *Information Sciences*, 548, 295-312.
- Jurafsky, Daniel; H. James, Martin (2000). *Speech and language processing: an introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. ISBN 978-0-13-095069-7.
- Keras, (2021). *Sequential\_model*. Erişim adresi: [http://keras.io/guides/sequential\\_model](http://keras.io/guides/sequential_model).
- Kilimci, Z. H., & Akyokus, S. (2018). Deep learning-and word embedding-based heterogeneous classifier ensembles for text classification. *Complexity*.
- Kocmi, T., & Bojar, O. (2017). An exploration of word embedding initialization in deep-learning tasks. *arXiv preprint arXiv:1711.09160*.
- Kowsari, K., Brown, D. E., Heidarysafa, M., Meimandi, K. J., Gerber, M. S., & Barnes, L. E. (2017). Hdltext: Hierarchical deep learning for text classification. In *16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 364-371.
- Li, S., Hu, J., Cui, Y., & Hu, J. (2018). DeepPatent: patent classification with convolutional neural networks and word embedding. *Scientometrics*, 117(2), 721-744.
- Loper, E., & Bird, S. (2002). *Nltk: The natural language toolkit*. *arXiv preprint cs/0205028*.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Powers, D. M. (2020). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *arXiv preprint arXiv:2010.16061*.
- Semberecki, P., & Maciejewski, H. (2017). Deep learning methods for subject text classification of articles. In *IEEE Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 357-360.
- Wang, J. H., Liu, T. W., Luo, X., & Wang, L. (2018). An LSTM approach to short text sentiment classification with word embeddings. In *30th Conference on Computational Linguistics and Speech Processing (ROCLING 2018)*, 214-223.
- Zhang, Y., Lu, J., Liu, F., Liu, Q., Porter, A., Chen, H., & Zhang, G. (2018). Does deep learning help topic extraction? A kernel k-means clustering method with word embedding. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1099-1117.

## DEVELOPMENT OF A FAULT INJECTION TOOL & DATASET FOR VERIFICATION OF CAMERA BASED PERCEPTION IN ROBOTIC SYSTEMS

Uğur YAYAN<sup>1\*</sup>, Alim Kerem ERDOĞMUŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Software Engineering Department, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1394-5209>

<sup>2</sup> Research and Development Department, Inovasyon Muhendislik Ltd.Şti., Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-5111-5965>

| Keywords  | Abstract   |
|---|--|
| Robotics<br>Verification<br>Fault Injection<br>Image Dataset<br>Camera-based Perception | Nowadays, camera-based perception is most popular topic in robotic systems. Verification of camera-based perception systems are crucial and difficult with current tools and methods. This study proposes Camera Fault Injection Tool (CamFITool), which enables different kind of fault injection methods to RGB and TOF cameras in order to perform verification and validation activities on robotic systems. Besides, Fault Injected Image Database which is created by CamFITool is introduced. In addition, the study guides to readers to create new datasets by injecting faults into existing image libraries or camera streams with CamFITool. CamFITool, an open source camera fault injection tool, has been proposed as a critical tool for assessing the safety and security of fault tolerant systems. Also, a fault injected image dataset created by CamFITool for verification of camera-based perception studies in robotic systems is given. |

## ROBOTİK SİSTEMLERDE KAMERA TABANLI ALGININ DOĞRULANMASI İÇİN HATA ENJEKSİYON ARACI VE VERİ KÜMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

| Anahtar Kelimeler  | Öz  |
|--|---|
| Robotik<br>Doğrulama<br>Hata Enjeksiyonu<br>Veri Kümesi<br>Kamera Tabanlı Algi | Günümüzde robotik sistemlerde kamera tabanlı algılama en popüler konulardan biridir. Mevcut araç ve yöntemlerle kamera tabanlı algılama sistemlerinin doğrulanması da çok önemli ve zordur. Bu çalışma, robotik sistemlerde doğrulama ve doğrulama faaliyetlerini gerçekleştirmek için RGB ve TOF kameralara farklı türlerde hata enjeksiyon yöntemleri sağlayan Kamera Hatası Enjeksiyon Aracını (CamFITool) önermektedir. Ayrıca CamFITool tarafından oluşturulan hata enjekte edilmiş resim veri kümesi tanıtılmaktadır. Buna ek olarak çalışma, CamFITool ile mevcut görüntü kitaplıklarına veya kamera akışlarına hatalar enjekte ederek yeni veri kümeleri oluşturmak için okuyuculara rehberlik etmektedir. Sonuç olarak, hataya dayanıklı sistemlerin emniyet ve güvenliğini değerlendirmek için kritik bir araç olan açık kaynaklı bir hata enjeksiyon aracı olan CamFITool önerilmiştir. Ayrıca robotik sistemlerde kamera tabanlı algılama çalışmalarının doğrulanması için CamFITool tarafından oluşturulan hata enjekte edilmiş görüntü veri kümesi verilmiştir. |

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Araştırma Makalesi          | Research Article             |
| Başvuru Tarihi : 07.01.2022 | Submission Date : 07.01.2022 |
| Kabul Tarihi : 29.06.2022   | Accepted Date : 29.06.2022   |

### 1. Introduction

The robotics industry has evolved over the years and has become a growing market share. According to the

2021 report of World Robotics (IFR, 2021), it was stated that the use of robots in factories around the world increased by 10 percent compared to the previous year and reached 3 million. It is thought that this rate will

\* Corresponding Author; e-mail : [ugur.yayan@ogu.edu.tr](mailto:ugur.yayan@ogu.edu.tr)



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

reach 15 percent in the 2022 and the robotics industry will become widespread with an increasing momentum. Considering the sectoral distribution of robots sold, it can be seen that the use of robots in heavy and medium industry is at a considerable point (see Figure 1).

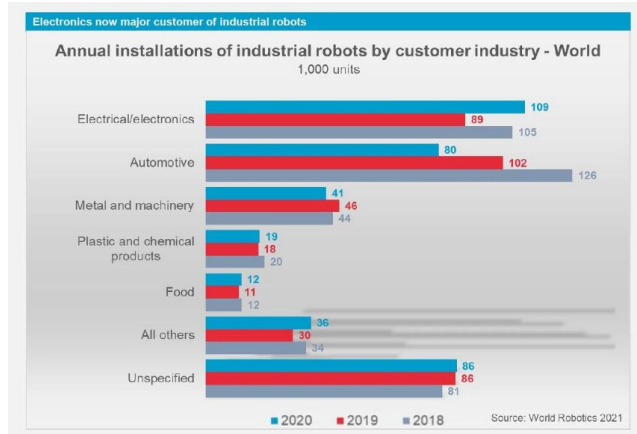


Figure 1. Annual installations of industrial robots by customer industry (World Robotics, 2021)

The widespread use of robotic systems in the industry also makes it possible for errors that may arise in robotic systems to have critical consequences. Since the importance of the software has become much more critical in the robotic systems and the anomalies that may occur in the systems are mostly possible to be realized by the software, thus it is crucial to test the system with fault injection into the system. Sensors used in robotic systems and data transfer between robots must be carried out safely. The rapid progress of robotic communication technologies has led to an increase in the data used in this field. The safely use and processing of increasing data causes situations that force designers and users to take instantaneous decisions faster. The basis of its safely use is to quickly find and intervene the anomalies that develop during the transfer. For this determination, it is critical to ensure validation and verification of systems. Implementation of an anomaly detection system based on artificial intelligence can be a solution to this verification (Kendall, Grimes and Cipolla, 2015; Osadcuks, Pudzs, Zujevs, Pecka and Ardavs, 2020; Park and Mu Lee, 2017).

Studies related to this study are given below. In Chapter 2, information is given about the literature that the robotic software (SRVT) studied. In the Chapter 3, details about SRVT, the environment and methods used by SRVT and CamFITool are given. Conclusion and future work are in Chapter 4.

## 2. Literature

Fault injection is an important methodology for assessing the reliability of software and associated system. Researchers, engineers, etc., who are familiar

with software, develop many new methods that can be applied both in hardware and in software to injections that may cause faults in software into the relevant systems. The situations seen among these hardware and software methods under development are as follows:

- Fault injection zones accessible to software developers and researchers,
- The cost of the injection made,
- The level of corruption caused by the fault created in the system, etc.

are factors. With fault injection into the hardware, faults can be created on chip pins and internal components such as circuits and registers that cannot be addressed by software. On the other hand, in fault injection into the software, it is possible to produce a direct change at the level of the general state of the software. Given these situations, it is possible to use hardware methods to evaluate low-level fault detection and masking mechanisms, and software methods to test higher-level mechanisms (Hsueh, Tsai and Iyer, 1997).

Studies have been carried out on many software and interfaces to create this type of fault injection. GemFI (Parasyris, Tziantzoulis, Antonopoulos and Bellas, 2014) by Parasyris and his team, GOOFI (Aidemark, Vinter, Folkesson and Karlsson, 2001) by Aidemark and his team, SASSIFI (Hari, Tsai, Stephenson, Keckler and Emer, 2017) by Hari and his team, and MODIFI (Svenningsson, Vinter, Eriksson and Törngren, 2010) by Svenningsson and his team are just a few of the important fault injection tool studies in the literature. All these studies are studies that enable fault injection for various software, simulation or hardware systems, thus enabling the testing of fault tolerance and weaknesses of the systems. Among the aforementioned sample tools, only the GemFI tool has image fault injection. Since this injection is not one of the main purposes of the study, it can be said that CamFITool's purpose of injecting fault into the image is more specific.

An anomaly in a system refers to the occurrence of the expected response, events, or other elements in a dataset that cannot usually be detected by a human expert. Such anomalies are usually caused by structural errors in the system, and these errors can turn into critical problems for the system ("Anomaly Detection, A Key Task for AI and Machine Learning, Explained", 2019). For this type of artificial intelligence systems, data sets consisting of data that are revealed as a result of the correct and incorrect operation of the mechanism that occurs anomaly can be used.

Anomalies can be seen in many different areas. For example, it is an anomaly to see plants with weak or faulty mutations during the development of plants, and research has been carried out to detect them through datasets created with samples collected from these

plants (Scharr, Minervini, Fischbach and Tsafaris, 2014). Human actions are also an area where anomaly investigation can be done. An artificial intelligence is supported by the data sets created to detect the differences in these actions and anomaly detection can be made (Rezazadegan, Shirazi, Upcroft and Milford, 2017). Examples like this and researches show the importance of creating appropriate resources for anomaly detection using data sets.

Datasets provide accessible comparisons to improve algorithms and test new techniques. Recent developments in the fields of artificial intelligence and deep learning have accelerated with the use of data sets that are being developed. Today, data sets contain more pictures with the proliferation of researches and their use in different fields is becoming more common day by day.

Deep behavioral learning is one of the research areas where the use of data sets has an important place. In this area, the characteristics of the same people are determined and learned in different data sets (Su, Zhang, Xing, Gao and Tian, 2016), the use of object recognition features and typical movements such as describing the actions of people from video recordings (Per, Kenk, Mandeljc, Kristan and Kovacic, 2012, p. 3; Russell, Torralba, Murphy and Freeman, 2008; Wu, Oreifej and Shah, 2011) and recognizing human mobility in an environment with autonomously moving robots (Rezazadegan et al., 2017).

Datasets from images collected from the Web were also created to be used for analysis and validation in scientific research (Deng et al., 2009; Everingham, Van Gool, Williams, Winn and Zisserman, 2010; Osadcuks et al., 2020; Torralba, Fergus and Freeman, 2008). Such datasets are important studies created to collect and classify many different kinds of pictures, to be a resource that can be used for other scientific research and to be published openly for the use of researchers. As an example of this situation, Torralba et al. The large data set (Torralba et al., 2008) created by collecting about 80 million images and listing them in the dictionary dataset by tagging each image can be shown.

Datasets are used in these studies as augmented reality (Leitner, Dansereau, Shirazi and Corke, 2015; Noguchi and Harada, 2020; Orchard, Jayawant, Cohen and Thakor, 2015), robotics (Ravi, Shankar, Frankel, Elgammal and Iftode, 2007), autonomous drone navigation (Padhy, Verma, Ahmad, Choudhury and Sa, 2018), forensic techniques (Gloe and Böhme, 2010), botany (Scharr et al., 2014), data classification (Nene, Nayar and Murase, 1996; Xiao, Hays, Ehinger, Oliva and Torralba, 2010), traffic control (Fregin, Muller, Krebel and Dietmayer, 2018), it has also been used in scientific studies such as user location detection (*GAZEBO website*, 2021). In addition, it is seen that more complex

data sets are created and presented to scientists with the active use of data sets for issues such as editing and correction of distorted images (Park and Mu Lee, 2017) and the progress of studies in these areas.

Camera Fault Injection Tool (CamFITool) is an open-source tool to make necessary fault injections to robot cameras in order to take action before such robotic system faults occur. By injecting these faults into robot cameras, it is aimed to create a dataset that can be used for anomaly detection that may occur in robotic systems. For this purpose, fault injected image datasets created from images obtained by fault injections using CamFITool. With CamFITool, such datasets can be created, as well as injecting real-time faults into the camera stream and observing the system's response to it.

In this study, offline and realtime fault injections were made using CamFITool and the details of 10000-image dataset, which were created by injecting fault into the cameras in the robotic environment described in the third section, are explained. It also details how CamFITool was developed, in which environments it was tested, and a dataset generated by this software that provides verification and validation on robot cameras. Python-based CamFITool has been tested on Simulation Based Robot Verification Tool (SRVT), a robotic system running on the ROS Noetic system (Yayan and Erdoğan, 2021). These tests were performed on the robot cameras of the ROKOS system (Yayan & Erdoğan, 2021) simulated in SRVT. Additionally, it has been open sourced to make up for the lack of such a fault injection testing tool in the ROS environment.

### 3. Methods

In this section, the methods and application area of the study are explained. In addition, in this study, article research and publication ethics were complied with.

#### 3.1. Experimental Environment

ROKOS (OTOKAR Robot Control System) shortens the quality control period of the product with its innovative visual inspection techniques and makes the presence-absence control of the parts that make up the bus body-in-white more sensitive. The basis of this work is to reveal a production system that performs better in terms of fault tolerance to achieve better quality control (Figure 2). With its cartesian robot and camera sensor system, ROKOS can fully automatically control the presence of 2500-3000 body parts that make up a bus body-in-white.

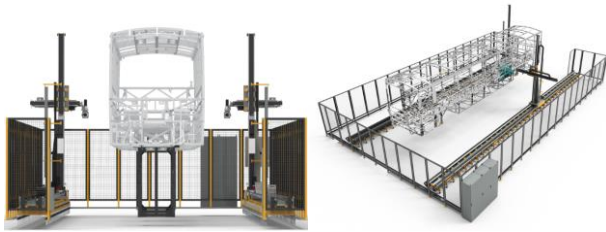


Figure 2. Robot inspection system for quality control (ROKOS)

Thanks to the Simulation-based Robot Verification Testing (SRVT) tool, the ROKOS system has been realistically transferred to the Gazebo (Figure 4) simulation environment. In the simulation environment, ROKOS can perform its tasks as in the real environment and can take images from the bus body-in-white transferred to the simulation environment in the same way (Figure 3). (Yayan and Erdoğan, 2021).

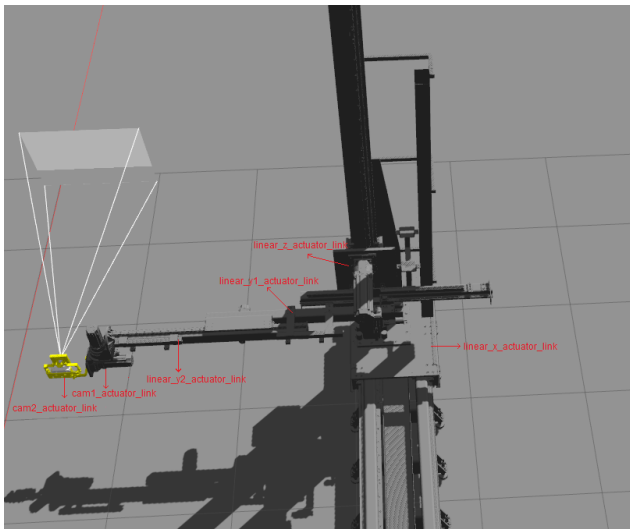


Figure 3. Image of one of the ROKOS robot arms in the SRVT simulation environment

ROKOS is converted into the SRVT environment, designed to run on versions of ROS Noetic (Quigley et al., 2009) and GAZEBO 11 (GAZEBO website., 2021) (Figure 4). Moveit (Chitta, Sucas and Cousins, 2012) software is used as the planner in SRVT.

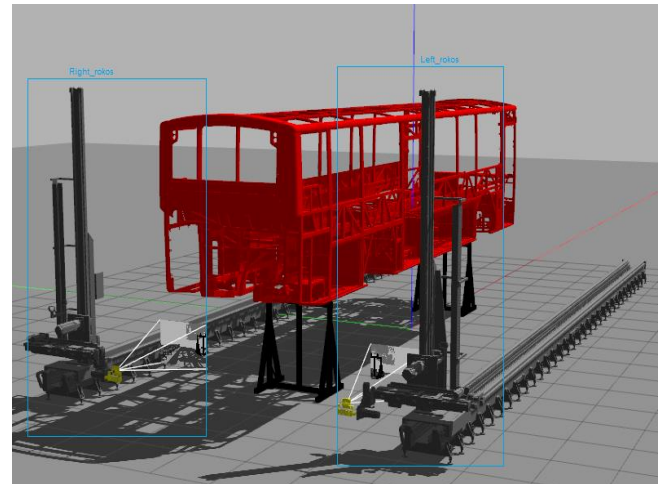


Figure 4. ROKOS system and bus body-in-white modelled on the GAZEBO simulation environment

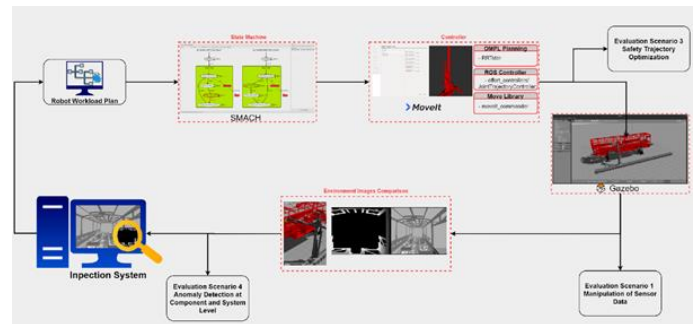


Figure 5. SRVT simulation architecture

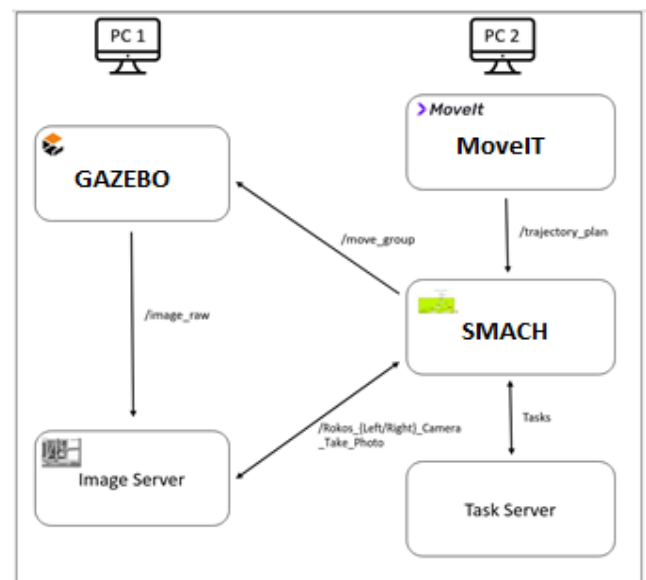


Figure 6. SRVT system architecture



The main architecture of the SRVT consists of five parts (Figure 6). These sections are;

1) Gazebo

The ROKOS robot arms and bus body-in-white are remodeled in the simulation environment of Gazebo 11. It is used as the simulation engine of SRVT.

2) Image Server

The ROS node, which enables ROKOS robot arms to take camera images from the bus body-in-white, is a system called Image Server. When this ROS node receives the "take photo" command by the ROS SMACH node, it records the photo in a folder with a special naming format defined for it. This node is manipulated at the execution of CamFITool's fault injections. In Figure 7, image examples from SRVT are given.

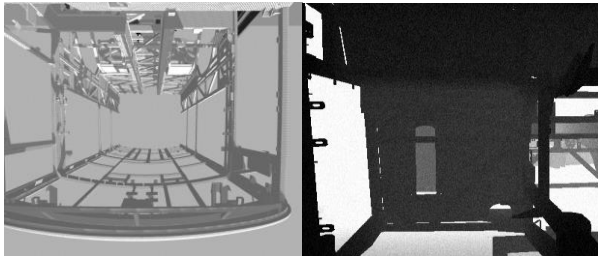


Figure 7. RGB and TOF image examples

3) Moveit

It is the planning element of the SRVT system which contains trajectory planners for robot arms.

4) Task Server

The Task Server node determines the coordinates which are visited and photo taken and sent it to the SMACH node.

5) SMACH

The SMACH node is a finite state machine for controlling the behaviors of SRVT.

**3.2. Development of Camera Fault Injection Tool**

This study proposes an open-source Camera Fault Injection Tool (CamFITool), which enables state-of-art fault injection methods to RGB and TOF cameras in order to perform verification and validation activities on robotic systems. This fault injection tool is written in Python and Qt5 for interface. The CamFITool is also ROS Noetic compatible (Figure 8).

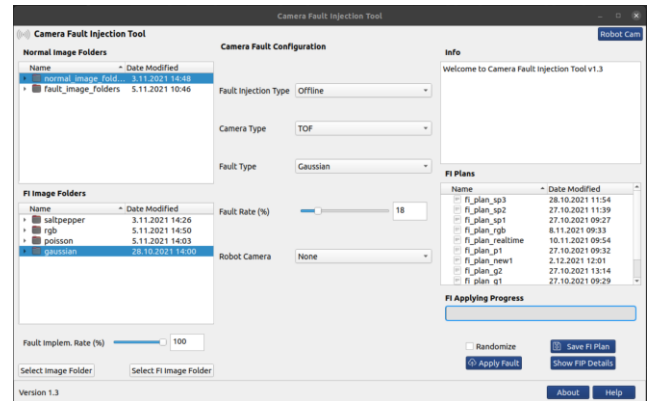


Figure 8. CamFITool main screen

CamFITool makes it possible to inject faults into camera stream or into images folder. In addition, datasets that can be used for artificial intelligence based anomaly detection studies. With CamFITool, an interface has been created that can be used in applications such as testing, verification, validation activities.

**3.2.1. CamFITool Interface**

CamFITool has an interface that could be apply faults in two different types (Offline and Realtime). When switching to these types, the interface changes accordingly. CamFITool, works in a single page makes it simple to use and easy to understand.

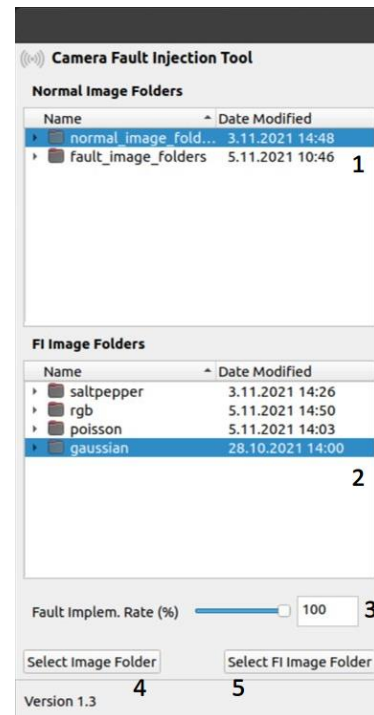


Figure 9. File selection screen of CamFITool interface

Figure 9 shows the tabs on the left side of the CamFITool interface where the folders to be processed. In Figure 9-1, The Image Folders section could be seen for image folder selection. It is possible to make this selection with the button (Figure 9-4). With the "Fault Implementation Rate" section in Figure 9-3, it is possible to select what percentage of the images in the normal image folder will be injected with faults.

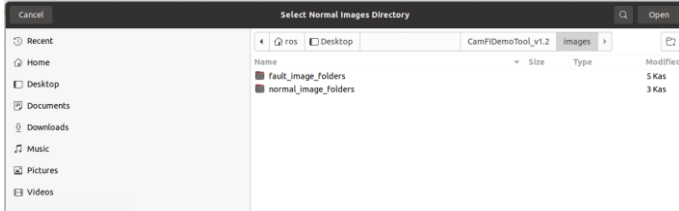


Figure 10. Normal image directory selection screen

In Figure 9-2, The FI Image Folders section is given and fault injected images could be find here. It is possible to make this selection with the button indicated by (Figure 9-5).

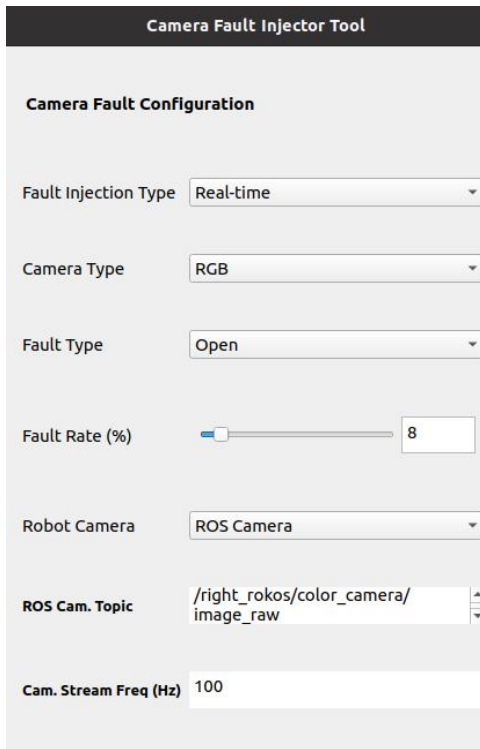


Figure 11. Camera Fault Configuration menu

Figure 11 shows the central part of the CamFITool interface, the Camera Fault Configuration menu. This menu is designed for the user to set the desired type of fault. The descriptions of the selection sections are as follows:

**Fault Injection Type:** In this feature, the user selects the fault application type. It has two options, Offline and Realtime. When Offline is selected, the last two options are deleted from the screen.

**Camera Type:** The camera type (RGB or TOF) could be selected with this feature for fault injection. For both options, different fault types are presented in the Fault Type section.

**Fault Type:** In this feature, the user selects the type of fault to be applied. There are Open, Close, Erosion, Dilation, Motion-blur and Gradient fault types for RGB camera, Salt&Pepper, Gaussian and Poisson fault types for TOF camera.

**Fault Rate:** It is the feature where the user determines the fault injection rate. The rate is directly proportional to the degradation of the image.

**Robot Camera:** It is the feature where the user selects the type of camera stream to be apply a fault.

**ROS Camera Topic:** It is the feature where the user selects the relevant topic of the ROS camera stream to be inject a fault.

**Camera Stream Frequency:** This feature is related with ROS camera topic and could be used in realtime fault application.

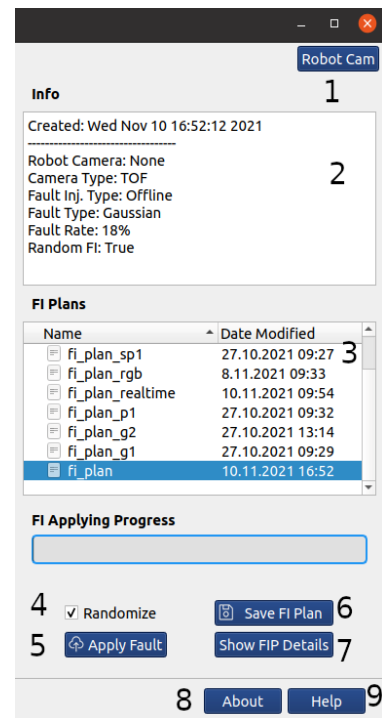


Figure 12. CamFITool interface's application and information screen

Figure 12 shows the rest of CamFITool. In this section, there is an information tab (Figure 12-2), which contains information about the processes taking place in

CamFITool, and the FI Plans tab (Figure 12-3), where the records of the fault configurations we have applied are displayed. In addition, there are buttons that provide interface control. The features of these buttons are as follows:

(Figure 12-1) Robot Cam: It is the button that allows the snapshot of the ROS camera written in the Topic section to be displayed on the screen.

(Figure 12-2) Information Tab: Information tab contains information about the processes taking place in CamFITool.

(Figure 12-3) Fault Injection Plans Tab: FI Plans tab where the records of the fault configurations we have applied are displayed.

(Figure 12-4) Randomize: This is the option that allows the offline fault application to be applied to a random number of images.

(Figure 12-5) Apply Fault: It is the button that starts the fault injection of with the fault configuration set by the user.

(Figure 12-6) Save FI Plan: This is the button that allows the user to save the fault configuration set. Saved plans can be viewed in the FI Plan tab.

(Figure 12-7) Show FIP Details: This is the button used for the user to view the details of the recorded fault plans in the Info tab. The user can select the plan who wants to see from the FI Plans tab and click this button to view the details.

(Figure 12-8) About: This is the button that displays CamFITool's tag information.

(Figure 12-9) Help: This is the button that opens the help section prepared for CamFITool.

### 3.3. Construction of Fault Injected Image Dataset

The faulty image dataset is an image library that contains samples of faulty images that a robot camera has recorded as a result of various faults it may encounter. Possible camera malfunctions, such as the camera recording the faulty images at that time and the system continuing to work on these faulty images, can cause serious problems in the system. CamFITool is designed to simulate such failures, collect faulty picture outputs of the systems as a result of these failures, and create faulty output source for artificial intelligence systems to be developed to detect these problems. CamFITool can inject faults into the SRVT or any other camera-based detection system, corrupting the images that the system is supposed to record with various image degradation techniques. The faulty image dataset mentioned in this study consists of normal images and degraded images recorded by the SRVT system from ROKOS cameras running on Gazebo (Figure 13).

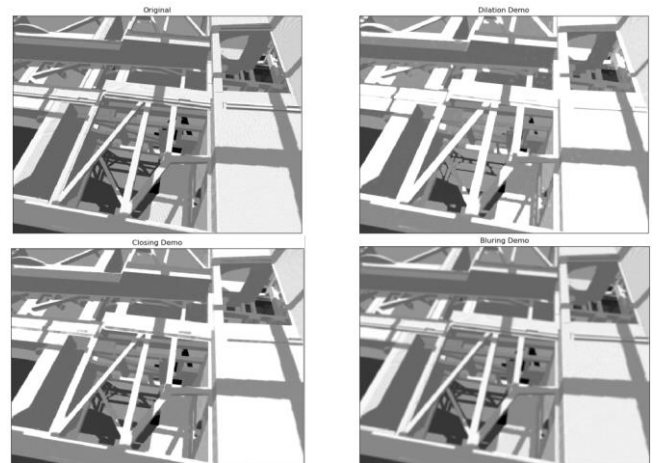


Figure 13. Camera fault injection outcome examples


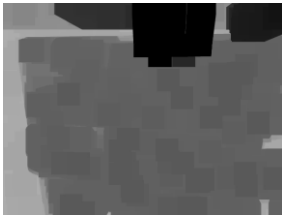
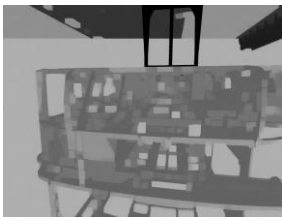
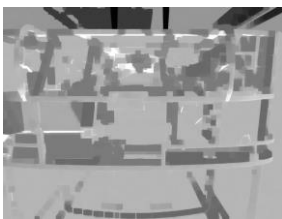
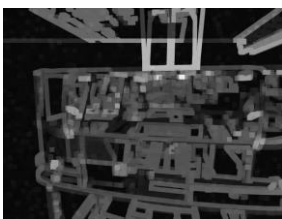

The dataset was created using two different application types to test all the fault injection features of CamFITool and to obtain different outputs. The first dataset was created from fault injected and normal images obtained by applying realtime fault injection to the cameras on the robot arms operating in the SRVT. The second dataset was created from fault injected images obtained by offline fault injection to the images taken by the SRVT. Dataset creation processes with these two fault injection application types are explained in the following sections.

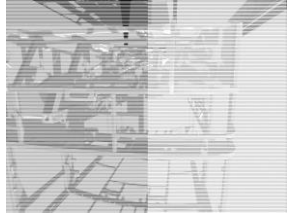
#### 3.3.1. Realtime Fault Injected Image Dataset from SRVT Simulation Environment

In order to create this dataset, fault injection was performed by CamFITool to the RGB image nodes of two robot cameras running on the SRVT system. While injected 6 types of image faults defined in accordance with RGB cameras, the system continued to work and save pictures. The tasks were repeated until a certain number of pictures of each fault type were recorded (Erdogmus, Karaca and Yayan, 2021).

CamFITool allows us to create a dataset of 5000 normal and 5000 fault injected images (see Table 1) from the SRVT system. In addition, users can create such datasets in desired configurations and camera-based perception-based environments by using CamFITool. It has been observed that there is no such tool in ROS yet. CamFITool makes use of a software fault injection system that works directly in compatible with ROS (CamFITool ROS Wiki, 2021).

Table 1  
RGB Camera Fault Types

| Fault Method       | Description  | Example Image   |
|--------------------|--|---|
| <b>Dilation</b>    | It is used to enlarge the highlighted parts of an image (Jankowski, 2006). There are 476 of these faults injected pictures in the dataset.   |    |
| <b>Erosion</b>     | It is used to reduce the highlighted part of an image (Jankowski, 2006). There are 637 of these faults injected images in the dataset.   |    |
| <b>Open</b>        | It is created by first etching and then spreading an image (Acton and Mukherjee, 2000). There are 640 of these faults injected images in the dataset.  |   |
| <b>Close</b>       | It is created by first spreading and then etching an image (Acton and Mukherjee, 2000). There are 841 of these faults injected images in the dataset.  |  |
| <b>Gradient</b>    | It is created by subtracting the etched version from the smeared version of an image (Larnier, Fehrenbach and Masmoudi, 2012). There are 632 of these faults injected images in the dataset. |  |
| <b>Motion-blur</b> | It is created by providing blur in an image (Ji and Liu, 2008). There are 687 of these faults injected images in the dataset.  |  |

|                    |  |   |
|--------------------|--|---|
| <b>Partialloss</b> | It is created by destroying a specified part of an image. There are three different partialloss types: horizontal, vertical and odd-even. There are 1087 of these faults injected pictures in the dataset. |  |
|--------------------|--|---|

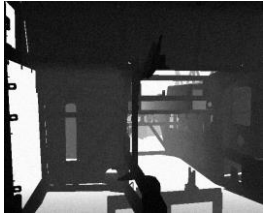
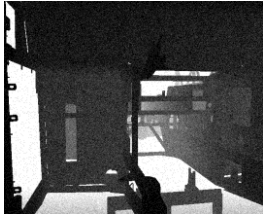
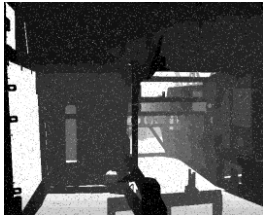
The dataset was created by extracting the fault injected and normal ones from the pictures collected while the SRVT system was running. All images have been tagged with standard SRVT tags. This is because the system also saves fault injected pictures as if they were normal pictures for inspection processes. The created dataset could be used to train the artificial intelligence that will detect the fault injected pictures of the system and to create this anomaly detection system.

### 3.3.2. Offline Fault Injected Image Dataset from SRVT Created Images

To use CamFITool's offline fault injection feature, an image dataset of images recorded by TOF cameras in the SRVT was used. TOF camera images captured by the SRVT were injected by CamFITool with faults of three types (see Table 2). As in the studies described above, different types of fault-injected images can be obtained, and datasets can be created from these images.

The listed image fault types can be examined in two different classes (see Table 3) as virtual environment faults and real environment faults. Virtual environment faults like Dilation/Erosion, Open/Close, Gradient, InjectionPayload are artificial image errors that can only be revealed in the simulation environment and through software (OpenCV Python libraries, etc.). These faults can be counted as virtual environment faults. Such faults are not seen in real environment/hardware with non-software methods.

Table 2  
TOF Camera Fault Types

| Fault Method           | Description   | Example Image   |
|------------------------|---|---|
| <b>Gaussian</b>        | Gaussian noise is statistical noise with a probability density function equal to the normal distribution, also known as the Gaussian distribution. In other words, the values that the noise can take are Gaussian distribution (Figure 17 (Barbu, 2013).   |    |
| <b>Poisson</b>         | Shot noise or Poisson noise is a type of noise that can be modeled with a Poisson process. In electronics, gravitational noise is due to the discrete nature of electric charge. Shot noise also occurs in photon counting in optical devices where the shot noise is related to the particle nature of light (Figure 18) (Blanter and Büttiker, 2000; Schottky, 2018). |    |
| <b>Salt&amp;Pepper</b> | Salt and pepper noise is a type of noise that can sometimes be observed. Also known as impulse noise. This noise can be caused by sharp and sudden disturbances in the image signal. It presents itself as sparsely occurring white and black pixels (Figure 19) (Rosin and Collomosse, 2012).  |  |

Real environment faults like (Motion-blur, Partialloss, Freeze/Slow, Random, Gaussian, Poisson, Salt&Pepper) (or camera / hardware faults), on the other hand, are image faults that may occur in real environment cameras, not only through software, but also due to problems that may occur in the camera hardware. These faults can be counted as real environment faults. For example, a Poisson noise may be generated in electronic circuits by random fluctuations of electric current in a DC current, which is caused by the fact that the current is actually the flow of discrete charges (electrons). This fault may cause related corruption in camera hardware.

Table 3  
General Camera Fault Types/Methods

| Fault Types             | Camera Types | Virtual/Real Environment Fault | Dataset |
|-------------------------|--------------|--------------------------------|---------|
| <b>Dilation</b>         | RGB          | Virtual                        | X       |
| <b>Erosion</b>          | RGB          | Virtual                        | X       |
| <b>Open</b>             | RGB          | Virtual                        | X       |
| <b>Close</b>            | RGB          | Virtual                        | X       |
| <b>Gradient</b>         | RGB          | Virtual                        | X       |
| <b>Motion-blur</b>      | RGB/TOF      | Real                           | X**     |
| <b>Partialloss</b>      | RGB/TOF      | Real                           | X**     |
| <b>Freeze</b>           | RGB          | Real                           |         |
| <b>Slow</b>             | RGB          | Real                           |         |
| <b>InjectionPayload</b> | RGB/TOF      | Virtual                        |         |
| <b>Random</b>           | RGB/TOF      | Real                           |         |
| <b>Gaussian</b>         | TOF          | Real                           | X*      |
| <b>Poisson</b>          | TOF          | Real                           | X*      |
| <b>Salt&amp;Pepper</b>  | TOF          | Real                           | X*      |

\*\*\* In marked these ones, only RGB samples are available in the dataset.

\*\* In marked these ones will be added to the dataset.

#### 4. Conclusion and Future Works

In this study, CamFITool, an open-source fault injection tool, which is a critical tool for assessing of fault tolerant systems' safety and security, is proposed. In addition, CamFITool can apply faults not only to the Realtime camera stream, but also to the offline recorded image folders. As a result, a fault injected image dataset for the camera-based perception studies in robotic systems, and to help determine the fault tolerances of the systems is published. In addition, users can create such datasets in desired configurations and camera-based perception-based environments by using CamFITool. It has been observed that there is no such tool in ROS or robotics community yet.

In the future works, it is planned to develop the CamFITool interface and continue to add new features. The interface is completely open source and developments can be followed in the current version of the interface, Github repository (CamFITool Github repository, 2021). It is also planned to work on a deep learning-based anomaly detection system that will detect fault injected pictures in created datasets by CamFITool.

## Acknowledgment

This study is supported by TÜBİTAK Project under grant number 120N803 which conducted by the İnovasyon Mühendislik.

Also, the research leading to this paper has received funding from the ECSEL Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 876852. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Austria, Czech Republic, Germany, Ireland, Italy, Portugal, Spain, Sweden, Turkey. The views expressed in this document are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reject the views or position of the European Commission.

## Conflicts of Interest

They declared that there is no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

## Contributions of the Authors

In this work, Uğur YAYAN created the article concept, conducted the research, tested it, edited it, managed the project, and wrote the article in this work. The article's concept, research, coding, testing, development of SRVT and CamFITool, and writing have been completed by Alim Kerem ERDOĞMUŞ.

## References

- Acton, S. T., & Mukherjee, D. P. (2000). Scale space classification using area morphology. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(4), 623-635. <https://doi.org/10.1109/83.841939>
- Aidemark, J., Vinter, J., Folkesson, P., & Karlsson, J. (2001). GOOFI: Generic object-oriented fault injection tool. *2001 International Conference on Dependable Systems and Networks*, 83-88. <https://doi.org/10.1109/DSN.2001.941394>
- Anomaly Detection, A Key Task for AI and Machine Learning, Explained. (2019). *KDnuggets*. Available 06 January 2022, <https://www.kdnuggets.com/anomaly-detection-a-key-task-for-ai-and-machine-learning-explained.html/>
- Barbu, T. (2013). Variational Image Denoising Approach with Diffusion Porous Media Flow. *Abstract and Applied Analysis*, 2013, e856876. <https://doi.org/10.1155/2013/856876>
- Blanter, Ya. M., & Büttiker, M. (2000). Shot noise in mesoscopic conductors. *Physics Reports*, 336(1), 1-166. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(99\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(99)00123-4)
- CamFITool Github repository. (2021). *Camera Fault Injection Tool* [Python]. Inovasyon Muhendislik. <https://github.com/inomuh/camfitool> (Original work published 2021)
- CamFITool ROS Wiki. (2021). *camfitool—ROS Wiki* [Wiki]. CamFITool ROS Wiki Page. <http://wiki.ros.org/camfitool/>
- Chitta, S., Sucan, I., & Cousins, S. (2012). MoveIt! [ROS Topics]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(1), 18-19. <https://doi.org/10.1109/MRA.2011.2181749>
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 248-255. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Erdogmus, A. K., Karaca, M., & Yayan, A. P. D. U. (2021). Manipulation of Camera Sensor Data via Fault Injection for Anomaly Detection Studies in Verification and Validation Activities For AI. *arXiv:2108.13803* [cs]. <http://arxiv.org/abs/2108.13803>
- Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K. I., Winn, J., & Zisserman, A. (2010). The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 88(2), 303-338. <https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4>
- Fregin, A., Muller, J., Krebel, U., & Dietmayer, K. (2018). The DriveU Traffic Light Dataset: Introduction and Comparison with Existing Datasets. *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3376-3383. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8460737>
- GAZEBO website. (2021). <http://GAZEBOsim.org/>
- Gloe, T., & Böhme, R. (2010). The "Dresden Image Database" for benchmarking digital image forensics. *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*, 1584-1590. <https://doi.org/10.1145/1774088.1774427>
- Hari, S. K. S., Tsai, T., Stephenson, M., Keckler, S. W., & Emer, J. (2017). SASSIFI: An architecture-level fault injection tool for GPU application resilience evaluation. *2017 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, 249-258. <https://doi.org/10.1109/ISPASS.2017.7975296>
- Hsueh, M.-C., Tsai, T. K., & Iyer, R. K. (1997). Fault injection techniques and tools. *Computer*, 30(4), 75-82. <https://doi.org/10.1109/2.585157>

- IFR. (2021). *IFR presents World Robotics 2021 reports*. IFR International Federation of Robotics. Available 06 January 2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>
- Jankowski, M. (2006). *Erosion, dilation and related operators*. 10.
- Ji, H., & Liu, C. (2008). Motion blur identification from image gradients. *2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2008.4587537>
- Kendall, A., Grimes, M., & Cipolla, R. (2015). *PoseNet: A Convolutional Network for Real-Time 6-DOF Camera Relocalization*. 2938-2946. [https://openaccess.thecvf.com/content\\_iccv\\_2015/html/Kendall\\_PoseNet\\_A\\_Convolutional\\_ICCV\\_2015\\_paper.html](https://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2015/html/Kendall_PoseNet_A_Convolutional_ICCV_2015_paper.html)
- Larnier, S., Fehrenbach, J., & Masmoudi, M. (2012). The Topological Gradient Method: From Optimal Design to Image Processing. *Milan Journal of Mathematics*, 80(2), 411-441. <https://doi.org/10.1007/s00032-012-0196-5>
- Leitner, J., Dansereau, D., Shirazi, S., & Corke, P. (2015). The need for dynamic and active datasets. *CVPR Workshop on The Future of Datasets in Computer Vision*, 1-1. <https://eprints.qut.edu.au/105801/>
- Nene, S. A., Nayar, S. K., & Murase, H. (1996). *Columbia Object Image Library (COIL-100)*. 6.
- Noguchi, A., & Harada, T. (2020). RGBD-GAN: Unsupervised 3D Representation Learning From Natural Image Datasets via RGBD Image Synthesis. *arXiv:1909.12573* [cs]. <http://arxiv.org/abs/1909.12573>
- Orchard, G., Jayawant, A., Cohen, G. K., & Thakor, N. (2015). Converting Static Image Datasets to Spiking Neuromorphic Datasets Using Saccades. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 437. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00437>
- Osadcuks, V., Pudzs, M., Zujevs, A., Pecka, A., & Ardavs, A. (2020). Clock-based time sync hronization for an event-based camera dataset acquisition platform \*. *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 4695-4701. <https://doi.org/10.1109/ICRA40945.2020.9197303>
- Padhy, R. P., Verma, S., Ahmad, S., Choudhury, S. K., & Sa, P. K. (2018). Deep Neural Network for Autonomous UAV Navigation in Indoor Corridor Environments. *Procedia Computer Science*, 133, 643-650. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.099>
- Parasyris, K., Tziantzoulis, G., Antonopoulos, C. D., & Bellas, N. (2014). GemFI: A Fault Injection Tool for Studying the Behavior of Applications on Unreliable Substrates. *2014 44th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks*, 622-629. <https://doi.org/10.1109/DSN.2014.96>
- Park, H., & Mu Lee, K. (2017). *Joint Estimation of Camera Pose, Depth, Deblurring, and Super-Resolution From a Blurred Image Sequence*. 4613-4621. [https://openaccess.thecvf.com/content\\_iccv\\_2017/html/Park\\_Joint\\_Estimation\\_of\\_ICCV\\_2017\\_paper.html](https://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2017/html/Park_Joint_Estimation_of_ICCV_2017_paper.html)
- Per, J., Kenk, V. S., Mandeljic, R., Kristan, M., & Kovacic, S. (2012). Dana36: A Multi-camera Image Dataset for Object Identification in Surveillance Scenarios. *2012 IEEE Ninth International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance*, 64-69. <https://doi.org/10.1109/AVSS.2012.33>
- Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Berger, E., Wheeler, R., & Ng, A. (2009). *ROS: an open-source Robot Operating System*. 6.
- Ravi, N., Shankar, P., Frankel, A., Elgammal, A., & Iftode, L. (2007). Indoor Localization Using Camera Phones. *Seventh IEEE Workshop on Mobile Computing Systems Applications (WMCSA'06 Supplement), Supplement*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/WMCSA.2006.4625206>
- Rezazadegan, F., Shirazi, S., Upcroft, B., & Milford, M. (2017). Action recognition: From static datasets to moving robots. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3185-3191. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989361>
- Rosin, P., & Collomosse, J. (2012). *Image and Video-Based Artistic Stylisation*. Springer Science & Business Media.
- Russell, B. C., Torralba, A., Murphy, K. P., & Freeman, W. T. (2008). LabelMe: A Database and Web-Based Tool for Image Annotation. *International Journal of Computer Vision*, 77(1), 157-173. <https://doi.org/10.1007/s11263-007-0090-8>
- Scharr, H., Minervini, M., Fischbach, A., & Tsaftaris, S. A. (2014). *Annotated Image Datasets of Rosette Plants*. 17.
- Schottky, W. (2018). On spontaneous current fluctuations in various electrical conductors. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*, 17(4), 041001. <https://doi.org/10.1117/1.JMM.17.4.041001>
- Su, C., Zhang, S., Xing, J., Gao, W., & Tian, Q. (2016). Deep Attributes Driven Multi-camera Person Re-identification. İçinde B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, & M. Welling (Ed.), *Computer Vision – ECCV 2016* (ss. 475-491). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6_30)

- Svenningsson, R., Vinter, J., Eriksson, H., & Törngren, M. (2010). MODIFI: A MODel-Implemented Fault Injection Tool. İçinde E. Schoitsch (Ed.), *Computer Safety, Reliability, and Security* (ss. 210-222). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15651-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15651-9_16)
- Torralba, A., Fergus, R., & Freeman, W. T. (2008). 80 Million Tiny Images: A Large Data Set for Nonparametric Object and Scene Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(11), 1958-1970. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2008.128>
- Wu, S., Oreifej, O., & Shah, M. (2011). Action recognition in videos acquired by a moving camera using motion decomposition of Lagrangian particle trajectories. *2011 International Conference on Computer Vision*, 1419-1426. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126397>
- Xiao, J., Hays, J., Ehinger, K. A., Oliva, A., & Torralba, A. (2010). SUN database: Large-scale scene recognition from abbey to zoo. *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 3485-3492. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2010.5539970>
- Yayan, U., & Erdoğan, A. (2021). Endüstriyel Robot Hareket Planlama Algoritmaları Performans Karşılaştırması. *Journal of Scientific, Technology and Engineering Research*, 2(2), 31-45. <https://doi.org/10.53525/jster.979689>



## 2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE SPEKTRAL KARAKTERİSTİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Eren BAYRAKCI<sup>1\*</sup>, Eren BALABAN<sup>2</sup>, Mehmet İnanç ONUR<sup>3</sup>, Yücel GÜNEY<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8948-6590>
- <sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9559-0127>
- <sup>3</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2421-4471>
- <sup>4</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9246-706X>

| Anahtar Kelimeler                                   | Öz   |
|---|--|
| Spektral İvme<br>Deprem<br>TBDY 2018<br>DBYBHY 2007 | <i>Tasarım aşamasında yapılara etkiyecek deprem yüklerinin belirlenebilmesi için statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Statik analiz yöntemlerinden biri de tasarım ivme spektrumlarının hesaplanmasıdır. 2007 yılından itibaren kullanılmakta olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yönetmelik (DBYBHY) 2019 yılından itibaren kaldırılıp yerine Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmada, her iki yönetmeliğe göre tanımlanan spektral ivme değerleri ile zemin köşe periyotları Eskişehir'deki farklı zemin sınıfları için karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Eskişehir il merkezine ait 40 adet sondaj verisi kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. DBYBHY 2007'de Eskişehir için tanımlanan zemin köşe periyotları aynı yerel zemin sınıfı için sabit iken, TBDY 2018 için bu değerler, sondajın yapıldığı bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, TBDY 2018'den elde edilen zemin köşe periyotlarının aynı zemin sınıfı için bile olsa küçük farklılıklar gösterirken, aynı yerel zemin sınıfı için spektral ivmelerde meydana gelen değişimin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.</i> |

### COMPARISON OF SPECTRAL CHARACTERISTICS ACCORDING TO 2007 AND 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODES: ESKİŞEHİR CASE

| Keywords  | Abstract  |
|---|---|
| Spektral Acceleration<br>Earthquake<br>TEC 2018<br>TEC 2007 | <i>Earthquake loads that will act over a structure can be determined by static and dynamic methods. One of the static analysis methods is the calculation of design acceleration spectra. 2007 Turkish Earthquake Code was replaced by 2018 Turkey Earthquake Code. Spectral acceleration values defined according to both regulations and soil predominant periods were compared for different soil classes in Eskişehir. Calculations were made using the data of 40 drillings carried out in Eskişehir city center. The predominant periods defined for Eskişehir in the 2007 Turkish earthquake code are constant for same local soil class. These values for the 2018 Turkish Earthquake Code vary depending on the region where the drilling is done. Results revealed that predominant periods differ slightly from each other for the same soil class while change in spectral accelerations is more pronounced for same local soil class according to 2018 Turkish Earthquake Building code.</i> |

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 23.12.2021

Submission Date

: 23.12.2021

Kabul Tarihi

: 14.07.2022

Accepted Date

: 14.07.2022

\* Sorumlu yazar; e-posta : erenbayrakci@eskisehir.edu.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

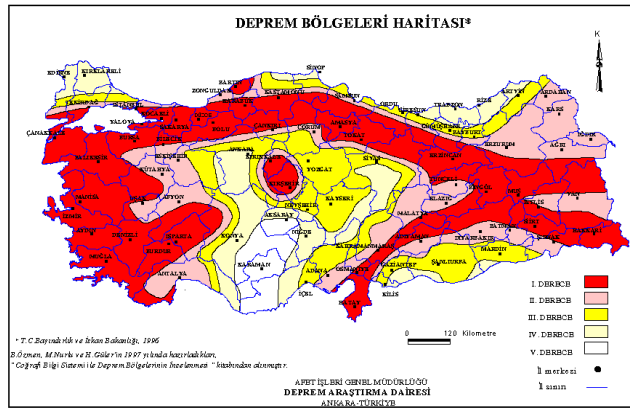
This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

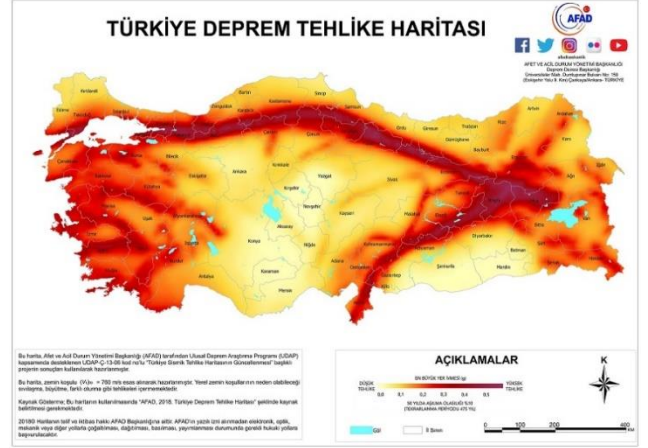
Türkiye, tarih boyunca yıkıcı depremlere maruz kalmıştır. Sınırlarımız içerisinde yer alan sırasıyla yaklaşık 1000 ve 400 km uzunlukları olan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay hatları gibi aktif faylar ülkemizi tehdit etmektedir. 2007 DBYBH incelendiği zaman coğrafi ve yerleşim alanları itibarıyla ülkemizin oldukça büyük bir kısmının deprem bölgelerinde olduğu görülmektedir (İMO, 2010). Olası depremlerde yaşanacak olan can ve mal kayıplarını azaltmak için ülkemizde yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanması konusu oldukça önem arz etmektedir.

Depreme dayanıklı tasarım yapabilmek ve deprem yükü hesaplarını gerçekleştirebilmek için gerekli sınırlamalar deprem yönetmeliklerinde verilmektedir. 1940 yılından itibaren; 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 olmak üzere ülkemizde 10 farklı deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. 1 Ocak 2019'dan itibaren kullanılması zorunlu olan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ise bu yönetmeliklerin sonucusudur (Nemutlu, Balun, Benli ve Sarı, 2020).

Yeni yönetmelikle birlikte Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) tarafından kullanıma sunulmuştur (AFAD, 2018). 2007 DBYBH'deki Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında sabit katsayılar ile çalışmalar yapılırken, yeni tehlike haritasında koordinata dayalı ivme parametreleriyle hesaplamalar yapılabilmektedir. Eski ve yeni deprem yönetmeliklerine temel kaynak oluşturan Deprem Tehlike Haritaları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (AFAD, 2007)



Şekil 2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)

DBYBH-2007'den farklı olarak TBDY-2018 ile yer ivmeleri yanı sıra spektral ivme değerlerine de ulaşma olanağı bulunmaktadır. Yer ivmesi değerleri ve spektral ivme değerleri 43 yıl, 72 yıl, 475 yıl ve 2475 yıl dönüş periyotlarına göre hesaplanmıştır.

Bir deprem sırasında yapılara etkiyecek olan dinamik yüklerin bulunabilmesi amacıyla, tek serbestlik dereceli sistemler için belirli bir sönüm oranında en yüksek ivme, hız veya yer değiştirme değerlerinin hangi frekans veya periyoda karşılık geldiğini gösteren tepki spektrumları kullanılmaktadır. Tasarım spektrumları, meydana gelmiş birçok depremin yer hareketi kaydının istatistiksel analizi ile oluşturulmuş tasarım eğrileridir. Bir depremin yer hareketi kayıtları ve bu kayıtlardan elde edilebilen deprem tepki spektrumu ise yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Tasarım yapılırken sismik tasarımın göz önünde bulundurulması ve gelecekte meydana gelmesi muhtemel depremlerin binalara etkisinin araştırılması bir zorunluluktur (Fan, Wang ve Xiao 2018).

Depreme dayanıklı yapı tasarımı zemin ve yapı etkileşiminin doğru tanımlanması ile mümkün olmaktadır. Bir zemin yapısı için tasarım spektrumlarının belirlenebilmesi bölgenin depremselliği ve yerel zemin koşulları ile ilintilidir. Spektrum eğrilerinde meydana gelen değişiklikler yapıyı da etkilemektedir. Yapının yer değiştirme eğilimleri tasarım spektrumlarına bağlı olarak değişmektedir (Karasin, Işık, Demirci ve Aydın 2020).

Tasarım ve deprem etki spektrumlarının belirlenmesiyle ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ptilakis, Gazepis ve Anastasiadis (2004) tarafından yapılan çalışmada, sismik zemin tepkisi özelliklerinin kapsamlı bir teorik ve deneysel analizine dayalı, farklı saha koşulları için geliştirilmiş spektral büyütme faktörleri önerilmiştir. Sanchez-Silva ve Arroyo (2005) farklı kabul edilebilirlik kriterleri kullanarak spektral tasarım ivme değerlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma

gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, tasarım ivmesinin aşılması olasılığını içeren olasılıksal bir tasarım spektrumu önermektedir. Raghu Kanth ve Iyengar 2007 yılında sismolojik bir modele dayanarak yaptıkları çalışmada, büyüklüğün ve kaynaktan sahaya olan mesafenin bir fonksiyonu olarak %5 sönümlü tepki spektrumunu tahmin eden, anakaya ve zemin koşullarını da kapsayan ampirik bir ilişkiye ulaşmak için Hindistan'daki yer hareketini istatistiksel olarak incelemiştir. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçilmesi için verilen yöntemler ve şartlar Fahzan (2008) tarafından özetlenmiştir. Deprem bölgesi, bina önem katsayısı ve zemin sınıfı belirlenen örnekler üzerinde kayıtların ölçeklenmesi detaylı olarak açıklanmıştır. İyisan ve Haşal (2011) yaptıkları çalışmada zemin büyütmesine etkisi olan yerel zemin özelliklerinin etkisini incelemiştir. Bu amaçla 1D ve 2D dinamik analizler 6 adet deprem kaydının anakaya verileri kullanılarak tepe ve ova zeminlerinin davranışları incelenmiştir. Bu çalışmayla 19 farklı yüzey noktasının ivme zaman ve ivme spektrumlarının değişimi farklı depremler ve mesafe için incelenmiştir. Ye ve Wang (2011) yapısal dinamik analiz ve enerji değerlendirmesi için gerçek deprem ivme kayıtlarının seçimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Gerçek deprem ivme kayıtları için veri tabanı oluşturma, kayıt tarama, seçim ilkesi, ölçekleme ayarları ve örnekleme boyutu için kriterler tartışılmıştır. Kayhan (2012) sezgisel armoni araştırması optimizasyon yöntemini kullanarak zaman tanım alanında yapılacak analizler için seçilen ivmelerin ölçeklendirilmesi için bir algoritma önerisi sunmuştur. Bu çalışma ile önerilen DBYBH yönetmeliğinde tanımlanmış olarak bulunan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel sınıfındaki zeminler için uygun olabilecek ivme spektrumlarının sunulan ölçeklendirme metoduyla elde edilebileceği gösterilmiştir. Kale ve Akkar (2015) yaptıkları çalışmada Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde seçtikleri bir lokasyon için olasılıksal sismik tehlike analiz sonuçlarına göre tasarım spektrumu kontrol periyotları ve zemin amplifikasyon katsayıları önermişlerdir. Farklı dönüş periyotlarına ve farklı zemin türlerine göre sonuçlar elde edilmiştir. Koçer vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Kocaeli, Eskişehir, Kayseri, Konya illeri için etkin yer ivme katsayıları ve illerin merkez koordinatlarına göre Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD)'ından alınan deprem ivme değerlerine bağlı olarak spektral ivme değerleri TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılmıştır. Bozer (2019) tarafından yapılan çalışmada, spektral ivme katsayıları DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 için karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar harita üzerinde verilmiştir. Spektral ivme değerlerinin özellikle zayıf zeminlerde, TBDY 2018'de birçok il merkezinde DBYBHY 2007'ye göre daha büyük olduğu gösterilmiştir. Nemutlu ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada Elazığ ve Bingöl illeri için tasarım spektrum ivmelerini hem DBYBHY 2007 hem de TBDY 2018 yönetmeliklerine göre incelemiştir. Bu çalışmada

ivme değerlerinin 2007 yönetmeliğinde sabit olduğu ancak 2018 yönetmeliğinde koordinatlara göre değiştiği için incelenen spektrumlarda farklılıklar görülmüştür. Dávalos ve Miranda (2021) tarafından yapılan çalışma, yapının titreşim periyodunun beşte biri ile üç katı arasındaki %5 sönümlü spektral koordinatların geometrik ortalaması olarak tanımlanan  $S_{a,avg}$ 'in tarihsel gelişimini özetlemiş ve  $S_{a,avg}$ 'in yatay bileşeni için bir yer hareketi tahmin modeli sunmuştur. Civelekler, Okur ve Afacan, (2021) ise Eskişehir ili için 42 sondaj verisini değerlendirerek yerel zemin karakteristikleri ve dinamik davranışı modellemiştir.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir il merkezine ait 40 adet sondaj verisi temin edilmiş ve DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 'de tanımlanan spektral ivme değerleri ile zemin köşe periyotları belirlenerek farklı zemin sınıfları için karşılaştırılmıştır. Sondaj verileri 080240 No'lu "Eskişehir Yerleşim Yeri, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması" Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi'nden elde edilmiştir (Güney vd., 2013).

## 2. DBYBHY (2007) Elastik Tasarım Spektrumu

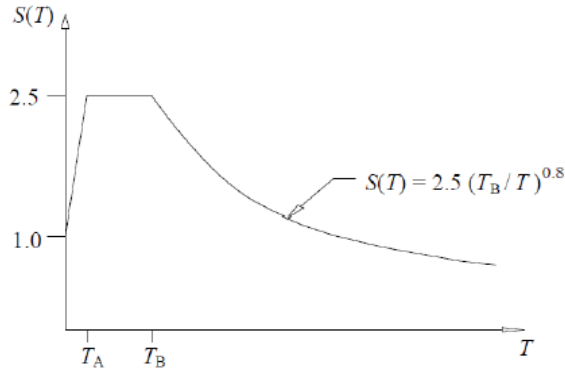
2007 deprem yönetmeliğinde (DBYBHY 2007) tanımlanan spektrum katsayısı  $S(T)$ , bina doğal periyoduna ve yerel zemin koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Yine yönetmeliğe göre, köşe zemin periyotları ( $T_A$  ve  $T_B$ ) yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu periyotlar sabit katsayılar halinde verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1

### Zemin Köşe Periyotları (DBYBHY 2007)

| Yerel Zemin Sınıfı | $T_A$ (Saniye) | $T_B$ (Saniye) |
|--------------------|----------------|----------------|
| Z1                 | 0.10           | 0.30           |
| Z2                 | 0.15           | 0.40           |
| Z3                 | 0.15           | 0.60           |
| Z4                 | 0.20           | 0.90           |

Şekil 3'de, DBYBHY (2007)'de verilmiş olan bina doğal titreşim periyoduna bağlı spektrum katsayılarının grafiği gösterilmiştir. Tasarım için gerekli olan elastik ivme spektrumu belirlenirken, Şekil 3'de verilen spektrum katsayılarının deprem bölgesine göre tespit edilmiş etkin yer ivmesi ve bina önem katsayısı ile çarpımından faydalanılmaktadır. Deprem bölgesine bağlı etkin yer ivmesi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. DBYBHY (2007) Spektrum Katsayıları

Tablo 2

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A<sub>0</sub>) (DBYBHY, 2007)

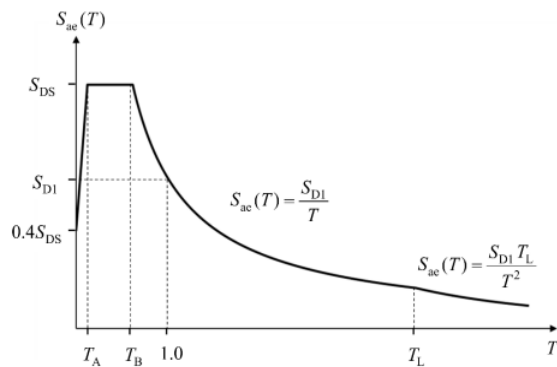
| Deprem Bölgesi | A <sub>0</sub> |
|----------------|----------------|
| 1              | 0.40           |
| 2              | 0.30           |
| 3              | 0.20           |
| 4              | 0.10           |

### 3. TBDY (2018) Elastik Tasarım Spektrumu

2018 deprem yönetmeliğinde (TBDY, 2018) tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu (S<sub>ae</sub>(T)), yer çekimi ivmesi cinsinden doğal titreşim periyodu ile kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S<sub>DS</sub>) ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S<sub>D1</sub>) parametrelerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. DBYBHY (2007)'de spektrum köşe periyotları zemin grubuna bağlı olarak sabit katsayılar olarak verilmişken, TBDY (2018)'de aşağıda verilmiş Eş.1 ve Eş.2 ile belirlendiği için konuma ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şekil 4'de, TBDY (2018)'de verilmiş olan tasarım için gerekli olan elastik ivme spektrumu grafiği gösterilmiştir.

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1)$$

$$T_A = 0.2T_B \quad (2)$$



Şekil 4. TBDY (2018) Elastik Tasarım İvme Spektrumu

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı Eş.3 ile ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı Eş.4 ile hesaplanmaktadır. S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub> değerleri, Türkiye Deprem Tehlike Haritasında kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı olarak tanımlanmıştır. F<sub>s</sub> ve F<sub>1</sub> değerleri ise, Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterildiği gibi, TBDY (2018)'de yerel zemin etki katsayıları olarak tanımlanmıştır.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (4)$$

Tablo 3

Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Olarak F<sub>s</sub> Katsayıları (TDBY-2018)

| Yerel Zemin Sınıfı | Kısa Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F <sub>s</sub> |                       |                       |                    |                       |                       |
|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    | S <sub>s</sub> ≤ 0.25                                       | S <sub>s</sub> = 0.50 | S <sub>s</sub> = 0.75 | S <sub>s</sub> = 1 | S <sub>s</sub> = 1.25 | S <sub>s</sub> ≥ 1.50 |
| ZA                 | 0.8   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                | 0.8                   | 0.8                   |
| ZB                 | 0.9   | 0.9                   | 0.9                   | 0.9                | 0.9                   | 0.9                   |
| ZC                 | 1.3   | 1.3                   | 1.2                   | 1.2                | 1.2                   | 1.2                   |
| ZD                 | 1.6   | 1.4                   | 1.2                   | 1.1                | 1                     | 1                     |
| ZE                 | 2.4   | 1.7                   | 1.3                   | 1.1                | 0.9                   | 0.8                   |
| ZF                 | Sahaya özel zemin davranış analizi yapılır                  |                       |                       |                    |                       |                       |

Tablo 4

Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Olarak F<sub>1</sub> Katsayıları (TDBY-2018)

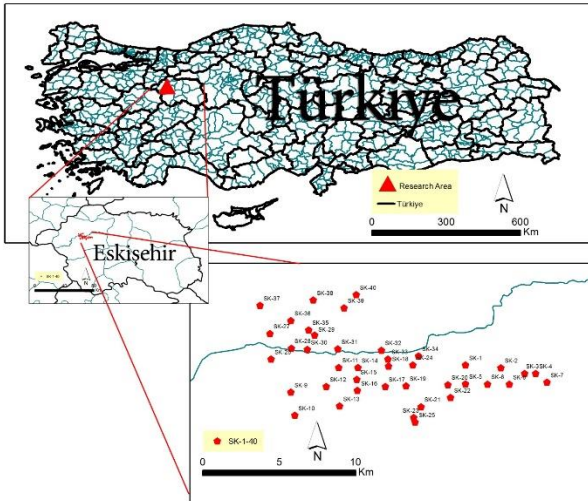
| Yerel Zemin Sınıfı | 1 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F <sub>1</sub> |                       |                       |                      |                       |                       |
|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    | S <sub>s</sub> ≤ 0.10   | S <sub>s</sub> = 0.20 | S <sub>s</sub> = 0.30 | S <sub>s</sub> = 0.4 | S <sub>s</sub> = 0.50 | S <sub>s</sub> ≥ 0.60 |
| ZA                 | 0.8   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                  | 0.8                   | 0.8                   |
| ZB                 | 0.8   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                  | 0.8                   | 0.8                   |
| ZC                 | 1.5   | 1.5                   | 1.5                   | 1.5                  | 1.5                   | 1.4                   |
| ZD                 | 2.4   | 2.2                   | 2                     | 1.9                  | 1.8                   | 1.7                   |
| ZE                 | 4.2   | 3.3                   | 2.8                   | 2.4                  | 2.2                   | 2                     |
| ZF                 | Sahaya özel zemin davranış analizi yapılır                      |                       |                       |                      |                       |                       |

TBDY (2018) yerel zemin sınıfı tanımlaması DBYBHY (2007)'e göre farklılık göstermektedir. İsimlendirme dışında, belirlenmesi açısından ele alınan faktörler de güncellenmiştir. Yeni yönetmeliğe göre, zemin tabakalarının üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, ortalama drenajsız kayma dayanımı ve standart penetrasyon darbe sayısı (N<sub>60</sub>) değerleri dikkate alınarak yerel zemin sınıfları tayin edilmektedir.

### 4. Çalışma ve Bulgular

Çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde ait 40 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Sondaj derinlikleri kaya tabakasına rastlanılmadığı sürece 30 metre olarak seçilmiştir. Sondajlar sırasında her 1.5 metrede bir standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılmıştır. Yapılan

sondajların coğrafi koordinatları Şekil 5’de verilmiştir. Sondaj ile elde edilen zemin profili ve SPT sayılarına bağlı olarak 2007 deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları belirlenmiştir. Yapılan sondaj sonuçlarına göre Eskişehir’de 2007 deprem yönetmeliğine göre tüm yerel zemin sınıflarına rastlanabilmektedir. 2018 deprem yönetmeliğine göre, sondaj yapılan bölgelerde ZA, ZB, ZC, ZD, ZE yerel sınıflarına rastlanmıştır. 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre belirlenen zemin sınıfları Tablo 5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm sondajlar için elastik tasarım ivme spektrum grafikleri çizilmiş ve  $T_A$  ve  $T_B$  köşe periyotları belirlenerek Şekil 6’da gösterilmiştir. 2007 Deprem Yönetmeliğinde spektral elastik tasarım ivme değerlerinin hesaplanmasında yapı önem katsayısı da dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada 2007 deprem yönetmeliğine göre hesaplanan spektral tasarım eğrileri konutlar için hesaplanmış olup, yapı önem katsayısı “1” olarak kabul edilmiştir. 2018 deprem yönetmeliği için elde edilen veriler ise yönetmelikte tasarım yer hareketi düzeyi olarak belirtilmiş olan DD-2’ye uygun olarak elde edilmiştir.



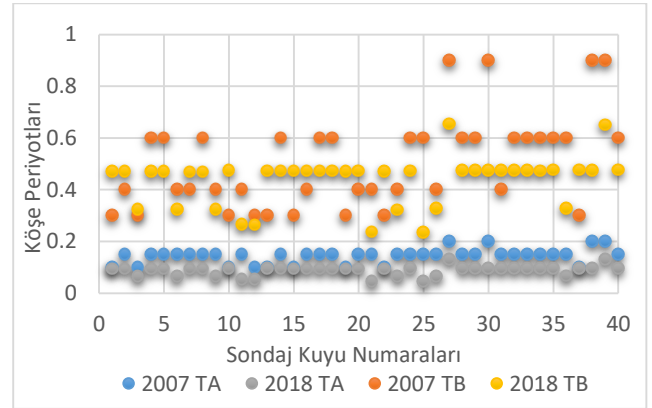
Şekil 5. Sondajların Coğrafi Koordinatları

Tablo 5

## Yerel Zemin Sınıfları

| Sondaj Kuyusu | Yerel Zemin Sınıfı |             | Sondaj Kuyusu | Yerel Zemin Sınıfı |             |
|---------------|--------------------|-------------|---------------|--------------------|-------------|
|               | DBYBHY (2007)      | TBDY (2018) |               | DBYBHY (2007)      | TBDY (2018) |
| SK-1          | Z1                 | ZD          | SK-21         | Z2                 | ZB          |
| SK-2          | Z2                 | ZD          | SK-22         | Z1                 | ZD          |
| SK-3          | Z1                 | ZC          | SK-23         | Z2                 | ZC          |
| SK-4          | Z3                 | ZD          | SK-24         | Z3                 | ZD          |
| SK-5          | Z3                 | ZD          | SK-25         | Z3                 | ZB          |
| SK-6          | Z2                 | ZC          | SK-26         | Z2                 | ZC          |
| SK-7          | Z2                 | ZD          | SK-27         | Z4                 | ZE          |
| SK-8          | Z3                 | ZD          | SK-28         | Z3                 | ZD          |
| SK-9          | Z2                 | ZC          | SK-29         | Z3                 | ZD          |

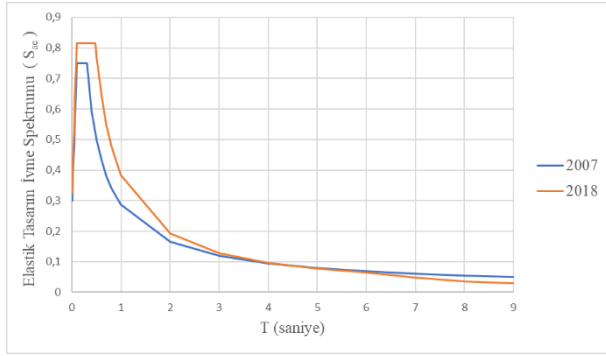
|       |    |    |       |    |    |
|-------|----|----|-------|----|----|
| SK-10 | Z2 | ZD | SK-30 | Z4 | ZD |
| SK-11 | Z1 | ZA | SK-31 | Z2 | ZD |
| SK-12 | Z2 | ZA | SK-32 | Z3 | ZD |
| SK-13 | Z1 | ZD | SK-33 | Z3 | ZD |
| SK-14 | Z1 | ZD | SK-34 | Z3 | ZD |
| SK-15 | Z3 | ZD | SK-35 | Z3 | ZD |
| SK-16 | Z1 | ZD | SK-36 | Z3 | ZC |
| SK-17 | Z2 | ZD | SK-37 | Z1 | ZD |
| SK-18 | Z3 | ZD | SK-38 | Z4 | ZD |
| SK-19 | Z3 | ZD | SK-39 | Z4 | ZE |
| SK-20 | Z1 | ZD | SK-40 | Z3 | ZD |

Şekil 6.  $T_A$  ve  $T_B$ 'nin Farklı Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması

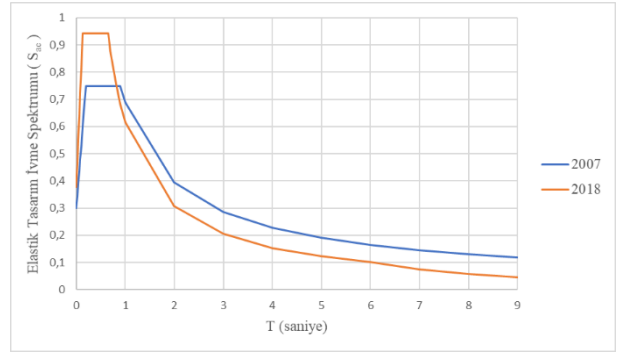
## 4.1. 2007 - 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması

2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerini karşılaştırılabilmesi için öncelikle 2007 deprem yönetmeliğinde yer alan her bir yerel zemin sınıfına göre gruplandırma yapılmıştır. Aşağıda verilen Şekil 5'te SK-1 için çizilen elastik tasarım spektral ivmeler gösterilmiştir. SK-1 sondaj kuyusu, 2007 deprem yönetmeliğine göre Z1, 2018 deprem yönetmeliğine göre ZD yerel zemin sınıfındadır.

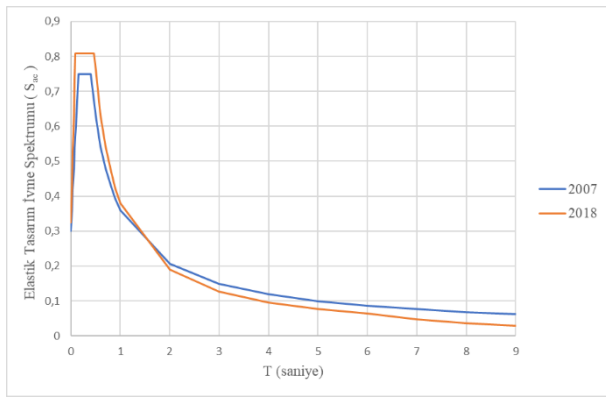
Spektral elastik tasarım ivmelerini bulabilmek için 2007 deprem yönetmeliğine göre Z2 yerel zemin sınıfına karşılık gelen sondaj kuyusu olarak SK-2, Z3'e karşılık SK-4 ve Z4'e karşılık olarak SK-39 seçilmiştir. Seçilen bu sondaj kuyularının (SK-2, SK-4 ve SK-39) 2018 deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfı ise sırasıyla ZD, ZD ve ZE olarak belirlenmiştir. Bu sondaj kuyuları için çizilen elastik tasarım ivme spektrum grafikleri Şekil 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir.



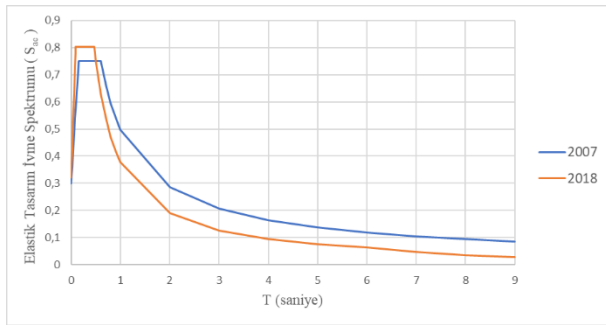
Şekil 7. SK-1'in 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış Elastik Tasarım İvme Spektrumu Grafikleri



Şekil 10. SK-39'un 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış Elastik Tasarım İvme Spektrumu Grafikleri



Şekil 8. SK-2'nin 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış Elastik Tasarım İvme Spektrumu Grafikleri



Şekil 9. SK-4'ün 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış Elastik Tasarım İvme Spektrumu Grafikleri

En büyük elastik tasarım ivme spektrumu 2007 deprem yönetmeliğine göre sabit bir değer (0,75) olarak belirlenirken, 2018 deprem yönetmeliğinde  $S_{Ds}$ 'e karşılık gelen  $S_{ae}(T)$  değeri konuma ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Elde edilen sonuçlar 2007 ve 2018 yönetmelikleri için karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı konumlardaki aynı yerel zemin sınıfları için 2018 yönetmeliğine göre de karşılaştırılmış ve Tablo 6'de gösterilmiştir.

Tablo 6

Yerel Zemin Sınıfına Bağlı  $T_A$ ,  $T_B$  ve  $S_{ae}(T)$  Karşılaştırması (TBDY, 2018)

| Zemin Sondaj Sınıfı | Sondaj Kuyusu | $T_A$ | $T_B$ | $S_{ae}(T)$ | Zemin Sondaj Sınıfı | Sondaj Kuyusu | $T_A$ | $T_B$ | $S_{ae}(T)$ |
|---------------------|---------------|-------|-------|-------------|---------------------|---------------|-------|-------|-------------|
|                     | SK-1          | 0,094 | 0,471 | 0,816       | SK-20               | 0,094         | 0,472 | 0,827 |             |
|                     | SK-2          | 0,094 | 0,470 | 0,809       | SK-22               | 0,094         | 0,470 | 0,826 |             |
|                     | SK-4          | 0,094 | 0,471 | 0,803       | SK-24               | 0,095         | 0,473 | 0,828 |             |
|                     | SK-5          | 0,094 | 0,471 | 0,820       | SK-28               | 0,095         | 0,475 | 0,848 |             |
|                     | SK-7          | 0,094 | 0,469 | 0,802       | SK-29               | 0,095         | 0,475 | 0,840 |             |
|                     | SK-8          | 0,094 | 0,469 | 0,811       | SK-30               | 0,095         | 0,474 | 0,846 |             |
| <b>ZD</b>           | SK-10         | 0,095 | 0,474 | 0,846       | <b>ZD</b>           | SK-31         | 0,095 | 0,475 | 0,840       |
|                     | SK-13         | 0,095 | 0,473 | 0,842       | SK-32               | 0,095         | 0,474 | 0,831 |             |
|                     | SK-14         | 0,095 | 0,473 | 0,844       | SK-33               | 0,095         | 0,474 | 0,832 |             |
|                     | SK-15         | 0,094 | 0,472 | 0,845       | SK-34               | 0,095         | 0,473 | 0,824 |             |
|                     | SK-16         | 0,094 | 0,472 | 0,839       | SK-35               | 0,095         | 0,476 | 0,839 |             |
|                     | SK-17         | 0,094 | 0,472 | 0,834       | SK-37               | 0,095         | 0,476 | 0,837 |             |
|                     | SK-18         | 0,094 | 0,472 | 0,834       | SK-38               | 0,095         | 0,475 | 0,825 |             |
|                     | SK-19         | 0,094 | 0,471 | 0,824       | SK-40               | 0,095         | 0,476 | 0,815 |             |
|                     | SK-3          | 0,065 | 0,324 | 0,772       | SK-23               | 0,064         | 0,322 | 0,810 |             |
| <b>ZC</b>           | SK-6          | 0,065 | 0,325 | 0,785       | <b>ZC</b>           | SK-26         | 0,065 | 0,327 | 0,836       |
|                     | SK-9          | 0,065 | 0,325 | 0,840       | SK-36               | 0,066         | 0,328 | 0,814 |             |
| <b>ZA</b>           | SK-11         | 0,053 | 0,266 | 0,542       | <b>ZA</b>           | SK-12         | 0,053 | 0,265 | 0,540       |
| <b>ZB</b>           | SK-21         | 0,047 | 0,237 | 0,586       | <b>ZB</b>           | SK-25         | 0,047 | 0,236 | 0,588       |
| <b>ZE</b>           | SK-27         | 0,131 | 0,654 | 0,957       | <b>ZE</b>           | SK-39         | 0,130 | 0,651 | 0,944       |

Tablo 6 incelendiğinde yerel zemin sınıfları aynı olsa bile sondaj yeri değiştiğinde hem köşe periyotlarda hem

de  $S_{ae}(T)$  değerlerinin değiştiği görülmektedir. ZD zemin sınıfı için  $T_A$  değerinin neredeyse aynı olduğu görülürken,  $T_B$  değerinin 0,469 ile 0,476 arasında değiştiği görülmektedir.  $S_{ae}(T)$  değerinin ise 0.802 ile 0.848 arasında değiştiği görülmektedir. ZC zemin sınıfında ise  $T_A$  ve  $T_B$  değerlerinin bu çalışma kapsamında göz ardı edilebilecek değişimler sergilerken,  $S_{ae}(T)$  değerinin 0,772 ile 0,840 arasında değiştiği ortaya konmuştur. ZA ve ZB zemin sınıflarında bu çalışma için lokasyona bağlı farklılıkların ihmal edilebilir olduğu görülmüştür. ZE zemin sınıfında da  $S_{ae}(T)$ 'nin 0,957 ile 0,944 olarak bulunduğu görülmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde ait 40 adet sondaj verisi kullanılarak 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre elastik tasarım ivme spektrum grafikleri çizilmiştir.  $T_A$  ve  $T_B$  köşe periyotları belirlenmiştir. Tüm sondajların iki yönetmeliğe göre yerel zemin sınıfları belirlenmiş, buna bağlı olarak köşe periyotlarının ve en büyük elastik tasarım ivme spektrumunun ( $S_{ae}(T)$ ) değişimi gözlemlenmiştir. Tüm sonuçlar 2007 ve 2018 yönetmelikleri için karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

❖ Yeni deprem yönetmeliği olan TBDY (2018)'de 4 adet deprem yer hareket düzeyine göre (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) elastik tasarım ivme spektrumları elde edilirken, DBYBHY (2007)'e göre tek deprem yer hareket düzeyine göre elde edilmektedir. Ayrıca, DBYBHY (2007)'e göre tasarıma esas teşkil eden elastik ivme spektrumu belirlenirken, spektrum katsayılarının deprem bölgesine bağlı etkin yer ivmesi ve bina önem katsayısı ile çarpılması gerekmektedir.

❖ DBYBHY (2007)'de dört farklı deprem bölgesi tanımlanmış ve buna bağlı olarak tanımlanmış sabit etkin yer ivme katsayıları verilmiştir. TBDY (2018)'de ise deprem bölgesi kavramı tamamen kaldırılmıştır. Türkiye Deprem Tehlike haritasına bağlı olarak ivme katsayıları koordinata dayalı elde edilmektedir.

❖ DBYBHY (2007)'de zemin köşe periyotları yerel zemin sınıflarına bağlı olarak sabit değerler olarak verilmiş ve "spektrum karakteristik periyotları" olarak tanımlanmıştır. TBDY (2018)'de ise köşe periyotları bölgenin spektral ivme değerleri ( $S_{D1}$  ve  $S_{D5}$ ) baz alınarak hesaplanmaktadır.

❖ Çalışmada, TBDY 2018'e göre belirlenen köşe periyotlarının yaklaşık olarak aynı olduğu ancak tasarıma esas teşkil eden elastik ivme spektrumu değerlerinin aynı yerel zemin sınıfına sahip farklı bölgelerde farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Yine aynı sondaj kuyuları için, TBDY 2018'e göre elde edilen

elastik tasarım ivme spektrumu değerleri genel olarak TDY 2007'ye göre daha yüksektir. Buna bağlı olarak, çalışma verileri ile sınırlı olmakla beraber, TBDY 2018'in TDY 2007'ye göre genel olarak zayıf zemin sınıfları için daha güvenli tarafta kaldığını söylemek mümkündür.

❖ Çalışma verilerinden edilen sonuçlara göre zemin sınıfı ZA'dan ZE'ye doğru değiştikçe elde edilen  $S_{ae}(T)$  değerlerinin lokasyona bağlı olarak daha fazla değişim gösterdiği elde edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonunca kabul edilen 080240 No'lu proje verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Yazarlar, proje çalışanlarına teşekkür eder.

## Araştırmacıların Katkısı

Eren BAYRAKCI, sondaj verilerini 2007 deprem yönetmeliğine uygun olarak değerlendirdi. Eren BALABAN, sondaj verilerini 2018 deprem yönetmeliğine göre değerlendirdi. Mehmet İnanç ONUR, elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını yaptı. Yücel GÜNEY ise bu makalede kullanılan sondaj verilerinin elde edildiği projenin yürütücüsüdür. Tüm yazarlar makalenin yazımında görev aldı. Dört yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2018). <https://www.afad.gov.tr/>
- Bozer, A. (2020). Tasarım spektral ivme katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre karşılaştırması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11 (1), 393-404. DOI: 10.24012/dumf.559965.
- Civelekler, E., Okur, V.D. ve Afacan, K.B. (2021). A study of the local site effects on the ground response for the city of Eskişehir, Turkey, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80, 5589-5607 DOI:10.1007/s10064-021-02285-4.
- Dávalos, H., ve Miranda, E., (2021). A ground motion prediction model for average spectral acceleration, Journal of Earthquake Engineering, 25:2, 319-342, DOI: 10.1080/13632469.2018.1518278.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007), Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

- Fan, X., Wang, K., Xiao, S., (2018). Large-scale parallel computation for earthquake response spectrum analysis, *Engineering Computations*, 35, 800–817. Doi:10.1108/EC-08-2016-0294.
- Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., ... Akdeniz, E. (2013). Eskişehir yerleşim yerinde, CBS teknikleri kullanılarak geoteknik, yapı ve jeofizik bilgi sisteminin oluşturulması. Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No:080240.
- Türkiye’de deprem gerçeği ve hastanelerin durumu. (2010). İnşaat Mühendisleri Odası (İMO). Erişim adresi:[https://www.imo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/7c2a65b264b5bda\\_ek.pdf?dergi=138](https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7c2a65b264b5bda_ek.pdf?dergi=138).
- İyisan, R., Haşal, M.E., (2011) ‘Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi’, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 4, 47-56.
- Kale, Ö., Akkar, S., Kale, Ö. (2015). Tasarım spektrumu köşe periyotları ve zemin amplifikasyon katsayılarının olasılıksal sismik tehlike analizleri ile belirlenmesi, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir.
- Karasin, İ. B., Işık, E., Demirci, A. ve Aydın, M. C. (2020). Coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1319-1330. Doi:10.24012/dumf.682377.
- Kayhan, A. H., (2012), ‘Armoni araştırması ile ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirme’, İMO Teknik Dergi, 2012 5751-5775, Yazı 368.
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M. G. ve Arslan, M. H. (2018). Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007’ye göre karşılaştırılması. *Selçuk Teknik Dergisi*, 17(2), 43-58.
- Nemutlu, Ö. F., Balun, B., Benli, A. ve Sarı, A. (2020). Bingöl ve Elâzığ illeri özelinde 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerine göre ivme spektrumlarının değişiminin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1341-1356. DOI: 10.24012/dumf.703138.
- Pitilakis, K., Gazepis, C., Anastasiadis, A., (2004). Design response spectra and soil classification for seismic code provisions, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No: 2904.
- Raghu Kanth, S. T. G. ve Iyengar. R. N. (2007), Estimation of seismic spectral acceleration in Peninsular India. *Journal of Earth System Science*, 116, 199–214, <https://doi.org/10.1007/s12040-007-0020-8>.
- Sanchez-Silva, M., Arroyo, O., (2004). Comparing target spectral design acceleration values by using different acceptability criteria, *Structural Safety*, 27, 73–91. Doi:10.1016/j.strusafe.2004.08.001.
- Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
- Ye, X. G., Wang D. C. (2011). Selection of real earthquake accelerograms for structural dynamic analysis and energy evaluation. *Science China Technological Sciences*, 54: 2878-2885. Doi: 10.1007/s11431-011-4541-7.



**TANE ŞEKLİNİN GALEN CEVHERİNİN FLOTASYONUNA VE TOPAKLANMASINA ETKİSİ**Turan UYSAL<sup>1</sup>, Onur GÜVEN<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Munzur Üniversitesi, Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tunceli, Türkiye Adresi, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1643-6725><sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye Adresi, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5267-9153>

| Anahtar Kelimeler   | Özet   |
|---|--|
| <i>Galen,<br/>Şekil Faktörü,<br/>Topaklanma,<br/>Flotasyon.</i> | <i>Farklı şekil faktörlerine sahip tanelerle yürütülen flotasyon çalışmalarında daha köşeli tanelerin yuvarlak tanelere nazaran daha yüksek verimle kazanıldığı bilinmektedir. Bu durum flotasyon işlemlerinde şekil faktörünün rolünü göstermekte olup, uygulamalarda uygun tane morfolojisi ile önemli kazanımlar sağlanılabilmektedir. Bu çalışmada ise galen flotasyonu üzerine tane şeklinin etkisi çalışılmıştır. Bu amaçla -74+38 µm boyutunda hazırlanmış galen için şekil faktörü analizi yapılmıştır. Farklı şekil faktörüne sahip numunelere farklı KAX konsantrasyonlarında mikro-flotasyon ve agregasyon işlemleri yapılmıştır. Mikro-flotasyon sonuçlarına göre KAX konsantrasyonu na bağlı olarak artan tane-kabarcık etkileşimlerinde köşeli tanelerin kabarcıkla daha iyi bağlanmasıyla doğru orantılı olarak şekil faktörünün etkisinin arttığı ancak yüksek konsantrasyonlarda bu etkinin tam olarak gözlenmediği saptanmıştır.</i> |

**THE EFFECT OF SHAPE FACTOR ON FLOTATION AND AGGREGATION OF GALENA ORE**

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| <i>Galena,<br/>Shape Factor,<br/>Aggregation,<br/>Flotation.</i> | <i>As well-known, the flotation studies performed with particles assaying different shape factors showed that more angular particles can be floated with higher recovery values. This finding presents the role of shape factors on flotation processes and also suggested that higher incomes can be obtained by suitable particle morphology. In this study, the effect of shape factor on galena flotation was investigated. For this aim, shape factor analysis was performed for particles within the -74+38 µm size range. Micro-flotation and aggregation tests were carried out with samples of different shape factors under different KAX concentrations. According to the micro-flotation results, the bubble-particle interactions increased depending on the KAX concentration. Thus, the effect of the shape factor increased in accordance with better interactions of angular particles with bubbles. However, this effect was not fully observed at high concentrations.</i> |

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Araştırma Makalesi          | Research Article             |
| Başvuru Tarihi : 08.02.2022 | Submission Date : 08.02.2022 |
| Kabul Tarihi : 10.08.2022   | Accepted Date : 10.08.2022   |

**1. Giriş**

Cevher hazırlamada öğütme işleminin türü ve koşullarının tane morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye

sahip olduğu bilinmektedir. Taneler, minerallerin doğal yapısı ve boyut küçültme süreçlerinin bir sonucu olarak farklı morfolojik özellikler kazanırlar (Holt, 1981; Yekeler, Ulusoy ve Hiçyılmaz, 2004; Verrelli, Bruckard,

\* Sorumlu yazar; e-posta : [oguvn@atu.edu.tr](mailto:oguvn@atu.edu.tr)

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Koh, Schwarz ve Follink, , 2014). Tane morfolojisi tanelerin fiziksel bir niteliği olup başlıca şekil faktörü ve pürüzlülük olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan şekil faktörü olarak sınıflanan yuvarlaklık, köşelilik, yassılık gibi parametreler iki boyutlu olarak değerlendirilirken, pürüzlülük ise üç boyutlu olarak değerlendirilmektedir.

Flotasyon işleminde istenen tanelerin yüzebilirliğini sağlamak için tanelerin seçimli olarak hidrofob yapılması gerekir. Bu amaçla, minerallerin yapılarına özgü kollektör reaktifler kullanılır. Oksit, silikat ve tuz tipi minerallerde kullanılan reaktifler genellikle 12 CH<sub>2</sub> grubundan daha uzun zincir içeren sürfaktanlardan oluşurken, sülfürlü minerallerin yüzebilmesi için 2-5 CH<sub>2</sub> gibi kısa zincirli ksantatlar yeterli olmaktadır (Fuerstaneu ve Pradip, 2005; Chandra ve Gerson, 2009).

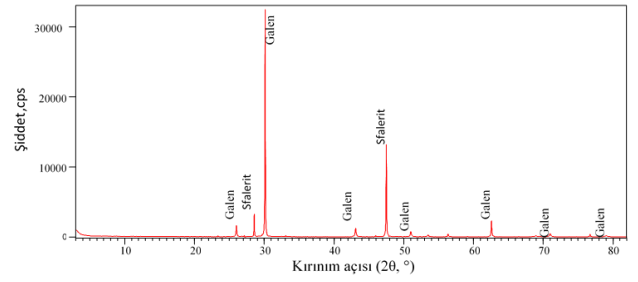
Topaklanma işleminde ise flotasyon işleminde olduğu gibi, tanelerin yapılarına özgü kimyasallar varlığında bir araya gelmektedir. Cevher hazırlamada özellikle katı-sıvı ayrımı işlemlerinde tanelerin agregasyon işlemi iki mekanizmaya bağlı olarak açıklanabilmektedir. Birinci mekanizma "koagülasyon" olup, yüzeylere inorganik iyon adsorpsiyonu ile tanelerin bir araya gelmesi sağlanırken, diğer mekanizma ise "flokülasyon" olup, taneler uzun zincirli organik polimerler ile biraraya getirilmektedir (Bulut ve Göktepe, 2012). Bu çalışma kapsamında incelenen topaklanma işleminde ise flotasyonla aynı şartlar altında (kollektörü türü, miktarı, pH değeri vb.) kondüsyonlanan tanelerin ortamda kabarcık olmadan ne ölçüde bir araya geldikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada tane şeklinin flotasyon verimine ve tane topaklanmasına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda galen numunesi kırılmış, öğütülmüş ve farklı sürelerde öğütülen tanelerin şekil faktörleri belirlenmiştir. Farklı şekil faktörü değerine sahip numunelerin mikro-flotasyon ve türbidite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçlarına bağlı olarak şekil faktörü değerleri ile flotasyon verimi ve topaklanma arasındaki ilişki araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Galen numunesi, Akmetal madencilğe (Adana) ait ocaklardan iri boyutlu, olabildiğince saf numuneler seçilerek alınmıştır. Dış görünüşleri itibariyle tipik bir galenin renk ve yapısal özelliklerine sahip numunenin içeriği XRD yöntemi ile belirlenmiş ve Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre numunenin %79 galen (PbS), %18 sfalerit (ZnS) minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. XRD analizine göre saptanan piklerin çoğunlukta ve yüksek pik şiddetinde galenden oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Galen Numunesine Ait XRD Grafiği

Galen minerali kübik sistemde kristallenmektedir. Kristallerin biçimleri bazen küp, bazen de oktaeder şeklindedir. Galenin yoğunluğu 7,8 g/cm<sup>3</sup> ve Mohs sertliği 2,5'dir. İkizlenmesi (111)'e göredir ve küçük kesitlerinde bile dilinimi görmek mümkündür. Galen minerali kırılğan, dövülebilir, opak bir mineraldir.

### 2.2. Yöntem

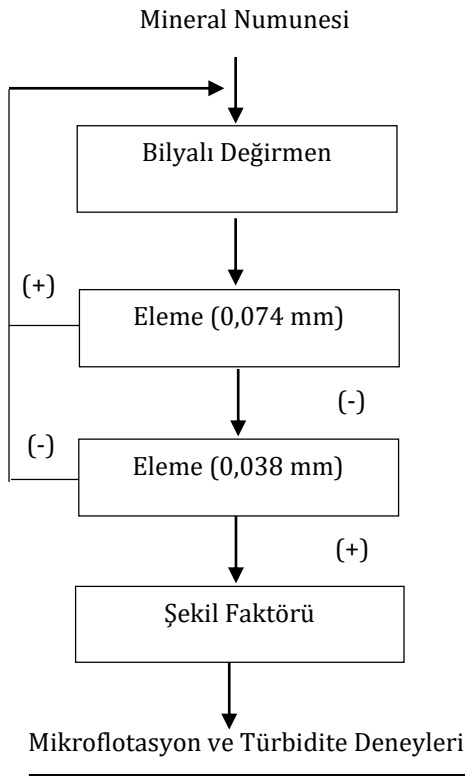
Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 2.2.1. Kırma ve Öğütme İşlemleri

İri boyutlu galen numunelerinin boyutunu küçültmek amacıyla numune sırasıyla çeneli, konili ve merdaneli kırıcıdan geçirilmiştir. Farklı prensiplerde yapılan kırma işlemlerinde, malzemelerin yuvarlaklık indislerine olan etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla her kırıcı için kırma parametreleri sabit alınmıştır. Sözü edilen bu parametreler; laboratuvar tipi çeneli kırıcı için, giriş ve çıkış açıklıkları sırasıyla 100 ve 20 mm, laboratuvar tipi merdaneli kırıcı (merdane çapı: 240 mm) için merdaneler arası mesafe 2 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Konili kırıcıda, konik kısmın mesafesine bağlı olarak boğaz açıklığıyla ağız açıklıkları malzemenin tamamı 6 mm altına incek şekilde ayarlanmıştır. Öğütme işlemleri için merdaneli kırıcı çıkışından elde edilen galen numunelerinden en düşük yuvarlaklığa sahip olan -2+1 mm boyut grubu seçilmiştir. Malzemelerin aşırı öğünmesini önlemek ve şekil faktörünün kontrolünü sağlamak amacıyla öğütme deneyleri aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere Şekil 2'de verilen kırma ve öğütme işlemlerini içeren bir boyut küçültme devresi uygulanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere galen numuneleri çeneli, konili ve merdaneli kırıcılarda kırıldıktan sonra alınan temsili numuneler üzerinde, boyut analizi ve her bir boyut grubundan alınan temsili numuneler üzerinde görüntü analizi yapılmıştır.

Flotasyon çalışmaları için gerekli olan -74+38 µm boyut aralığında malzeme üretmek için bilyalı değirmen kullanılarak öğütme yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda

özellikle bu boyutun seçilmesinde, literatürde belirtildiği üzere daha düşük veya yüksek boyut aralıklarında, flotasyon verimlerinde oluşabilecek olası düşüşlerin önüne geçilmesinin yanı sıra bilhassa görüntü analizlerinde dar bir boyut aralığı kullanılarak flotasyon ve agregasyon deneylerinde tane morfolojisinin etkisinin daha iyi ortaya konulması amaçlanmaktadır (Trahar, 1981, Öteyaka ve Soto, 1995, Taşdemir, Taşdemir ve Öteyaka, 2007). Öğütme esnasında tanelerin şekil değişimini şekil faktörü analiziyle takip etmek amacıyla farklı öğütme sürelerinde (15, 30, 60, 120, 240, 480 ve 960 s) öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler Tablo 1’de verilen parametrelere bağlı kalınarak yapılmıştır. Her öğütme süresi ardından öğünen malzeme 74 µm ve 38 µm’lik eleklerden kuru olarak elenmiş ve 74 µm üstü malzeme ve 38 µm altı tekrar değirmene geri beslenerek ve U parametresi mümkün mertebe sabit tutularak öğütme işlemine devam edilmiştir. Öğütme sonucunda elde edilen -74+38 µm boyutundaki malzeme kuru eleme ile verimli bir eleme yapılamayacağından dolayı yaş eleme yapılması tartışılmış ancak galenin su ile temasında ortaya çıkabilecek olan korozyon ihtimaline karşı vazgeçilmiştir.



Şekil 2. Deneysel Akım Şeması

Tablo 1

-2+1 mm (Merdaneli Kırıcı Çıkışı) Boyut Grubu İçin Belirlenen Öğütme Parametreleri

| Parametreler                                  | Değerler |
|---|----------|
| Değirmen Hacmi (mL)                           | 5600     |
| Bilya Sayısı                                  | 30       |
| Bilyaların toplam ağırlığı (g)                | 4803     |
| Malzeme miktarı (g)                           | 658      |
| U değeri                                      | 0,5      |
| Bilya yükleme oranı (J)                       | 0,2      |
| Besleme boyutu (mm)                           | -2+1     |
| Bilya çapı (cm)                               | 3,0      |
| Görünür bilya yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> ) | 7,73     |
| Yığın yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )         | 2,94     |
| Ortalama bilya ağırlığı (g)                   | 160,1    |
| Mineral yükleme oranı (Fc)                    | 0,04     |

Tablo 1’de bulunan değirmen hacmi, malzemenin yığın yoğunluğu, bilya yoğunluğu, bilya ağırlığı gibi temel parametreler kullanılarak U değeri, bilya yükleme oranı ve mineral yükleme oranı gibi parametrelerin eldesinde ise aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3) kullanılmıştır (Çelik, 1977).

$$J = \frac{(\text{Ortalama bilya ağırlığı} / \text{Bilya yoğunluğu}) \times \frac{1}{0,6}}{(\text{Değirmen hacmi})} \quad (1)$$

$$Fc = \frac{(\text{Malzeme ağırlığı} / \text{Malzemenin yığın yoğunluğu})}{(\text{Değirmen hacmi})} \quad (2)$$

$$U = \frac{Fc}{0,4 \times J} \quad (3)$$

### 2.2.2. Görüntü Analizi

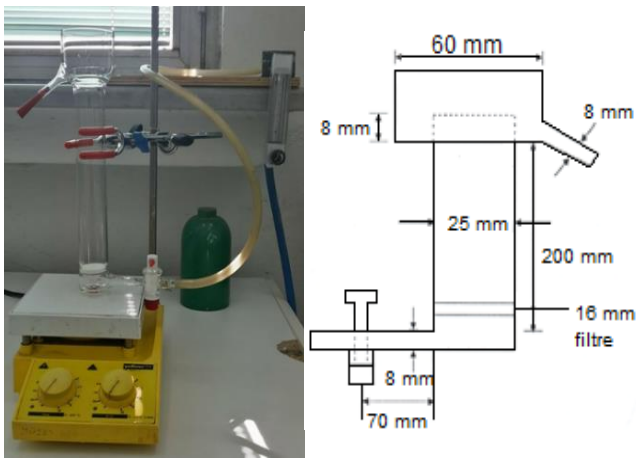
Galen numunelerinin morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla -74+38 µm boyut aralığına öğütülmüş numuneler öğütme süresine bağlı olarak şekil faktörü analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen her bir numunedeki tanelerin fotoğrafları dijital kamera kullanılarak alınmış ve her bir görüntü öğütme süresine bağlı olarak Image J programı kullanılarak analiz edilmiştir. Image J programı aracılığıyla tanelerin yuvarlaklık, uzama oranı, yassılık ve göreceli uzunluk parametreleri elde edilebilmektedir. Görüntü analizi programı ile yüksek hassasiyetli yuvarlaklık hesabı için kullanılan denklem aşağıdaki Eşitlik.(4)’te verilmiştir (Xia, 2017).

$$\text{Yuvarlaklık} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

Burada; "A" tanenin alanı ve "P" ise çevre uzunluğu olmak üzere program tarafından hesaplanan değerlerdir. Yuvarlaklık arttığı takdirde yüksek hassasiyetli yuvarlaklık 1'e yaklaşır. Eğer tanenin yuvarlaklığı azalıyorsa yüksek hassasiyetli yuvarlaklık 0'a yaklaşır.

### 2.2.3. Mikro-flotasyon Deneyleri

Mikro-flotasyon deneyleri 25x220 mm boyutlarında 150 mL hacimli 15 µm fritli kolon hücrede manyetik karıştırıcı ile yapılmıştır. Hücre içinde bulunan numunenin çökmesini engellemek için manyetik karıştırıcı tercih edilmiştir. Galen numunesinin flotasyonu için toplayıcı olarak ECS Kimya firmasından alınan Potasyum Amil Ksantat (KAX) kullanılmıştır. KAX ( $C_5H_{11}OCS_2K$ ; Mw: 202,37 g/mol), sülfürlü cevherlerin flotasyonunda yaygın olarak kullanılan, oldukça kuvvetli, seçici olmayan bir toplayıcıdır. Mikro-flotasyon deneyleri için farklı konsantrasyonlarda KAX çözeltisi hazırlanmış, hazırlanan KAX çözeltisinin içerisine -74+38 µm boyutunda 1 g galen numunesi eklendikten sonra 5 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Toplayıcı ile kıvamlandırılan süspansiyon mikro-flotasyon hücresine aktarıldıktan sonra, manyetik balık ile süspansiyon karıştırırken hücreye 1 dakika boyunca 50 cm<sup>3</sup>/dk akış hızında 3 Psi basınçlı N<sub>2</sub> gazı verilerek flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneyi sonucunda elde edilen yüzen ve batan ürünler filtre kağıdında süzülükten sonra etüvde kurutulmuş ve flotasyon verimleri hesaplanmıştır. Tüm flotasyon deneyleri doğal pH'da (7,35±0,03) ve kıvam süresi (5 dakika), karıştırma hızı (480 devir/dakika), hava akış hızı (50 cm<sup>3</sup>/dk) parametreleri sabit tutularak yapılmıştır. Şekil 3'de mikro-flotasyon deney düzeneği ve flotasyon hücresinin boyutları verilmiştir.



Şekil 3. Deneylerde Kullanılan Mikro-Flotasyon Deney Düzeneği ve Flotasyon Hücresinin Boyutları (Uysal, Karaağaçhoğlu ve Güven, 2021)

### 2.2.4. Türbidite Deneyleri

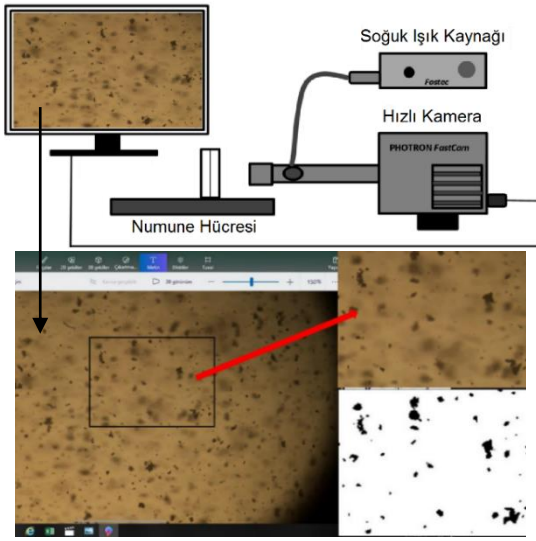
Tanelerin topaklanma davranışlarını incelemek amacıyla WTW Turb430IR model türbidite cihazı kullanılmıştır. Türbidite testleri, DIN ISO27027 standartına uygun taşınabilir türbidimetre ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem "Nephelometrik Yöntem" olarak da tanımlanmakta olup, bulanıklık derecesi belirli bir yönde dağılan ışık yoğunluğu esas alınarak türbidite belirlenmektedir. Türbidimetre ölçümleri öncesinde 0,02-1100 NTU bulanıklık farkını ölçebilecek hassasiyette olan türbidimetre, cihazın "AMCO Clear" standartlarına uygun olarak hazırlanmış 1000, 10 ve 0,02 NTU değerlerinde olan standart sıvılarıyla kalibre edilmiştir.

Türbidite deneyleri için farklı KAX konsantrasyonlarında %0,316 pülpte katı oranında (PKO) hazırlanan çözeltilere, numune eklendikten sonra 5 dakika kondüsyonlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 20 cm<sup>3</sup> hacimli cam tüpler (yükseklik: 48 mm, yarıçap: 20 mm) içinde türbidimetre cihazına yerleştirilerek türbidite ölçümleri alınmıştır. Çökme süresinin bulanıklığa olan etkisini belirlemek amacıyla 5, 15, 30, 45, 60 ve 90 saniyelerdeki bulanıklık değerleri (NTU, Nefelometrik Bulanıklık Birimi) ölçülmüştür. Türbidite ölçümlerinde yapılan ön testler sonucu uygun bulunan %0,316 PKO ve 30 s bekleme süresi esas alınmıştır.

### 2.2.5. Görüntü Alma İşlemi

Tane-tane etkileşimlerinin in-situ incelenmesi için tanelerin sıvı içindeki çökme davranışını görüntüleyen bir yöntem izlenmiştir.

Bu yöntemde görüntü alma işlemi için PHOTRON marka, FastcamMini model hızlı kamera, Fostec marka soğuk ışık kaynağı ve özel yaptırılan cam hücreler kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki mineral taneciklerinin topaklanma davranışları, hızlı kamera ile kısa süreli görüntülenmiş, alınan görüntüler Paint ve Excel üzerinde görüntü analiz programı kullanılarak işlenmiştir. Hızlı kamera ile görüntü alma ve işleme düzeneği Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Hızlı Kamera ile Görüntü Alma ve İşleme (Uysal, Karaağaçlıoğlu ve Güven, 2021)

Görüntü alma çalışmalarında, farklı hücre tiplerinde alınan görüntüler karşılaştırılmış, sıvı derinliğinin yüksek olduğu hücrelerde alınan görüntülerde tanelerin davranışları net olarak seçilememiştir. Sıvı derinliği azaldıkça serbest tanelerin davranışları daha iyi izlenebilmiş ve daha net görüntüler alınmıştır. Bu nedenle, temel çekimlerde kullanılmak üzere sıvı derinliği azaltılmış (2 mm), cam izleme pencerelerinin olduğu özel hücre yaptırılmış ve ölçümler bu hücrede yapılmıştır. Hızlı kamera ile alınan 30'ar saniyelik görüntüler, yavaşlatılmış mod'da kaydedilmiştir. Alınan bu görüntülerden, monitördeki yeniden izleme sırasında anlık görüntü kaydı yapılmıştır. Bu görüntü Paint programına aktarılarak, görüntü üzerinden belirlenen bölüm kopyalanarak Excel dosyasına aktarılmış ve görüntü işleme seçeneklerinden yararlanılarak görüntünün arka fonunda kalan gölgeler silinmiş ve taneler netleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Kırıcıların Tane Morfolojisine Etkisi

Çalışma kapsamında, galen numunelerinin kırma karakteristikleri üç farklı kırıcıda (çeneli, konili ve merdaneli) incelenmiştir. Kırma sonrası yapılan elek analizlerinden elde edilen farklı boyut aralıklarındaki numunelerin yuvarlaklık indisleri görüntü analizi ile belirlenmiştir. Görüntü analizinde alınan ölçümlerde her kırıcı çıkışında -2+1 mm boyut aralığındaki tanelerin görüntüleri Şekil 5'de verilmiştir.



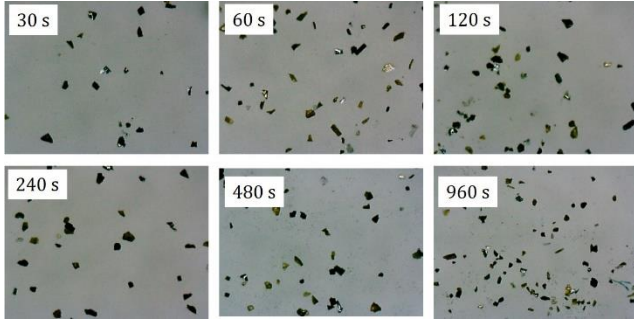
Şekil 5. Galen Numunesinde Sırasıyla Çeneli, Konili ve Merdaneli Kırıcı Çıkışı (-2+1 Mm) Tanelerin Görünümü

Şekil 5'de görüldüğü üzere çeneli kırıcı çıkışı taneler daha köşeli bir yapı gösterirken, konili ve merdaneli kırıcı çıkışı tanelerde, bu köşelerin kırılarak daha yuvarlak hale geldiği görülmüştür. Literatürde bu görüşü destekleyici olarak çeneli kırıcı ile elde edilen taneler ile yapılan morfolojik incelemelerde, tane şeklinin tane boyutuyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Tsubaki ve Jumbo, 1979). Bir diğer çalışmada, kırma sırasında yapılan besleme tipine bağlı olarak tane şeklinin değişebileceği belirtilmiştir. Çalışmada kırıcıya kademeli olarak yapılan besleme sonrasında tane-tane etkileşimleri sürekli beslemeye göre daha az olacağı belirtilmiştir. Ancak endüstriyel işlemlerde olduğu gibi sürekli besleme durumunda ise, kırıcı kırma sırasında bir tane matrisiyle kaplanacağı için, daha fazla tane-tane etkileşimi meydana gelecek ve sonrasında yapılacak öğütmeye beslenecek olan tanelerin daha yuvarlak olacağı belirtilmiştir (Durney ve Meloy, 1986). Bu durum endüstriyel anlamda değerlendirilecek olursa, flotasyon işlemleri öncesinde yapılan kırma ve öğütme işlemlerinde temsili numuneler alınarak tane morfolojisinin değerlendirilmesi durumunda, diğer parametreler sabit kalırken, flotasyon verimlerinde meydana gelen değişimlerin irdelenmesinde morfolojik değişimlerinde etkisi ortaya konulabilecektir. Dolayısıyla elde edilen bu sonuçlar, tanelerin kendi özellikleriyle ilintili olup, aynı şartlarda yapılan kırma işlemlerinde yüzeylerin aşınması ya da kırma sırasında köşelerinin kopması ile sürtünerek aşınması halinde, daha yüksek yuvarlaklığa sahip taneler elde edilebilmektedir. Bir başka çalışmada da belirtildiği şekilde, malzemeye uygulanan kuvvet ne kadar yüksek olursa, kırma işlemi sonrasında tanelerin yuvarlak kısımlarının öğütücü ortamla kırılması neticesinde daha köşeli ve düzensiz taneler meydana gelebilmektedir (Kaya, Hogg ve Kumar, 2002).

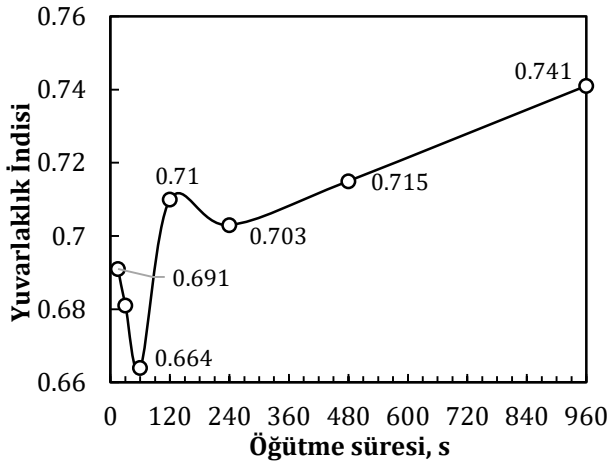
#### 3.2. Öğütmenin Tane Morfolojisine Etkisi

Yuvarlaklığı nispeten düşük olan -2+1 mm boyut grubunda galen numunelerinin öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi 15, 30, 60, 120, 240, 480 ve 960 saniye öğütme sürelerinde bilyalı değirmenlerde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra her bir öğütme süresinde elde edilen ürün elemeye tabi tutularak -74+38 µm boyutlu malzeme ayrılmış ve bu fraksiyonun yuvarlaklık indisi ve pürüzlülük ölçümleri

yapılmıştır. Galen numunesi için öğütme süresine bağlı yuvarlaklık indisi sonuçları ve her bir süreye ait temsili görüntüler Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Galen Numunesinin Öğütme Süresine Bağlı Temsili Görüntüler

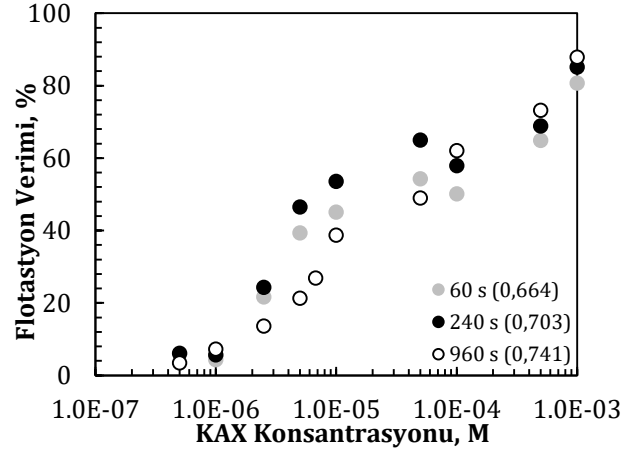


Şekil 7. Galen Numunesinin Öğütme Süresine Bağlı Şekil Faktörü Değişimi

Şekil 7'de şekil faktörünün değişimi incelendiğinde öncelikle azalma, artma, sonra tekrar hafifçe azalma ve tekrar artma şeklinde gözlenmiştir. Galenin kübik kristal yapısından dolayı yuvarlaklık indisinde çok belirgin bir değişimin olmadığı en düşük (60 s) ile en yüksek yuvarlaklığa (960 s) sahip tanelerin arasındaki değişimin sadece 0,077 olduğu belirlenmiştir. Şekil faktörüne bağlı olarak flotasyon çalışmaları için düşük, orta ve yüksek yuvarlaklığa sahip olan 60 s, 240 s ve 960 s öğütülmüş numuneler seçilmiştir.

### 3.3. Mikroflotasyon Denejlerinin Sonuçları

Farklı şekil faktörüne sahip galen numunelerinin kollektör konsantrasyonlarına bağlı olarak yapılan mikroflotasyon sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



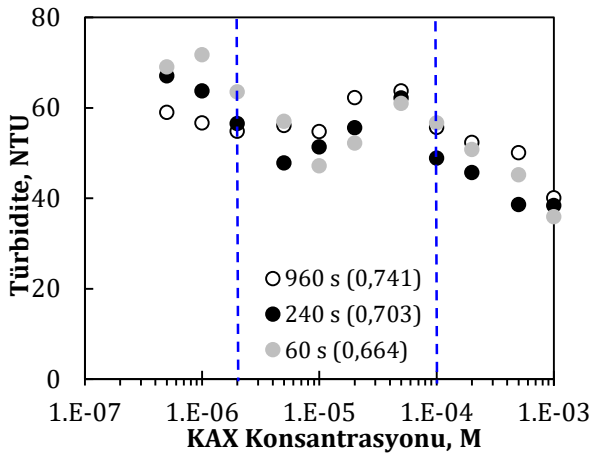
Şekil 8. Galen Numunesinin Flotasyon Verimine Şekil Faktörünün Etkisi

Şekil 8'de iki farklı bölge oluştuğu, birinci bölgede  $5 \times 10^{-5}$  M konsantrasyona kadar yuvarlaklığı orta derece olan 240 s'lik öğütme sonrasında yapılan flotasyonun en yüksek verime sahip olduğu bu konsantrasyondan sonra ise 240 s ve 60 s'de ani bir düşüş olduğu gözlenmiştir. İkinci bölgede yani yüksek konsantrasyonda yuvarlaklığın artması ile verimin arttığı gözlenmiştir. Tane köşeliliğinin etkisinin anlamlı bir sonuç vermemesinin nedeni galen numunesinin safliğinin düşük olması, yüksek konsantrasyonlarda kuvvetli bir kollektör olan KAX'ın selektiviteyi azaltması, şekil faktörü değerlerinin birbirine çok yakın olması ve farklı kırınım gösteren minerallerden (sfalerit, kuvars) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürde tek mineral sistemlerinde tane köşeliliği arttıkça flotasyon veriminin yükseldiği bilinmektedir (Ahmed, 2010; Rahimi, Dehghani ve Rezai, 2012; Güven ve Çelik, 2016; Uysal ve diğ., 2021a). Ancak bu numunede farklı kırılma özelliklerine sahip üç farklı (galen, sfalerit ve kuvars) cevher bulunduğu için, elde edilen yuvarlaklık değerinin değerlendirilmesinde, her bir mineralin etkisi farklı olmaktadır. Bu nedenle elde edilen yuvarlaklık değeri cevherde bulunan bütün minerallerin ortalama bir değeri olup, yalnızca majör bileşen olan galen ele alınmaktadır. Ancak tekli mineral sistemlerinde daha farklı sonuçlar elde edilebilmektedir (Güven ve Celik, 2016).

### 3.4. Agregasyon Denejleri

Tanelerin topaklanma davranışını ortaya çıkarabilmek için flotasyon işleminde kullanılan kollektör konsantrasyonlarında türbidite çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda galen numunesinin türbidite sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



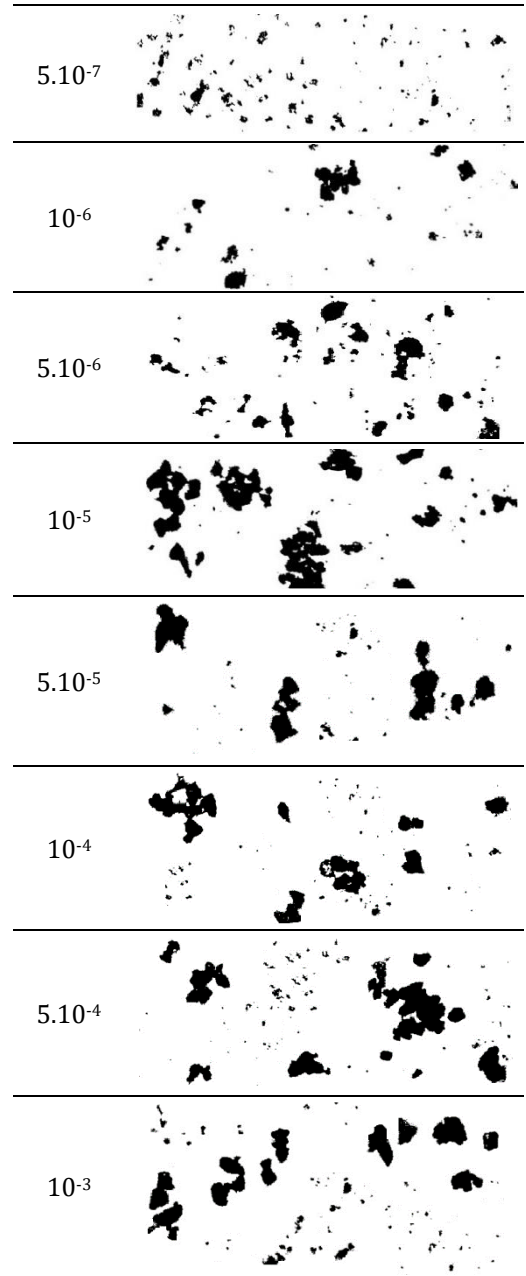
Şekil 9. Farklı Yuvarlaklığa Sahip Galen Numunelerinin Türbidite Sonuçları

Şekil 9'da farklı yuvarlaklığa sahip galen numunelerinin türbidite sonuçlarında, flotasyon sonucunda elde edilen korelasyon yakalanamamıştır. Bunun sebebi şekil faktörü değerlerinin birbirine çok yakın olması ve bu boyut aralığındaki galenin çok hızlı çökmesinden ötürü, türbidite ölçümleri alınmamıştır. En yüksek yuvarlaklığa sahip 960 s (0,741) ile en düşük yuvarlaklığa sahip 60 s (0,664) arasındaki fark sadece 0,077'dir. Nitekim 960 s (0,741) yuvarlaklığa sahip numunenin standart sapması  $\pm 0,082$  olması bu durumu açıklamaktadır.

### 3.5. Görüntü Alma İşlemleri

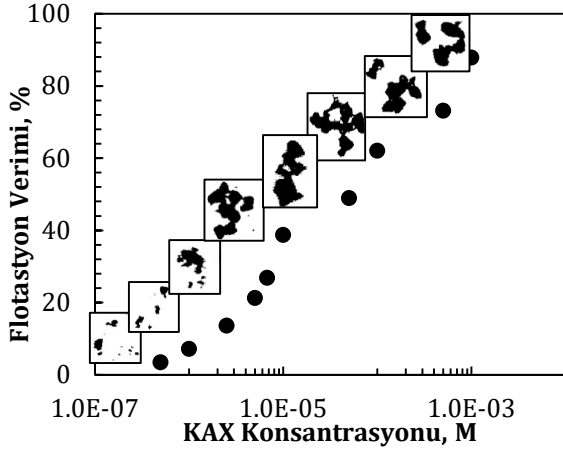
Flotasyon işlemine kullanılan konsantrasyonlarda ve aynı katı oranında hazırlanan süspansiyonların temsili hızlı kamera görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Konsantrasyona bağlı flotasyon-topaklanma ilişkisi ise Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 10 incelendiğinde ucuca bağlanarak büyüyen topakların oluştuğu ancak  $1 \times 10^{-4}$  M konsantrasyondan sonra bu topakların disperse olarak daha küçük topaklar haline dönüştüğü görülmüştür. Ayrıca flotasyon sonucuyla görüntülerinin uyumlu olduğu  $1 \times 10^{-4}$  M konsantrasyondan sonra topakların dağılmasıyla birlikte flotasyon veriminin düştüğü Şekil 10'da gözlenmiştir.



Şekil 10. Farklı KAX Konsantrasyonlarında Hazırlanan Galen Pülplerinin Hızlı Kamera ile Alınan Temsili Görüntüleri

Hızlı kamera görüntülerinden edinilen genel kanı, sfalerit ve galen gibi levhamsı veya uzun taneli minerallerde topaklanma zincir benzeri ucuca bağlanma şeklinde olduğu yorumu yapılmaktadır (Uysal, Güven ve Karaagacılıoğlu, 2021b). Galen mineralinde  $1 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonuna kadar ucuca topaklanma oluşumu gözlenmiş bu konsantrasyondan sonra topak belirli bir büyüklüğe ulaştığında duraylılığını kaybederek uç uca bağlandığı noktalardan koparak küçüldüğü gözlenmiştir.



Şekil 11. Konsantrasyona Bağlı Galen Numunesinin Flotasyon ve Topaklanma İlişkisi

Bu araştırma sonucunda öne sürülen temel olgu düşük KAX konsantrasyonlarında topaklanmanın olmadığı daha yüksek konsantrasyonlarda ise tekli topaklanmanın yanısıra topaklanmanın ikili, üçlü ve çoklu taneler halinde yoğun bir biçimde artarak devam ettiği ve buna paralel olarak flotasyon veriminde ani bir yükseliş olduğu belirlenmiştir. Nitekim flotasyon sırasında oluşan bu topakların kabarcıklara tutunmasıyla daha yüksek flotasyon verimleri elde edilmekte iken, türbidite ölçümlerinde ise daha düşük değerler elde edilebilmektedir. Ancak yüksek KAX konsantrasyonlarında ise oluşan topakların disperse olmasıyla birlikte flotasyon verim artış hızının hafif azalarak devam ettiği görülmüştür. Konuyla ilgili literatürde yer alan örneğin alümina flotasyonu ile ilgili bir çalışmada, düşük sodyum dodesil sülfat (SDS) konsantrasyonlarında daha pürüzlü tanelerin, yüksek konsantrasyonlarda ise daha köşeli tanelerin yüzebildiği gösterilmiştir. Bu durum ayrıca hızlı kamera görüntüleriyle de gösterilmiş olup, tane morfolojisinin tane-tane etkileşimlerinde olduğu kadar, tane-kabarcık etkileşimindeki rolü gösterilmiştir (Güven, Karakaş, Kodrazi ve Çelik, 2016). Bir diğer güncel bir çalışmada tane morfolojisinin sfeliritin flotasyon ve agregasyonuna olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmadan çıkan sonuçların aksine, daha yuvarlak tanelerle yapılan flotasyon sonuçlarının köşeli tanelere göre daha yüksek sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Benzer şekilde, daha köşeli tanelerin aynı sürelerde daha yüksek türbidite değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Ancak pürüzlülük açısından bir değerlendirme yapıldığında ise, pürüzlü olan tanelerin gerek daha yüksek flotasyon verimiyle gerekse daha düşük türbidite değerleriyle daha iyi agregasyon gösterilmiştir (Uysal ve diğ., 2021a)

Bu araştırma sonucunda elde edilen sonuçlarda tane şekil faktörünün gerek flotasyona gerekse agregasyon işlemlerine olan etkisi gösterilmiş olup, literatürde yer alan çalışmalarla uyum göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında farklı şekil faktörü değerlerine sahip galen numunelerinin flotasyon ve topaklanma davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Mikro-flotasyon deneylerinde KAX konsantrasyonu arttıkça şekil faktörünün etkisinin arttığı ancak yüksek konsantrasyonlarda bu etkinin tam olarak gözlenmediği saptanmıştır. Bunun nedeni kullanılan numunelerin çok yüksek saflıkta olmaması, yüksek konsantrasyonlarda kuvvetli bir kollektör olan KAX'ın selektiviteyi azaltması ve şekil faktörü değerlerinin birbirine çok yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
2. Farklı KAX konsantrasyonlarında yapılan türbidite ölçümlerinde  $5 \times 10^{-7}$  M KAX konsantrasyonunda türbidite değeri 69.07 NTU iken, daha yüksek konsantrasyonlarda oluşan agregatlar neticesinde bu değer 35.9 NTU'ya düştüğü belirlenmiştir. Nitekim hızlı kamera ile yapılan incelemelerde de benzer bir trend elde edilmiştir.

#### Teşekkür

Yazarlar çalışmaya verdiği destekten dolayı TÜBİTAK'a (117M659 no'lu Proje ve TÜBİTAK 2218) teşekkür ederler.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Turan UYSAL, literatür araştırması, deneylerin gerçekleştirilmesinde, sonuçların değerlendirilmesi ve makale yazımında, Onur GÜVEN literatür araştırması, sonuçların değerlendirilmesi ve makale yazımında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Ahmed, M.M. (2010). Effect of comminution on particle shape and surface roughness and their relation to flotation process, *International Journal of Mineral Processing*, 94 (3-4) 180-191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.02.007>
- Bulut, G. ve Göktepe, F. (2012). Madencilik ve cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan kimyasallar, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25, 1, 37-56.



- Chandra, A.P. ve Gerson, A.R. (2009). A review of the fundamental studies of the copper activation mechanisms for selective flotation of the sulfide minerals, sphalerite and pyrite. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145 (1-2), 97-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.001>
- Çelik, M.S. (1977). (Yüksek Lisans Tezi), Pennsylvania State Üniversitesi, USA.
- Durney, T. E. Ve Meloy, T.P. (1986). Particle shape effects due to crushing method and size. *International Journal of Mineral Processing*, 16, 109-123. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(86\)90078-5](https://doi.org/10.1016/0301-7516(86)90078-5)
- Fuerstenau, D. ve Pradip, P. (2005). Zeta Potentials in the flotation of oxide and silicate minerals. *Advances in Colloid and Interface Science*. 114-115, 9-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2004.08.006>
- Güven, O. ve Çelik, M.S. (2016). Interplay of particle shape and surface roughness to reach maximum flotation efficiencies depending on collector concentration. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 37 (6), 412-417. doi: <https://doi.org/10.1080/08827508.2016.1218873>
- Güven, O., Karakaş, F., Kodrazi, N. Çelik, M.S. (2016). Dependence of morphology on anionic flotation of alumina. *International Journal of Mineral Processing*, 156 (10), 69-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.06.006>
- Holt, C. B. (1981). The shape of particles produced by comminution-a review. *Powder Technology*, 28 (1):59-63. doi: [http://doi.org/10.1016/0032-5910\(81\)87010-6](http://doi.org/10.1016/0032-5910(81)87010-6)
- Kaya, E., Hogg, R. ve Kumar, S.R. (2002). Particle shape modification in comminution, *KONA*, 20, 188-195. doi: <http://doi.org/10.14356/kona.2002021>
- Öteyaka, B. ve Soto, H. (1995). Modeling of negative bias column for coarse particles flotation, *Minerals Engineering*, 8, (1-2), 91-100. doi: [http://doi.org/10.1016/09892-6875\(94\)00105-L](http://doi.org/10.1016/09892-6875(94)00105-L)
- Rahimi, M., Dehghani, F. ve Rezai, B. (2012). Influence of the roughness and shape of quartz particles on their flotation kinetics. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 19, 4, 284-289. doi: <http://doi.org/10.1007/s12613-012-0552-z>
- Taşdemir, A., Taşdemir, T. ve Öteyaka, B. (2007). The effect of particle size and some operating parameters in the separation tank and the downcomer on the Jameson cell recovery. *Minerals Engineering*, 20, 15, 1331-1336. doi: <http://doi.org/10.1016/mineng.2007.08/007>.
- Trahar, W.J. (1981). A rational interpretation of the role of particle size in flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 8,4, 289-327 doi: [http://doi.org/10.1016/0301-7516\(81\)90019-3](http://doi.org/10.1016/0301-7516(81)90019-3)
- Tsubaki J. ve Jimbo, G. (1979). A proposed new characterization of particle shape and its application. *Powder Technology*, 22, 161-169. doi: [http://doi.org/10.1016/0032-5910\(79\)80022-4](http://doi.org/10.1016/0032-5910(79)80022-4)
- Uysal, T., Güven O., Ozdemir, O., Karaagaciloglu, I.E., Tunç, B. ve Çelik, M.S. (2021a). Contribution of particle morphology on flotation and aggregation of sphalerite particles. *Minerals Engineering*, 165, 106860. doi: <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106860>
- Uysal, T., Güven O. ve Karaagaciloglu, I.E. (2021b). Tane pürüzlülüğünün galen mineralinin flotasyonu ve topaklanmasına etkisi. *Scientific Mining Journal*, 60(4), 191-196. doi: <http://doi.org/10.30797/madencilik.922988>
- Uysal, T, Güven, O., errelli, D.I., Bruckard, W.J., Koh, P.T.L., Schwarz ve M.P
- Verrelli, D.I., Bruckard, W.J., Koh, P.T.L., Schwarz ve M.P., Follink, B. 2014. Particle shape effects in flotation. Part 1: Microscale experimental observations, *Minerals Engineering*, 58, 80-89. doi: <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.01.004>
- Xia, W., 2017. Role of particle shape in the floatability of mineral particle: An overview of recent advances, *Powder Technology*, 317, 104-116. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.050>
- Yekeler, M., Ulusoy ve U., Hiçyılmaz, C. (2004). Effect of particle shape and roughness of talc mineral ground by different mills on the wettability and floatability. *Powder Technology*, 140 (1-2), 68-78. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2003.12.012>

## KURŞUNLU-DAĞDERE (KONYA) ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE CEVHER POTANSİYELİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Fetullah ARIK<sup>1</sup>, Zahide Seher ATEŞ<sup>2</sup>, Yeşim ÖZEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Konya

farik@ktun.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-0833-7778>

zahideseherates@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0272-4494>

yozen@ktun.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-2302-1958>

| Anahtar Kelimeler                        | Öz  |
|--|---|
| Jeokimya<br>Kurşunlu<br>Dağdere<br>Konya | <i>Kurşunlu ve Dağdere (Konya) civarında yaklaşık 132 km<sup>2</sup> lik bir alanın cevher potansiyeli araştırılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında Ladik Metamorfikleri'ne ait Silüriyen (?) -Permien yaşlı Sızma grubunda, rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Bozdağ formasyonu, fillit, metakumtaşı, rekristalize kireçtaşı, metaçört, şist ve metakarbonat olistolitlerinden oluşmuş Bağrıkurt formasyonu ve bu birimlerle yer yer ara seviyeli yer yer de dayklar şeklinde kesen Karadağ metamagmatikleri yer almaktadır. Ardıçlı grubunda ise, metakonglomera, fillit, metakumtaşı ve rekristalize kireçtaşlarıyla temsil edilen Bahçecik formasyonu ve bu birimle dereceli geçişli metakarbonat ve metakırıntılardan oluşan Ertuğrul formasyonu yer almaktadır. İnceleme alanındaki jeokimyasal analiz sonuçları bu birimler içerisinde yer alan cevherli numuneler içinde başlıca iki mineralizasyon grubu olduğunu göstermiştir. Bunlar, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık mineralizasyonları olarak tanımlanmıştır. Üst Devoniyen-Permien döneminde gerçekleşen magmatizma ile ilişkili olduğu düşünülen yüksek sıcaklık mineralizasyonunda yer alan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Pb, Zn ve Mo, bazı örneklerde oldukça yüksek olup Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 56.62'ye, Cu 255 ppm'e, Pb 685 ppm'e, Zn 1426 ppm'e ve Mo 72 ppm'e ulaşmaktadır. İkinci önemli mineralizasyon ise düşük sıcaklıklı mineralizasyon grubu olup Hg başta olmak üzere, Sb, As, Tl, Ag ve Au ile temsil edilmektedir. Bazı örneklerde Hg 100 ppm'e, Sb 182 ppm'e, As 951 ppm'e, Tl 20 ppm'e, Ag 3.3 ppm'e ve Au ise 63 ppb'ye ulaşmaktadır.</i> |

### GEOCHEMICAL FEATURES AND STATISTICAL EVALUATION OF THE ORE POTENTIAL OF THE REGION BETWEEN KURŞUNLU AND DAĞDERE (KONYA)

| Keywords                                     | Abstract   |
|--|--|
| Geochemistry<br>Kurşunlu<br>Dağdere<br>Konya | <i>The ore potential of an area of approximately 132 km<sup>2</sup> around Kurşunlu and Dağdere (Konya) was investigated and statistically evaluated. In the study area, in Silurian (?) -Permian aged Sızma group belonging to Ladik Metamorphics, Bozdağ formation consisting of recrystallized limestone, dolomitic limestone, and dolomites, Bağrıkurt formation consisting of phyllite, metasandstone, recrystallized limestone, metachert, schist and metacarbonate olistoliths, and Karadağ metamagmatics, which cut in the form of dykes and intermediate levels with these units are located. In the Ardıçlı group, Bahçecik formation represented by metaconglomerate, phyllite, metasandstone and recrystallized limestones and Ertuğrul formation consisting of gradual transitional metacarbonate and metaclastics with this unit are located. The results of the geochemical analysis in the study area showed that there are two main mineralization groups among the ore samples in these units. These are defined as high-temperature and low-temperature mineralizations. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Pb, Zn, and Mo, which take place in the high-temperature mineralization thought to be related to magmatism in the Upper Devonian-Permian period, are quite high in some samples, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reaches up to 56.62%, Cu reaches 255 ppm, Pb reaches 685 ppm, Zn reaches 1426 ppm, and Mo reaches 72 ppm. The second important mineralization is the low-temperature mineralization group, represented primarily by Hg, as well as by Sb, As, Tl, Ag, and Au. In some samples, Hg reaches 100 ppm, Sb reaches 182 ppm, As reaches 951 ppm, Tl reaches 20 ppm, Ag reaches 3.3 ppm, and Au 63 ppb.</i> |

Başvuru Tarihi : 16.04.2022  
Kabul Tarihi : 26.08.2022

Submission Date : 16.04.2022  
Accepted Date : 26.08.2022



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

İnceleme alanı Sızma Mahallesi'nin kuzeyindeki Ladik, Kurşunlu, Dağdere ve Bahçesaray Mahallelerini kapsamaktadır. Çalışma alanında bilinen en önemli metalik cevherleşmesi sahanın GB sınırında yer alan, Bağrıkurt ve Bozdağ formasyonlarının sınırında bulunan Türkiye'nin en önemli civa yataklarından biri olan Sızma-Ladik (Konya) civa yatağıdır. Bölgede civa yataklarının işletilmesi M.Ö. 6000'li yıllara kadar uzanan yaklaşık 8000 yıllık bir geçmişe sahiptir (Akçay, 1998). Bu nedenle Türkiye'nin bilinen ilk civa yatağıdır. Sızma-Ladik-Kurşunlu (Konya) civarında bir milyon tondan fazla civa rezervi olduğu bilinmektedir (Bekişoğlu, 1968). İnceleme alanındaki civa oluşumları nedeniyle 1900'lü yılların başından itibaren inceleme ve alanı ve çevresi, yerli ve yabancı birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Sharpless, 1908; Pilz, 1937; Schumacher, 1937; Kovenko, 1939; Murdock, 1958; Kuru ve Yıldız, 1963; Petrascheck, 1964; Wiesner ve Lehnert, 1964; Maucher, 1964, Holl, 1965; Yıldız ve Bailey, 1978; Motorcu, 1988; Akçay, 1998; Horasan, 2005; Horasan ve Temur, 2006; Arık ve Öztürk, 2011; Ateş, 2014; Kaya, 2018). Bölge aynı zamanda jeolojik, mineralojik ve petrografik çalışmalara da konu olmuştur (Niehoff, 1961, Kaaden, 1966; Bayıç, 1968; Wiesner, 1968; Doğan, 1975, Pehlivan, 1976; Üstündağ, 1987; Banger, 1987; Özcan, Göncüoğlu, Turhan, Uysal, Şentürk ve Işık, 1990; Eren, 1993; Kurt, 1994; Eren, 1996; Kurt, 1996; Hekimbaşı, 1997; Kurt ve Eren, 1998; Eren, Kurt, Rosselet ve Stampfli, 2004; Koçak, 2008; Arık, 2016).

İnceleme alanındaki cevherleşmelerin, eski magmatik kayalara yakın şist - rekristalize kireçtaşı kantağında ve kireçtaşının içinde damarcıklar, iri kristal saçınımları ve küçük kümelenmeler halinde gözlemlendiği belirtilmiştir (Sharpless, 1908). Civa cevherleşmesinin hidrotermal kökenli olduğunu belirten araştırmacıların yanı sıra (Kuru ve Yıldız, 1963; Petrascheck, 1964; Wiesner ve Lehnert, 1964) cevherleşmenin "denizaltı ekshalatif sedimanter" kökenli olduğu belirten araştırmacılar da (Maucher, 1964; Holl, 1965) bulunmaktadır. Cevherleşmenin bir kırık hattına bağlı olarak geliştiği ve andezit volkanizması ile ilgili epitermal özellikte bir

cevherleşme olduğu belirtilmiştir (Wiesner, 1968).

Bu çalışma ile Kurşunlu-Dağdere arasındaki 132 km<sup>2</sup>lik alandan (Şekil 1) derlenen kayaç ile dere sedimanı numunelerinin kimyasal analizleri yapılarak bölgede bilinen yatakların dışında bulunması muhtemel farklı metalik maden potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası

## 2. Materyal ve Metot

Saha çalışmalarında bölgedeki farklı nitelikteki kayaçlardan petrografik çalışmalar için alınan örneklerden 23 adet ince kesit ve 13 adet parlatma kesit hazırlanarak incelenmiştir. Jeokimyasal analizler için ise 33 adet numune analiz edilmiştir. Petrografik analizler için seçilen numuneler yaklaşık 10 cm kalınlığında bloklar şeklinde kesilmiştir. Kayaç numunelerinin ince kesitleri Pamukkale Üniversitesi (Denizli) Jeoloji Mühendisliği Bölümü petrografi laboratuvarında hazırlanmıştır.

Parlatma kesitleri ise MTA Genel Müdürlüğü (Ankara)'nda hazırlanmıştır. Hazırlanan kesitler, MTA Orta Anadolu 2. Bölge Müdürlüğü (Konya) laboratuvarlarındaki Leica marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve görüntülenmiştir.

İnceleme alanındaki kayaçlarda yer alan cevherleşmelerin dağılım alanlarının belirlenmesi için alınan dere sedimanı numuneleri, bitkisel

kalıntılarından ve diğer organik bileşenlerinden ayrılması için yıkanarak 80 °C etüvde 12 saat kurutulmuş ve 80 mesh boyutuna düşürülen numunelerden 200'er gr'lık bölümü alınmış ve kalan kısmı şahit numune olarak saklanmıştır. Daha sonra bu numunelerden iki tanesinde kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal analiz için öncelikle kırıcıdan geçirilen kayaç numuneleri öğütülerek analize hazırlanmıştır. Dere sedimanı ve kayaç numuneleri ana oksit, iz element ve Nadir Toprak Elementi (NTE) analizi için ACME Analitik Laboratuvarları (Vancouver-Kanada)'na gönderilmiştir. ICP-MS ile gerçekleştirilen analizlerde ana oksitler (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> LOI, TOT/C, TOT/S, Sum) %, ppb olarak analiz edilen Au dışındaki diğer iz elementler ve nadir toprak elementleri (Ni, Sc, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se) ise ppm cinsinden analiz edilmiştir. Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Ta, Th, W ve Bi gibi bazı iz elementler ile Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu gibi NTE'leri herhangi bir anomali göstermemeleri veya bütün numunelerde deteksiyon limitinin altında kalmaları nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Böylece bütün örnek gruplarında SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, Sc, Ba, Be, Co, Sn, Sr, U, V, Zr, Y, La, Ce, Mo, Cu, Pb, Zn, As, Cd, Sb, Ag, Au, Hg, Tl ve Se olmak üzere 39 bileşen değerlendirmeye alınmıştır.

Yeterli sayıda örnek analizine sahip formasyonlarda, temel istatistiksel analizler, bileşenler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılabilmesi için basit korelasyon analizleri ve küme (cluster) analizleri ve bu bileşenlerin sahada bulunuşlarının açıklanabilmesi amacıyla faktör analizleri gerçekleştirilerek yorumlanmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanında Bozdağlar Masifi'ne ait Paleozoyik'ten günümüze kadar farklı yaş ve ortam koşullarında oluşan magmatik, metamorfik ve sedimanter birimler yüzeylemektedir. Bozdağlar Masifi taban kesiminde Ladik Metamorfiklerine ait Silüriyen (?) -Devoniyen Permiyen yaşlı Sızma grubu ve üstte ise Sızma grubunu açılı uyumsuz olarak örten Permo (?) -Mesozoyik yaşlı Ardıçlı grubundan oluşmaktadır (Eren, 1993; Şekil 2).

Sızma grubu, en altta rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşmuş Silüriyen-Alt Karbonifer yaşlı Bozdağ formasyonu; fillit, metakumtaşı, rekristalize kireçtaşı, metaçört, şist ve metakarbonat olistolitlerinden oluşmuş Devoniyen-Alt Permiyen yaşlı Bağrıkurt formasyonu ile yer yer ara seviye yer yer de dayklar şeklinde izlenen Devoniyen-Permiyen yaşlı Karadağ metamagmatiklerinden oluşmaktadır. Sızma grubu üzerinde açılı uyumsuz olarak yer alan Ardıçlı grubu ise, en altta metakonglomera, fillit metakumtaşı ve az oranda rekristalize kireçtaşlarıyla temsil olunan Bahçecik formasyonu ile metakarbonat ve metakırıntılılar şeklindeki Ertuğrul formasyonundan oluşmuştur. Tüm bu birimler, yörede yaygın olarak izlenen Kuvaterner-Güncel yaşlı alüvyonlar tarafından açılı uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 2).

Kuvaterner - Güncel yaşlı kırıntılı kayaçlardan oluşan alüvyon dışında inceleme alanında bulunan kayaçların tamamı Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı olup geçirdikleri yapısal jeolojik olaylar ve metamorfik süreçlere bağlı olarak kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır.

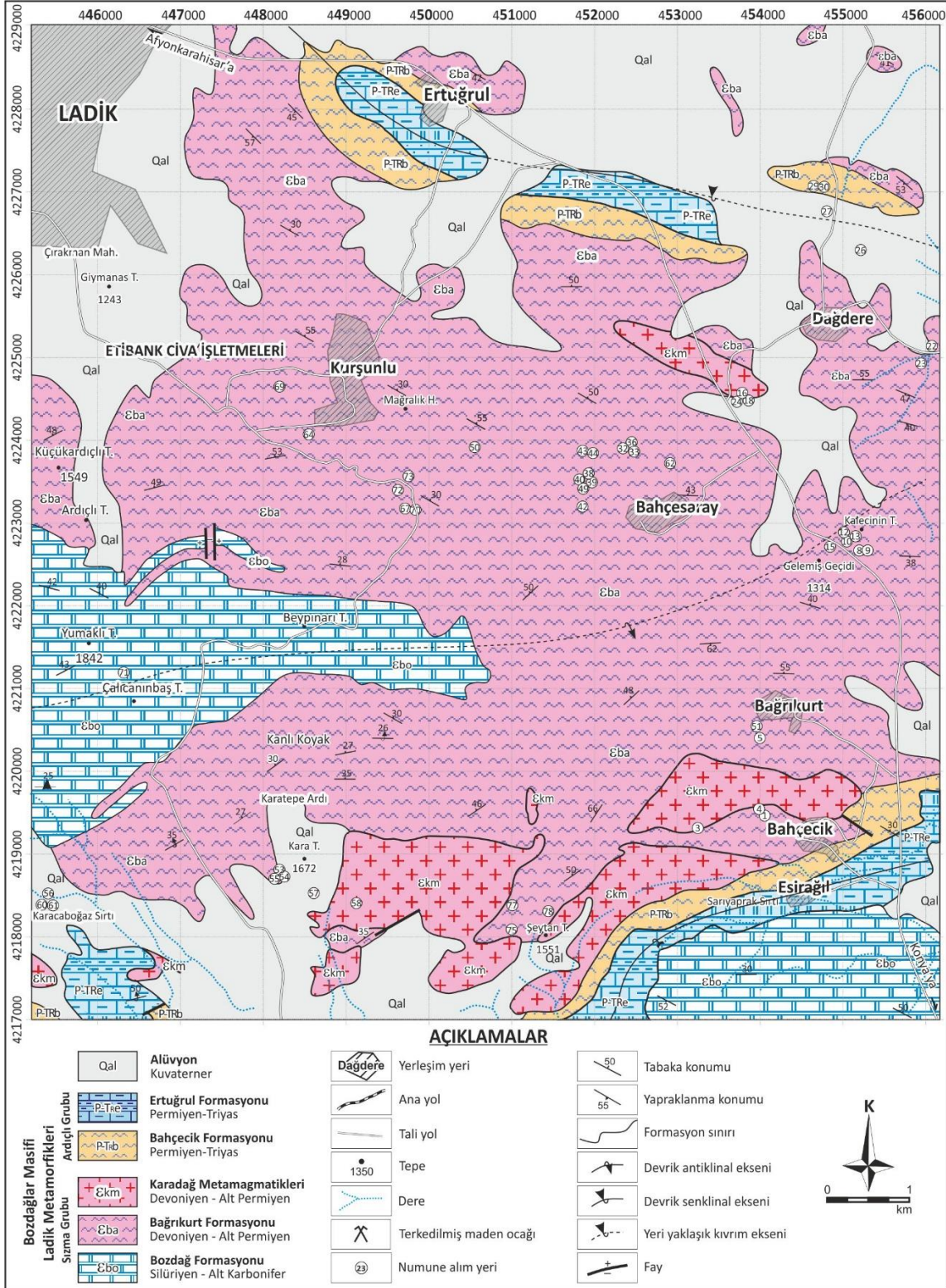
İki evreli olduğu düşünülen metamorfizmanın birinci evresi Hersiniyen Orojenezi'ne bağlı olarak yeşilşist fasiyesinde gerçekleşen hidrotermal alterasyon ve/veya okyanus tabanı metamorfizmasıdır (Özcan ve diğ., 1990; Eren ve diğ., 2004). İnceleme alanında Hersiniyen Orojenezi'nin izleri Silüriyen-Alt Permiyen yaşlı birimlerin litolojik gelişimi ve Üst Permiyen-Mesozoyik yaşlı Ardıçlı grubunun bu birimleri açılı uyumsuzluk ile örtmesi şeklinde belirlenebilmektedir (Eren ve diğ., 2004). Silüriyen - Üst Permiyen yaşlı metakırıntılı ve metakarbonatlı kayaçlardan oluşan Bağrıkurt formasyonu Hersiniyen hareketlerle ilişkili gelişen bir magmatik yayın ürünü olan Karadağ metamagmatikleri tarafından kesilmiştir. Erken Triyas öncesinde gerçekleşen Hersiniyen Orojenezi'nin izleri daha sonra Alpin Orojenezi ile büyük ölçüde silinmiştir (Eren ve diğ., 2004).

Bölgedeki gerçekleşen ikinci metamorfizma evresi ise Alpin Orojenezine bağlı olarak muhtemelen Kretase'de meydana gelen mavişist metamorfizmasıdır. Maestrihtiyen-Paleosen döneminde hem Sızma hem de Ardıçlı grubuna ait kayaçlar toplu olarak Alpin Orojenezine bağlı olarak ikinci metamorfizmaya uğramışlardır (Eren, 1996; Eren ve Kurt, 2000). Dolayısıyla Ladik metamorfiklerine ait Sızma ve Ardıçlı grubu kayaçlar, Alpin orojenezinin çeşitli fazlarından etkilenerek metamorfizmaya uğramış, yapraklanmış ve

yeniden kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır (Eren, 1993).

Horasan ve Temur (2006), inceleme alanındaki civa cevherleşmelerine ait yan kayaların metamorfizma geçirmiş olmasına karşın cevher ve buna bağlı

alterasyon minerallerinde metamorfizma izlerinin gözlenemediğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla civa cevherleşmelerinin oluşum yaşı metamorfik kayalardan ve onları kesen Karadağ metamagmatiklerinden daha gençtir.



Şekil 2. İnceleme Alanının Jeolojik Haritası (Umut, 2009'dan Güncellenerek Alınmıştır).

### 3.2. Maden Yatakları

İnceleme alanının bilinen en önemli metalik cevherleşmesi, sahanın güneybatı sınırında ülkemizin en önemli civa yataklarından biri olan Sızma-Ladik civa yataklarıdır. Sızma Kasabası'nın kuzeybatısındaki Büyük Maden ve Çırakman Tepe civarında bulunan Sızma - Ladik civa yatakları tarihi devirlerden bu yana uzun zamandır bilinen ve geçmişte Etibank tarafından metalik civa üretimi için işletme yapılan Türkiye'nin bilinen ilk civa yatağıdır. İnceleme alanındaki

Çalıcınbaş Tepe, Kurşunlu ve Ardıçlı Tepe'de de daha küçük ölçekli civa oluşumları vardır (Şekil 2 ve 3). Civa oluşumları Bağrıkurt ve Bozdağ formasyonlarının sınırında ve daha çok Bozdağ formasyonu içinde yer almaktadır. Bölgedeki civa oluşumları başlıca gri, koyu-gri renkli, rekristalize kireçtaşı, mermer ve dolomitik mermerlerden oluşan Bozdağ formasyonu ile metakonglomera, metakumtaşı, kuvarsit, metaçört, fillit, mikaşist, mika-kuvarşist, metakarbonatlı kayaçlar ve karbonat bloklarından oluşan Bağrıkurt formasyonunun sınırlarında gözlenmektedir.



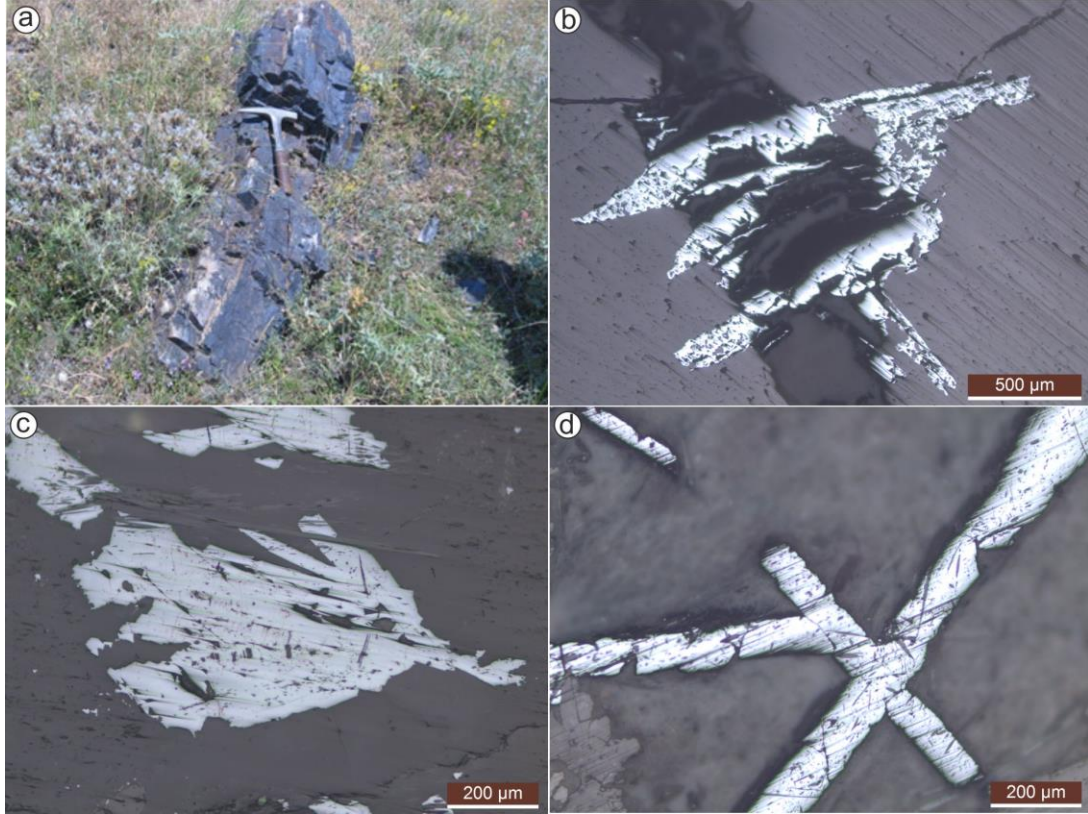
Şekil 3. Bağrıkurt ve Bozdağ Formasyonlarının Sınırında Görülen Civa Oluşumları (Yer: Büyük Ocak, Sızma kuzeyi)

İnceleme alanındaki civa yataklarında cevherleşmeler daha çok benekler ve 1 cm'den kalın ağsal yapıli damarcıklardan oluşmaktadır. Hidrotermal kuvars ve kalsit yoğun olarak cevherli zonlara eşlik etmektedir. Bu durum, yatakların epijenetik kökenli olduğunu ve olasılıkla kuvars mikrodiorit ve diyabaz dayklarına bağlı olduğunu göstermektedir (Akçay, 1998). Gerek bu daykların ve gerekse cevherli zonların KB-GD doğrultusunda yerleşmiş olmaları da bu düşüncüyü desteklemektedir. Cevherli zonlar 15-200 cm kalınlığında, 1-3 m genişliğinde ve 3-25 m uzunluğunda olup, çoğunlukla faylı ve breşik yapıli karbonatlı kayaç-fillit (ve/veya şist) dokanakları boyunca ve dokanaktan birkaç m uzakta karbonatlı kayaçlar içerisinde kırık zonlarında yer almaktadır. İnceleme alanında yapılan maden jeolojisi çalışmalarından sonra ETİBANK tarafından başta Büyük Ocak olmak üzere bölgedeki Çırakman ve Çalıcınbaş Tepe zuhurlarında galeriler açılarak işletme yapılmıştır.

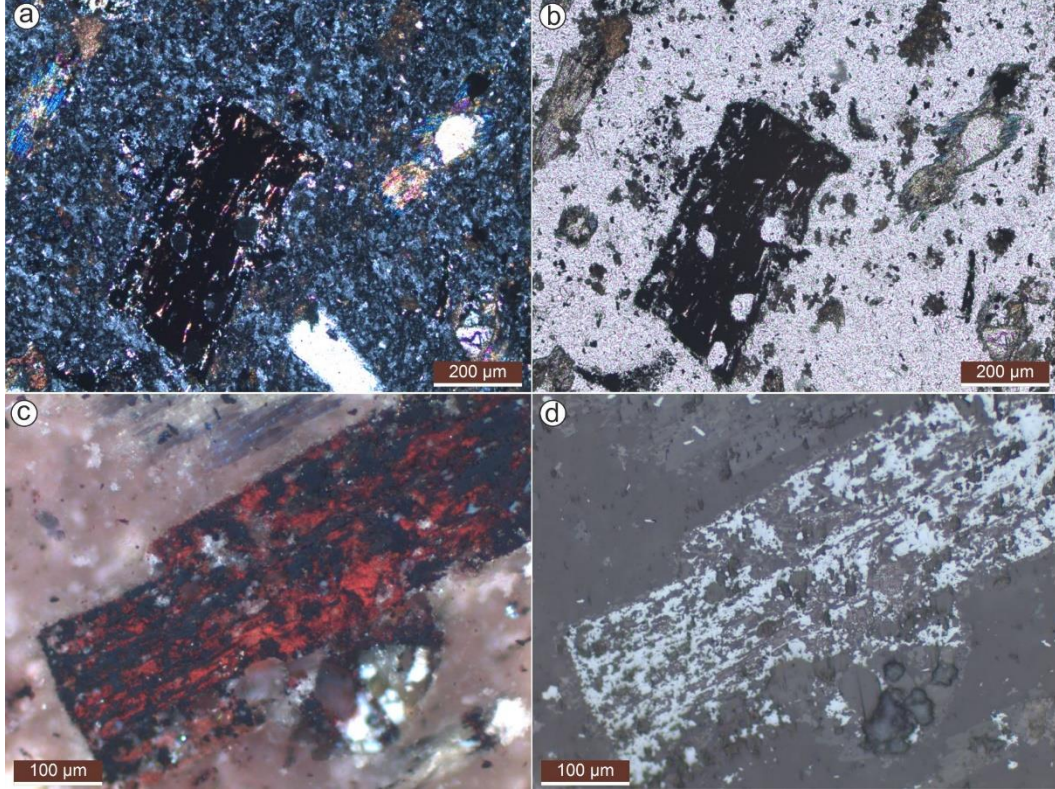
Sızma-Ladik civa yataklarında makro olarak zinober, antimonit, pirit, kalsit, kuvars, florit ve realgar gözlenebilmektedir. Akçay (1998) bölgede esas cevher mineralinin zinober olduğunu ve az miktarda antimonit, pirit, realgar, orpiment ve arsenopiritin buna eşlik

ettiğini belirtmektedir. Gang mineralleri ise kuvars, florit ve kalsit olup ayrıca yoğun alterasyon izleri gözlenmektedir. İnceleme alanında özellikle Bağrıkurt formasyonunda damarcıklar halinde spekülartik hematit oluşumları gözlenmektedir. İnceleme alanındaki demir zenginleşmeleri kısmen yoğun olarak gözlenmekte olup Bahçesaray'ın batısında metamorfik kayaçların önemli bir bölümünde demir oksitlere dönüştükleri görülmüştür. Karadağ metamagmatikleri ve Bozdağ formasyonunda da yer yer demir oksit damarları gözlenmektedir (Şekil 4a).

Dağdere Pelitli Tepe ve Karacaboğaz Sırtı'ndan alınan numunelerde özellikle kuvarsit, çört ve metakuvarslarda çatlak dolgusu veya saçılımlı şekilde ince kristalli hematitler belirlenmiştir (Şekil 4b-d). Saraybahçe Tepe'de pirit, kalkopirit ve kuvars dolgulu damarlara rastlanmıştır. Bahçesaray'ın batısındaki Saraybahçe Tepe civarında Bağrıkurt formasyonuna ait kayaçlar yine demir oksit sıvamaları, çatlak dolguları ve bazen tümüyle demiroksite dönüşmüş cevherleşmeler olarak izlenmektedir. Bağrıkurt formasyonuna ait muskovit-kuvarşistlerdeki muskovitlerin çoğunlukla hematite dönüştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. a) Bağlıkurt Formasyonunda Demir Oksit Zenginleşmeleri (Yer: Saraybahçe Tepe), (b) Karacaboğaz Sırtı, (c) Karatepe Batısı ve (d) Şeytan Tepe Kuzeyinde Bağlıkurt Formasyonu İçinde Yer Alan Çatlak Dolgusu Şeklinde Gelişmiş Hematit Kristalleri (Parlak Kesit; +N).



Şekil 5. Bağlıkurt Formasyonuna Ait Muskovit-Kuvarşistlerdeki Muskovitlerde Meydana Gelen Hematit Oluşumlarının İncekesit (A,B) ve Parlak Kesit (C, D) Görüntüleri (Yer: Şeytan Tepe batısı, a ve c: +N, b ve d: //N).

### 3.3. Jeokimya

Kimyasal analizi yapılan 33 örneğin 6'sı Karadağ metamagmatikleri, 2'si Bozdağ formasyonu, 23'ü Bağrıkurt formasyonu, 2'si ise dere sedimanı örneğidir. Civa dışındaki demir ve sülfütlü cevherleşmeler genellikle Bağrıkurt formasyonu olmak üzere Karadağ metamagmatikleri ve Bozdağ formasyonu içinde yer almaktadır. Jeokimyasal değerlendirmeler, yankayaç jeokimyası ve cevher jeokimyası olarak ele alınmıştır.

#### 3.3.1. Yankayaç Jeokimyası

Bölge cevherleşmelerinin içinde buldukları yan kayaçlarının jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi için 2'i Bozdağ formasyonuna, 10'u Bağrıkurt formasyonuna, 6'sı ise Karadağ metamagmatiklerine ait olmak üzere 19 numunenin kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir. Cevhersiz numune sayısı sadece 1 olan Bozdağ formasyonu ve Karadağ metamagmatiklerine ait bazı cevherli numuneler de yankayaç jeokimyası içinde değerlendirilmiştir.

##### 3.3.1.1. Bozdağ Formasyonu

Sızma - Ladik civa yatakları Bozdağ formasyonu ve Bağrıkurt formasyonunun sınırında ve daha çok Bozdağ formasyonuna ait karbonatlı kayaçların içinde yer almaktadır. Bozdağ formasyonundan alınan kayacın ortalama % 95'inden fazlasını CaO (% 52.79) ve kızdırma kaybı (KK: % 42.40) ile temsil edilen karbonatlı bileşenler oluşturmaktadır (Tablo 1).

Bozdağ formasyonuna ait kayaçlarda SiO<sub>2</sub> içeriği %2.43 ile %4.34 arasında değişmektedir. Yine bu formasyon içerisinde en yüksek değerler; 291.6 ppm Sr, 62.6 ppm Pb, 239.7 ppm As, 182 ppm Sb, 100 ppm Hg ve 70.5 ppm Se'dur (Tablo 1).

Bazı analizlerde iz elementlerin yüksek içeriği, civa cevherleşmesi ile ilişkili bulunmuştur. Cevherli numune ve kontrol amaçlı alınan cevhersiz numune arasında özellikle Sr, Pb, As, Sb, Au, Hg, Tl ve Se bakımından ciddi fark görülmüştür.

##### 3.3.1.2. Bağrıkurt Formasyonu

Bağrıkurt formasyonuna ait kayaçların ortalama SiO<sub>2</sub> içeriği % 94.01'dur (Tablo 1). SiO<sub>2</sub>'in kaynağı kayaç

oluşturan mineraller ile ikincil silisleşmelere bağlanmıştır. Ortalama Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri % 0.17 ile % 7.43 arasında değişmektedir. Mikakuvarşistlerde daha yüksek olan Al, metaçörtlerde %1'in altına düşmektedir. Ortalama Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %1.84 olup diğer ana bileşenler % 1'den daha düşüktür. Bağrıkurt formasyonunda N42 numaralı önekte 7974 ppm Ba ile N58 numaralı örnekte 713 ppm Sr dikkati çekerken diğer iz elementler normal metakırıntılı ve metakarbonatlardaki aralıklar içinde bulunmaktadır (Tablo 1).

Örneklerin basit korelasyon analizlerine göre SiO<sub>2</sub>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Sc ile çok kuvvetli, MnO, LOI, Zr, Y ve As ile kuvvetli, Na<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co, V, La, Ce ve Pb ile zayıf ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, U ve Zn ile çok zayıf negatif korelasyona sahip olup hiçbir bileşenle anlamlı pozitif korelasyon göstermemektedir. Buna göre SiO<sub>2</sub>'in herhangi bir bileşenle paralel davranmadığı ve ikincil zenginleşme ile miktarının yükseldiği ortaya çıkmaktadır (Tablo 2). Bu kayaçlarda önemli bir bileşen olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise; MgO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zr ve Sc ile çok kuvvetli, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LOI, Y ve As ile kuvvetli, Na<sub>2</sub>O, Co, V, La, Ce ve Pb ile zayıf ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile çok zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Buna göre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün SiO<sub>2</sub> dışındaki diğer ana oksitlerle benzer davrandığı görülmektedir (Tablo 2). Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sadece Zn ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahip olup Pb ve As ile gösterdiği kuvvetli pozitif korelasyon dışında diğer bileşenlerden K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ce, Zr, Sc, Y ve Ni ile zayıf ve çok zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ayrıca CaO ve Ba ile çok zayıf negatif korelasyon göstermektedir. Korelasyon katsayılarına göre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bu kayaçlarda ikincil zenginleşme mekanizması ile yerleşmiş olup bu olay aynı zamanda Zn, Pb ve As gibi bileşenleri de zenginleştirmiştir (Tablo 2).

MgO; K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LOI, Zr, Sc ve Y ile, CaO; Ba ve LOI ile, Na<sub>2</sub>O; MnO, Ce, U, V, La ve Cu ile, K<sub>2</sub>O; TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zr, Sc, Y, Pb ve As ile, TiO<sub>2</sub>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zr, Sc, Y, Pb ve As ile, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, LOI, Zr, Sc ve Y ile, MnO; U, V, La ve Ce ile, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Zr, Sc ve Y ile çok kuvvetli ve kuvvetli pozitif korelasyona sahiptirler. Ana oksitlerin bu ilişkileri SiO<sub>2</sub> dışındaki diğer bileşenlerin jeokimyasal ortamlarda birlikte davrandıklarını göstermektedir.



Tablo 1. Bozdağ ve Bağrıkurt Formasyonlarından Alınan Numunelere Ait Kimyasal Analiz Sonuçları (A.O.: Aritmetik Ortalama, KK: Kızdırma Kaybı)

| Bileşen                        | Birim    | Bozdağ Formasyonu |               |              |              | Bağrıkurt Formasyonu |               |              |               |               |              |              |              |              |              |
|--------------------------------|----------|-------------------|---------------|--------------|--------------|----------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                |          | N1                | N2            | A.O          | N15          | N18                  | N32           | N42          | N49           | N54           | N56          | N58          | N61          | N67          | A.O.         |
| SiO <sub>2</sub>               | %        | 4.34              | 2.43          | 3.39         | 96.43        | 84.77                | 98.53         | 94.55        | 93.58         | 96.3          | 95.88        | 97.23        | 96.51        | 86.36        | 94.014       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %        | 0.80              | 0.39          | 0.60         | 0.19         | 7.43                 | 0.17          | 0.44         | 1.58          | 0.83          | 0.91         | 0.48         | 0.78         | 5.53         | 1.834        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %        | 0.15              | 0.40          | 0.28         | 2.52         | 2.8                  | 0.69          | 1            | 3.02          | 0.68          | 2.29         | 1.67         | 1.87         | 1.86         | 1.84         |
| MgO                            | %        | 0.30              | 0.11          | 0.21         | 0.01         | 0.38                 | 0.01          | 0.05         | 0.02          | 0.1           | 0.05         | 0.04         | 0.03         | 0.33         | 0.102        |
| CaO                            | %        | 51.70             | 53.87         | 52.79        | 0.03         | 0.14                 | 0.07          | 2.07         | 0.09          | 0.1           | 0.06         | 0.05         | 0.05         | 1.05         | 0.371        |
| Na <sub>2</sub> O              | %        | 0.01              | 0.02          | 0.02         | 0.01         | 0.2                  | 0.01          | 0.01         | 0.61          | 0.45          | 0.49         | 0.14         | 0.36         | 1.54         | 0.382        |
| K <sub>2</sub> O               | %        | 0.24              | 0.10          | 0.17         | 0.03         | 1.86                 | 0.03          | 0.1          | 0.06          | 0.04          | 0.05         | 0.08         | 0.14         | 0.66         | 0.305        |
| TiO <sub>2</sub>               | %        | 0.01              | 0.02          | 0.02         | 0.01         | 0.54                 | 0.01          | 0.02         | 0.02          | 0.01          | 0.02         | 0.02         | 0.02         | 0.16         | 0.083        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %        | 0.01              | 0.03          | 0.02         | 0.06         | 0.11                 | 0.01          | 0.02         | 0.04          | 0.03          | 0.01         | 0.03         | 0.03         | 0.08         | 0.042        |
| MnO                            | %        | 0.03              | 0.06          | 0.05         | 0.01         | 0.03                 | 0.01          | 0.02         | 0.04          | 0.02          | 0.02         | 0.02         | 0.02         | 0.51         | 0.07         |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %        | 0.00              | 0.00          | 0.00         | 0.002        | 0.007                | 0.004         | 0.002        | 0.004         | 0.003         | 0.002        | 0.005        | 0.003        | 0.004        | 0.0036       |
| KK                             | %        | 42.30             | 42.50         | 42.40        | 0.7          | 1.6                  | 0.5           | 1.8          | 1             | 0.6           | 0.2          | 0.3          | 0.2          | 1.9          | 0.88         |
| Ba                             | ppm      | 15.00             | 80.00         | 47.50        | 15           | 252                  | 37            | 7974         | 43            | 22            | 615          | 107          | 2510         | 3712         | 1528.7       |
| Co                             | ppm      | 0.50              | 0.90          | 0.70         | 2.6          | 6.2                  | 0.7           | 0.9          | 5.5           | 0.7           | 12.5         | 0.7          | 6.5          | 11.1         | 4.74         |
| Sr                             | ppm      | 291.6             | 19.50         | 155.55       | 1.7          | 24.9                 | 11.9          | 138.3        | 6.2           | 1.7           | 65.1         | 713          | 154.9        | 151.3        | 126.9        |
| U                              | ppm      | 2.10              | 0.10          | 1.10         | 0.2          | 2.3                  | 0.7           | 0.1          | 0.2           | 0.1           | 1.8          | 0.8          | 10.3         | 11.7         | 2.82         |
| V                              | ppm      | 8.00              | 8.00          | 8.00         | 8            | 31                   | 8             | 8            | 8             | 8             | 55           | 8            | 83           | 115          | 33.2         |
| Zr                             | ppm      | 5.70              | 5.80          | 5.75         | 2            | 423.3                | 22.8          | 3.2          | 6.6           | 3.4           | 19.7         | 4.2          | 239.6        | 259          | 98.38        |
| Sc                             | ppm      | 1.00              | 1.00          | 1.00         | 1            | 6                    | 1             | 1            | 3             | 1             | 1            | 1            | 1            | 4            | 2            |
| Y                              | ppm      | 8.60              | 0.40          | 4.50         | 1.1          | 22.6                 | 3.7           | 0.6          | 5.7           | 0.4           | 5.4          | 8.2          | 19.7         | 23.1         | 9.05         |
| La                             | ppm      | 4.60              | 2.90          | 3.75         | 0.2          | 24.8                 | 8.3           | 0.7          | 1.4           | 0.2           | 2.4          | 3.8          | 59.3         | 61.7         | 16.28        |
| Ce                             | ppm      | 5.90              | 5.00          | 5.45         | 0.4          | 51.5                 | 16.4          | 1.3          | 4.7           | 0.7           | 4.7          | 7.1          | 129.9        | 124.4        | 34.11        |
| Mo                             | ppm      | 0.10              | 0.60          | 0.35         | 1.3          | 0.5                  | 0.3           | 1.1          | 0.6           | 0.6           | 13.2         | 0.5          | 0.3          | 0.2          | 1.86         |
| Cu                             | ppm      | 2.60              | 3.20          | 2.90         | 8.7          | 8.7                  | 5.8           | 5.6          | 7.9           | 2.8           | 38           | 7.9          | 21.8         | 32.9         | 14.01        |
| Pb                             | ppm      | 62.60             | 1.10          | 31.85        | 1.5          | 21.2                 | 5.4           | 5.9          | 13            | 1.4           | 16.1         | 3.1          | 4.5          | 4.8          | 7.69         |
| Zn                             | ppm      | 1.00              | 4.00          | 2.50         | 35           | 38                   | 6             | 9            | 43            | 4             | 35           | 13           | 17           | 16           | 21.6         |
| Ni                             | ppm      | 10.10             | 11.30         | 10.70        | 17.9         | 16.4                 | 10.5          | 11.2         | 17.6          | 11.2          | 48.5         | 12.1         | 13.3         | 14.5         | 17.32        |
| As                             | ppm      | 239.70            | 1.60          | 120.65       | 6.1          | 45.3                 | 2.4           | 3.8          | 23            | 1.7           | 20.7         | 0.9          | 2.9          | 4.5          | 11.13        |
| Cd                             | ppm      | 0.30              | 0.10          | 0.20         | 0.1          | 0.1                  | 0.1           | 0.1          | 0.1           | 0.1           | 0.7          | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.16         |
| Sb                             | ppm      | 182.00            | 0.40          | 91.20        | 0.9          | 0.2                  | 0.4           | 0.6          | 0.8           | 0.6           | 42.9         | 2.7          | 0.2          | 0.2          | 4.95         |
| Ag                             | ppm      | 3.30              | 0.10          | 1.70         | 0.1          | 0.1                  | 0.1           | 0.1          | 0.1           | 0.1           | 0.2          | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.11         |
| Au                             | ppb      | 63.10             | 0.50          | 31.80        | 1.1          | 1.4                  | 2.3           | 2.5          | 3.1           | 1.7           | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 1            | 1.46         |
| Hg                             | ppm      | 100.00            | 0.00          | 50.00        | 0            | 0.1                  | 0.1           | 0            | 0.2           | 0.1           | 28.2         | 29.2         | 1.6          | 0.8          | 6.03         |
| Tl                             | ppm      | 19.90             | 0.10          | 10.00        | 0.1          | 0.1                  | 0.1           | 0.1          | 0.1           | 0.1           | 0.6          | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.15         |
| Se                             | ppm      | 70.50             | 0.50          | 35.50        | 0.5          | 0.5                  | 0.5           | 0.5          | 0.5           | 0.5           | 0.6          | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 0.51         |
| <b>Toplam</b>                  | <b>%</b> | <b>99.91</b>      | <b>100.03</b> | <b>99.97</b> | <b>100.0</b> | <b>99.91</b>         | <b>100.03</b> | <b>99.14</b> | <b>100.02</b> | <b>100.04</b> | <b>99.92</b> | <b>99.88</b> | <b>99.59</b> | <b>99.42</b> | <b>99.78</b> |

İz elementlerin durumuna bakıldığında; bu çalışmada incelemelere dahil edilen Sc, Y, La ve Ce ile temsil edilen lantanitlerin birbirleri ve Cu ile kuvvetli pozitif korelasyona sahip oldukları görülmektedir. İz elementler ve diğer metalik elementlerle negatif korelasyona sahip olan Au ve metalik elementlerle anlamlı korelasyona sahip olmayan As dışındaki Mo, Cu, Cd, Ag, Hg ve Se ise diğer metalik elementlerle kuvvetli ve çok kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedirler (Tablo 2). Korelasyon katsayıları kullanılarak hazırlanan küme analizinde ortaya çıkan ilişkilerin gösterimi için hazırlanan cluster analizi dendrogramında ilk bakışta 4 grup ayırt edilebilmektedir (Şekil 6). Birinci grup aralarında çok kuvvetli ve kuvvetli pozitif korelasyonlar bulunan K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile temsil edilmektedir. Ana bileşenlerden SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO ve CaO başka gruplar içinde yer almakta olup ikincil süreçlerle

değişim gösterdikleri için bu grup “**Ana bileşenler grubu**” olarak tanımlanmıştır. Buna göre esasen silikathlı minerallerle temsil edilen Bağrıkurt formasyonu içinde kayaların ortalama % 94’ünü oluşturan SiO<sub>2</sub> zaten birincil mineraller içinde zengin iken ikincil süreçlerle yeniden zenginleşmiştir.

Küme analizi dendrogramında ikinci grup Na<sub>2</sub>O - MnO çiftine uzaktan eklenen CaO ile temsil edilmekte olup “**Na-Ca grubu**” olarak adlandırılmıştır (Şekil 6). Formasyon içinde kalkıştelerin içinde yaygın olan Ca ve Mg yüzey şartlarında ayrışarak ortamdaki uzaklaşmıştır.

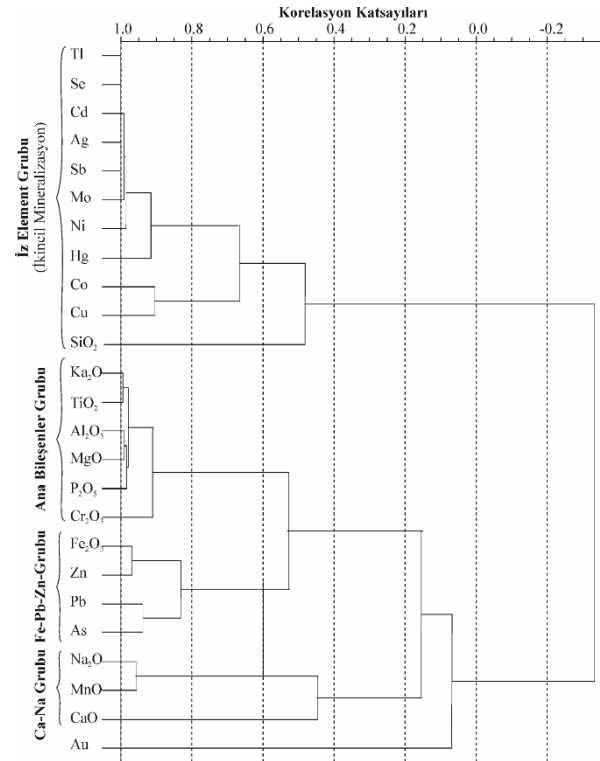
Dendrogramda üçüncü grup Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn, Pb ve As ile temsil edilmekte olup bu grup “**Fe-Pb-Zn grubu**” olarak adlandırılmıştır (Şekil 6). Kayalar içinde oldukça düşük değerlerde olan bu bileşenlerin ortak davranışı özellikle demirli minerallerin bünyesindeki bu bileşenlerin birlikte hareket ettiklerini göstermektedir.

Tablo 2. Bağrıkkurt Formasyonundan Derlenen Numunelere Ait Basit Korelasyon Katsayıları (n=10).

|                                | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | LOI   | Ba    | Co    | Sr    | U     | V     | Zr    | Se    | Y     | La    | Ce    | Mo    | Cu    | Pb    | Zn    | Ni    | As    | Cd    | Sb    | Ag    | Au    | Hg    | Tl    | Se    |       |       |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 1.00             | -0.67                          | -0.45                          | -0.26 | -0.54 | -0.37             | -0.53            | -0.63            | -0.60                         | -0.59 | -0.76                          | -0.17 | -0.49 | 0.17  | -0.41 | -0.47 | -0.80 | -0.95 | -0.73 | -0.49 | -0.46 | 0.16  | -0.25 | -0.54 | -0.35 | 0.03  | -0.63 | 0.14  | 0.16  | 0.14  | 0.00  | 0.29  | 0.14  | 0.14  |       |       |       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  | 1.00                           | 0.42                           | 0.24  | 0.09  | 0.49              | 0.23             | 0.25             | 0.26                          | 0.54  | 0.71                           | 0.65  | 0.01  | 0.48  | -0.14 | 0.41  | 0.46  | 0.37  | 0.56  | 0.79  | 0.51  | 0.49  | -0.16 | 0.23  | 0.58  | 0.33  | -0.03 | 0.67  | -0.13 | -0.15 | -0.13 | -0.08 | -0.24 | -0.13 | -0.13 |       |       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |                                | 1.00                           | -0.32 | 0.18  | 0.40              | 0.41             | 0.34             | 0.04                          | 0.27  | 0.10                           | -0.31 | 0.53  | -0.11 | 0.08  | 0.16  | 0.35  | 0.34  | 0.37  | 0.10  | 0.11  | 0.20  | 0.28  | 0.61  | 0.96  | 0.41  | 0.70  | 0.19  | 0.19  | 0.19  | -0.11 | 0.09  | 0.19  | 0.19  |       |       |       |
| MgO                            |                  |                                |                                | 1.00  | 0.17  | 0.52              | 0.89             | 0.87             | 0.85                          | 0.60  | 0.64                           | 0.67  | 0.09  | 0.42  | -0.10 | 0.43  | 0.48  | 0.83  | 0.88  | 0.75  | 0.51  | 0.49  | -0.16 | 0.24  | 0.44  | 0.14  | -0.07 | 0.53  | -0.13 | -0.15 | -0.13 | -0.16 | -0.22 | -0.13 | -0.13 |       |       |
| CaO                            |                  |                                |                                |       | 1.00  | 0.14              | 0.02             | -0.02            | -0.01                         | 0.35  | -0.26                          | 0.73  | 0.95  | -0.05 | 0.02  | 0.12  | 0.12  | -0.01 | 0.03  | -0.04 | 0.09  | 0.07  | -0.14 | 0.01  | -0.13 | -0.34 | -0.23 | -0.21 | -0.16 | -0.17 | -0.16 | 0.31  | -0.25 | -0.16 | -0.16 |       |       |
| Na <sub>2</sub> O              |                  |                                |                                |       |       | 1.00              | 0.15             | 0.11             | 0.32                          | 0.89  | 0.07                           | 0.37  | 0.12  | 0.68  | -0.06 | 0.69  | 0.77  | 0.33  | 0.41  | 0.53  | 0.61  | 0.59  | 0.04  | 0.63  | 0.03  | 0.06  | 0.13  | 0.00  | 0.08  | 0.07  | 0.08  | -0.14 | -0.06 | 0.08  | 0.08  |       |       |
| K <sub>2</sub> O               |                  |                                |                                |       |       |                   | 1.00             | 0.26             | 0.24                          | 0.77  | 0.35                           | -0.04 | 0.29  | -0.13 | 0.22  | 0.25  | 0.88  | 0.91  | 0.71  | 0.36  | 0.35  | -0.18 | 0.04  | 0.64  | 0.33  | -0.07 | 0.76  | -0.15 | -0.17 | -0.15 | -0.09 | -0.22 | -0.15 | -0.15 |       |       |       |
| TiO <sub>2</sub>               |                  |                                |                                |       |       |                   |                  | 1.00             | 0.85                          | 0.18  | 0.78                           | 0.33  | -0.08 | 0.26  | -0.14 | 0.16  | 0.19  | 0.85  | 0.90  | 0.67  | 0.30  | 0.29  | -0.15 | 0.01  | 0.67  | 0.36  | -0.04 | 0.79  | -0.15 | -0.15 | -0.13 | -0.07 | -0.20 | -0.13 | -0.13 |       |       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  | 1.00                          | 0.43  | 0.63                           | 0.61  | -0.09 | 0.27  | -0.14 | 0.30  | 0.29  | 0.78  | 0.88  | 0.67  | 0.41  | 0.39  | -0.35 | 0.02  | 0.36  | 0.43  | -0.19 | 0.58  | -0.35 | -0.36 | -0.35 | -0.11 | -0.36 | -0.35 | -0.35 |       |       |
| MnO                            |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               | 1.00  | 0.11                           | 0.56  | 0.29  | 0.52  | 0.04  | 0.71  | 0.74  | 0.39  | 0.43  | 0.55  | 0.65  | 0.62  | -0.15 | 0.53  | -0.12 | -0.10 | -0.08 | -0.13 | -0.11 | -0.13 | -0.11 | -0.15 | -0.16 | -0.11 | -0.11 |       |       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       | 1.00                           | 0.26  | -0.35 | -0.02 | 0.24  | 0.07  | 0.00  | 0.64  | 0.76  | 0.60  | 0.22  | 0.21  | -0.40 | -0.22 | 0.47  | 0.17  | -0.31 | 0.57  | -0.36 | -0.35 | -0.36 | 0.01  | -0.03 | -0.36 | -0.36 |       |       |
| LOI                            |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                | 1.00  | 0.59  | 0.12  | -0.21 | 0.18  | 0.19  | 0.42  | 0.66  | 0.32  | 0.24  | 0.21  | -0.35 | -0.05 | 0.22  | 0.05  | -0.30 | 0.29  | -0.36 | -0.38 | -0.36 | 0.40  | -0.51 | -0.36 | -0.36 |       |       |
| Ba                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       | 1.00  | 0.02  | 0.05  | 0.28  | 0.26  | 0.06  | 0.07  | 0.06  | 0.25  | 0.25  | -0.10 | 0.12  | -0.16 | -0.35 | -0.19 | -0.27 | -0.12 | -0.14 | -0.12 | 0.17  | -0.23 | -0.12 | -0.12 |       |       |
| Co                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       | 1.00  | 0.02  | 0.20  | 0.26  | 0.06  | 0.07  | 0.06  | 0.25  | 0.25  | -0.10 | 0.12  | -0.16 | -0.35 | -0.19 | -0.27 | -0.12 | -0.14 | -0.12 | 0.17  | -0.23 | -0.12 | -0.12 |       |       |
| Sr                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       | 1.00  | 0.07  | -0.01 | -0.11 | -0.20 | 0.11  | 0.03  | 0.03  | -0.12 | -0.01 | -0.27 | -0.29 | -0.17 | -0.33 | -0.10 | -0.05 | -0.10 | -0.45 | 0.66  | -0.10 | -0.10 |       |       |
| U                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       | 1.00  | 0.25  | 0.65  | 0.27  | 0.80  | 0.98  | 0.97  | -0.13 | 0.65  | -0.10 | -0.11 | -0.07 | -0.14 | -0.08 | -0.10 | -0.08 | -0.47 | -0.15 | -0.08 | -0.08 |       |       |
| V                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.60  | 0.30  | 0.76  | 0.90  | 0.89  | 0.15  | 0.84  | 0.07  | 0.21  | -0.02 | 0.20  | 0.17  | 0.20  | -0.52 | 0.00  | 0.20  | 0.20  |       |       |       |
| Zr                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.80  | 0.93  | 0.75  | 0.74  | -0.22 | 0.27  | 0.47  | 0.22  | -0.11 | 0.53  | -0.18 | -0.21 | -0.18 | -0.29 | -0.28 | -0.18 | -0.18 |       |       |
| Se                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.80  | 0.93  | 0.75  | 0.74  | -0.22 | 0.27  | 0.47  | 0.22  | -0.11 | 0.53  | -0.18 | -0.21 | -0.18 | -0.29 | -0.28 | -0.18 | -0.18 |       |
| Y                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.71  | 0.38  | 0.37  | -0.23 | 0.09  | 0.65  | 0.47  | -0.07 | 0.77  | -0.20 | -0.22 | -0.20 | 0.11  | -0.30 | -0.20 | -0.20 |       |
| La                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.87  | 0.87  | -0.19 | 0.46  | 0.35  | 0.18  | -0.07 | 0.38  | -0.14 | -0.16 | -0.14 | -0.41 | -0.10 | -0.14 | -0.14 |       |
| Ce                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 1.00  | -0.25 | 0.53  | -0.03 | -0.10 | -0.18 | -0.04 | -0.20 | -0.22 | -0.20 | -0.41 | -0.25 | -0.20 | -0.20 |       |
| Mo                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.25 | 0.52  | -0.03 | -0.09 | -0.18 | -0.04 | -0.20 | -0.23 | -0.20 | -0.41 | -0.25 | -0.20 | -0.20 |       |
| Cu                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.64  | 0.42  | 0.34  | 0.97  | 0.23  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | -0.35 | 0.64  | 1.00  | 1.00  |       |
| Pb                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.24  | 0.23  | 0.69  | 0.07  | 0.68  | 0.66  | 0.68  | -0.58 | 0.39  | 0.68  | 0.68  |       |
| Zn                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.68  | 0.52  | 0.39  | 0.44  | 0.42  | 0.44  | 0.10  | 0.13  | 0.44  | 0.44  |       |
| Ni                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.53  | 0.76  | 0.32  | 0.32  | 0.01  | 0.07  | 0.32  | 0.52  |       |       |
| As                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.37  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | -0.35 | 0.59  | 0.97  | 0.97  |       |
| Cd                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.23  | 0.22  | 0.23  | 0.11  | -0.03 | 0.23  | 0.23  |       |
| Sb                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.37  | 0.65  | 1.00  | 1.00  |       |
| Ag                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 1.00  | -0.38 | 0.69  | 1.00  | 1.00  |       |
| Au                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.37 | 0.65  | 1.00  | 1.00  |
| Hg                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.57 | -0.37 | -0.37 |
| Tl                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.65  | 0.65  |
| Se                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  |       |

Dendrogramda son grup ise aralarında çok kuvvetli pozitif korelasyonlar bulunan Tl, Se, Cd, Ag, Sb, Mo, Ni, Hg ile bu gruba eklenen Co-Cu çifti ve uzaktan eklenen SiO<sub>2</sub> ile temsil edilmektedir. Bu grup “iz element grubu” olarak adlanmıştır (Şekil 6). İz elementlerle birlikte SiO<sub>2</sub>'in de bu grup içinde yer alması diğer ana bileşenlerle negatif korelasyona sahip olan SiO<sub>2</sub>'in ikincil süreçlerle zenginleştiği fikrini desteklemektedir. Bu elementlerin bulunuşu ile ilgili olarak Bağrıkkurt formasyonunun oluşumundan sonra bu kayaları keserek yerleşen Karadağ metamagmatikleri veya daha sonraki süreçlerde ortama gelen cevherli çözeltilere bağlanabilmektedir.

İncelenen numune sayısı az olmasına karşın bileşenlerin sahadaki bulunuşları ile ilgili jeolojik faktörlere yaklaşım için Bağrıkkurt formasyonundan alınan numunelere faktör analizi uygulanmıştır. Bileşen sayısının azaltılması amacıyla Bağrıkkurt formasyonu ile birlikte Bozdağ formasyonu, Karadağ metamagmatikleri ve cevherli örneklerde oldukça düşük değerlerde olan ve çalışmada ulaşılması istenen hedefler için anlamlı olmadıkları düşünülen Ba, Sr, U, V, Zr, Sc, Y, La ve Ce faktör analizinde değerlendirmeye alınmamıştır. Buna göre analizi yapılan 10 numuneye ait olan 25 bileşen üzerinde gerçekleştirilen faktör analizlerine göre ilk 5 faktör toplam değişimin % 94.32'sini karşılamaktadır (Tablo 3; Şekil 7). Başlangıçta değişime etkisi 1'in altında olan diğer 20 faktörün değişime etkisi toplam % 5.68 olup ayrı ayrı ele alındıklarında ihmal edilecek derecede düşüktür.



Şekil 6. Bağrıkkurt Formasyonundan Alınan Numunelere Ait Küme Analizi Dendrogramı

Bağrıkkurt formasyonunda değişime etkisi % 37.3 olan birinci faktör Co, Mo, Cu, Ni, Cd, Sb, Ag, Hg, Tl ve Se'un önemli pozitif yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 8). Ana oksitlerden sadece Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb, Zn ve As ile birlikte zayıf pozitif faktör yüküne sahipken Au'nun zayıf negatif

faktör yükü dikkati çekmektedir. Kuvvetli pozitif yüklerin dağılımına bakıldığında  $\text{SiO}_2$  hariç tutulursa küme analizi dendrogramındaki iz element grubu (ikincil mineralizasyon) ile tam olarak örtüşmektedir. Birinci faktör Bağrıkkurt formasyonu içinde kayaç oluşumu süreçlerini yansıtmasına rağmen daha sonra gerçekleşen orojenik hareketler, metamorfizma ve hidrotermal alterasyonlarla birincil süreçlerin izleri silinmiştir.

Tablo 3. Bağrıkkurt Formasyonundan Derlenen Numunelere Ait Faktör Analizinde İlk 5 Faktörün Değişime Etkisi ve Toplam Değişim İçindeki Payları

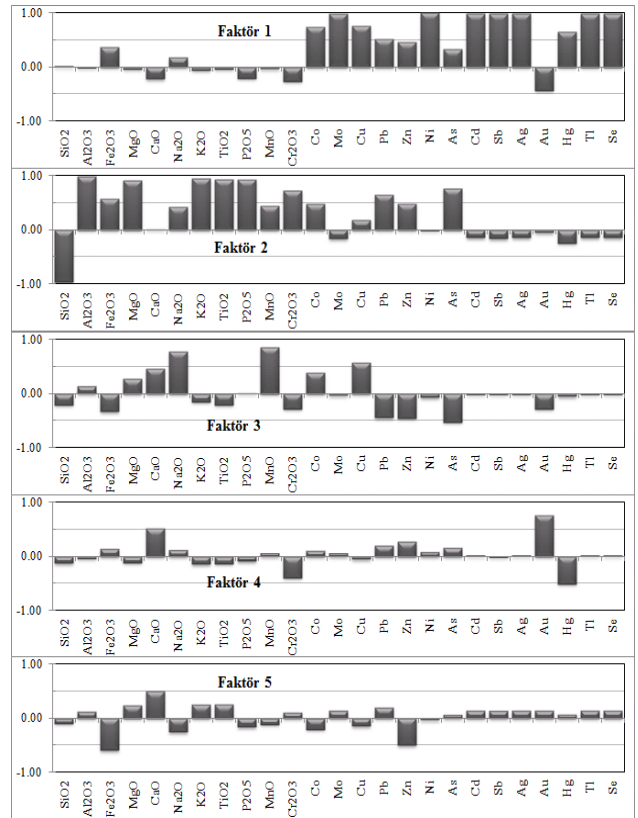
| Faktör | Toplam Değişim | % Değişim | Kümülatif Değişim (%) |
|--------|----------------|-----------|-----------------------|
| 1      | 9.33           | 37.32     | 37.32                 |
| 2      | 8.17           | 32.70     | 70.02                 |
| 3      | 3.15           | 12.59     | 82.61                 |
| 4      | 1.52           | 6.09      | 88.70                 |
| 5      | 1.41           | 5.63      | 94.32                 |

Değişimin % 32.7'sini karşılayan ikinci faktör ise  $\text{SiO}_2$ 'in önemli negatif faktör yüküne karşılık ana oksitlerden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 'ün önemli pozitif yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 8). Bu faktör de ayrıca  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  ve  $\text{As}$ 'te pozitif yüklere sahiptir. Pozitif yüklerin dağılımına bakıldığında küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler ve  $\text{Fe-Pb-Zn}$  grupları ile örtüşmektedir.  $\text{SiO}_2$ 'in önemli negatif faktör yükü yine diğer bileşenlerin çoğuyla negatif korelasyona sahip olan  $\text{SiO}_2$ 'in ikincil süreçlerle ciddi değişime uğradığını ve zenginleştiğini göstermektedir. Bu faktör Bağrıkkurt formasyonunu oluşturan metakırıntılı kayaçlarda litolojik farklılıkları ve bu farklılıklardan kaynaklanan element zenginleşmelerini göstermektedir.  $\text{Fe-Pb-Zn}$  ve  $\text{As}$  ise genel olarak ana oksitlerle birlikte davranış göstermiş olup formasyonu oluşturan ilksel kayaçlardan konglomera, kumtaşı, şeyl ve çörtlerin içinde detritik taneler halinde bulunmalarına bağlanabilmektedir.

Değişime etkisi % 12.6 olan üçüncü faktör  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Cu}$  ve  $\text{CaO}$ 'in pozitif  $\text{Pb-Zn-As}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün zayıf negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 8). Bu faktörde pozitif yükler küme analizi dendrogramındaki  $\text{Ca-Na}$  grubu negatif yükler ise  $\text{Fe-Pb-Zn}$  grubu ile örtüşmektedir. Dolayısıyla bu faktör Bağrıkkurt formasyonu içinde ara seviyeler ve mercekler şeklinde gözlenen metakarbonatlar ile bu kayaçların yüzey koşullarında ayrışmasını göstermektedir.  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{As}$  ve  $\text{Fe}$  metamorfik kayaçlar içinde dolaşan magmatik kökenli çözeltilerden itibaren kısmi bir cevherleşmeye işaret etmektedir. Bu faktörde diğer iz elementlerden farklı olarak önemli pozitif yüke sahip olan  $\text{Cu}$ 'ün asidik

atmosferik şartlar altında kayaçların ayrışması esnasında açığa çıkıp yanal ve düşey yönde uzun mesafelerde taşınması ile açıklanabilmektedir.

Değişim içindeki payı % 6.1 olan dördüncü faktör  $\text{Au}$  ve  $\text{CaO}$ 'in pozitif ve  $\text{Hg}$ 'nin negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 7).  $\text{Au}$ , küme analizi dendrogramında da diğer bileşenlerden farklı davranmış olup gruplara uzaktan eklenmiştir.  $\text{CaO}$ 'in pozitif faktör yükü yüzey koşulları ve yöredeki magmatik faaliyetlere bağlı olarak ortamda dolaşan hidrotermal çözeltilerin karbonatlı kayaçları ayrıştırması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 7. Bağrıkkurt Formasyonuna Ait İlk Beş Faktörde Bileşenlerin Faktör Yük Grafikleri

Değişim içindeki payı % 5.6 olan beşinci ve son faktör ise  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Zn}$ 'nin negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 7). Bu durum küme analizindeki  $\text{Fe-Zn-Pb}$  grubunun asıl bileşenleri olan  $\text{Fe-Zn}$  ikilisi ile örtüşmektedir. Bu faktörde de  $\text{CaO}$ 'in pozitif faktör yüküne sahip olması asidik yüzey koşulları ile magmatik hidrotermal süreçlerin devam ettiğini ve bölgede  $\text{Zn}$  ve  $\text{Fe}$ 'in nisbi olarak zenginleştiklerini göstermektedir.

### 3.3.1.3. Karadağ Metammatikleri

Karadağ metammatiklerinden derlenen 6 numunede gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre örneklerin ortalama  $\text{SiO}_2$  miktarı % 51.14 olup N73 kodlu

numunenin yüksek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nispeten düşük SiO<sub>2</sub> içeriği dikkati çekmektedir. Metamagmatiklerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı % 1.34 ile % 14.89 arasında değişirken kayaçtaki mika, feldispat, piroksen, amfibol ve epidot grubu gibi Al silikatlar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarını yükseltmiştir. Karadağ metamagmatiklerinin bileşimi, asidik, ortaç ve bazik arasında değişmektedir.

İncelenen metamagmatik kayaçların Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı % 1.54 ile % 48.24 arasında değişmekte olup cevherli örneklerin bu kayaçlar içine dahil edilmesinden dolayı oran yükselmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Karadağ metamagmatiklerine Ait Numunelerin Kimyasal Analiz Sonuçları (A.O.: Aritmetik ortalama; KK: Kızdırma kaybı)

| Bileşen                        | Birim | N3     | N73    | N74    | N76    | N78    | N79    | A.O.   |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | %     | 62.32  | 24.54  | 46.86  | 61.81  | 55.05  | 56.23  | 51.14  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 14.89  | 8.04   | 12.09  | 14.01  | 14.20  | 1.34   | 10.76  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 7.18   | 48.24  | 13.68  | 6.09   | 7.55   | 1.54   | 14.05  |
| MgO                            | %     | 3.08   | 0.22   | 11.55  | 1.53   | 2.98   | 0.20   | 3.26   |
| CaO                            | %     | 3.46   | 0.69   | 8.00   | 2.90   | 4.74   | 21.96  | 6.96   |
| Na <sub>2</sub> O              | %     | 5.45   | 2.86   | 2.84   | 2.91   | 1.08   | 0.11   | 2.54   |
| K <sub>2</sub> O               | %     | 0.23   | 0.68   | 0.06   | 7.54   | 10.14  | 0.41   | 3.18   |
| TiO <sub>2</sub>               | %     | 0.36   | 0.53   | 0.44   | 0.83   | 1.00   | 0.05   | 0.54   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %     | 0.14   | 1.44   | 0.11   | 0.71   | 0.86   | 0.04   | 0.55   |
| MnO                            | %     | 0.11   | 0.37   | 0.21   | 0.06   | 0.09   | 0.11   | 0.16   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 0.008  | 0.009  | 0.064  | 0.027  | 0.043  | 0.002  | 0.026  |
| KK                             | %     | 2.70   | 12.10  | 3.80   | 1.20   | 1.70   | 17.90  | 6.57   |
| Ba                             | ppm   | 28.0   | 165.0  | 436.0  | 167.0  | 446.0  | 202.0  | 240.7  |
| Co                             | ppm   | 3.50   | 1.50   | 17.30  | 5.10   | 5.00   | 1.90   | 5.72   |
| Sr                             | ppm   | 2.70   | 93.10  | 200.70 | 22.10  | 34.30  | 166.30 | 86.53  |
| U                              | ppm   | 0.80   | 1.70   | 3.30   | 2.00   | 3.10   | 1.10   | 2.00   |
| V                              | ppm   | 8.00   | 20.00  | 110.00 | 151.00 | 26.00  | 8.00   | 53.83  |
| Zr                             | ppm   | 5.20   | 362.20 | 178.70 | 10.80  | 180.80 | 19.00  | 126.12 |
| Sc                             | ppm   | 24.00  | 10.00  | 43.00  | 17.00  | 19.00  | 2.00   | 19.17  |
| Y                              | ppm   | 3.60   | 19.70  | 22.90  | 14.80  | 23.80  | 45.80  | 21.77  |
| La                             | ppm   | 0.90   | 19.30  | 41.20  | 5.20   | 34.00  | 10.00  | 18.43  |
| Ce                             | ppm   | 1.60   | 38.60  | 80.20  | 11.70  | 67.50  | 23.10  | 37.12  |
| Mo                             | ppm   | 0.50   | 0.30   | 0.70   | 5.90   | 1.00   | 2.40   | 1.80   |
| Cu                             | ppm   | 11.80  | 9.40   | 29.90  | 104.80 | 15.60  | 5.30   | 29.47  |
| Pb                             | ppm   | 14.00  | 254.20 | 21.70  | 10.70  | 23.10  | 12.80  | 56.08  |
| Zn                             | ppm   | 79.00  | 212.00 | 124.00 | 64.00  | 87.00  | 12.00  | 96.33  |
| Ni                             | ppm   | 24.10  | 12.60  | 43.80  | 46.90  | 15.80  | 11.90  | 25.85  |
| As                             | ppm   | 44.80  | 241.60 | 9.30   | 50.10  | 15.30  | 4.30   | 60.90  |
| Cd                             | ppm   | 0.10   | 0.30   | 0.10   | 0.70   | 0.10   | 0.10   | 0.23   |
| Sb                             | ppm   | 1.10   | 0.40   | 1.20   | 2.60   | 0.30   | 0.40   | 1.00   |
| Ag                             | ppm   | 0.10   | 0.30   | 0.10   | 0.30   | 0.10   | 0.10   | 0.17   |
| Au                             | ppb   | 4.30   | 1.50   | 2.20   | 2.00   | 1.10   | 0.80   | 1.98   |
| Hg                             | ppm   | 0.10   | 2.70   | 0.30   | 1.30   | 0.10   | 0.70   | 0.87   |
| Tl                             | ppm   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   |
| Se                             | ppm   | 0.50   | 0.50   | 0.50   | 0.70   | 0.50   | 1.00   | 0.62   |
| Toplam                         | %     | 100.01 | 99.88  | 99.82  | 99.97  | 99.89  | 99.95  |        |

Metamagmatikler gerek kayaç oluşturan minerallerde bulunan Fe ve gerekse daha sonraki süreçlerde kayaç içindeki damarlarda bulunan Fe ile zenginleşmiştir. Karadağ metamagmatiklerinde ortalama % 3.26 MgO, % 6.96 CaO, % 2.54 Na<sub>2</sub>O ve % 3.18 K<sub>2</sub>O bulunmaktadır (Tablo 4). Kayaçların içerisindeki Al-silikatların yanı sıra Ca, Mg, Na ve K silikatlar (mika, piroksen, amfibol ve

epidot grupları vb.) bu bileşenlerin miktarını kontrol etmektedir. Ana oksitlerden TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise sırasıyla ortalama % 0.54, % 0.55, % 0.16 ve % 0.026 oranında yer almaktadırlar. Kızdırma kaybı CaO miktarına paralel olarak % 6.57'dir. Karadağ metamagmatiklerinde maksimum 446 ppm Ba, 200.7 ppm Sr, 151 ppm V, 362.2 ppm Zr, 104.8 ppm Cu, 254.2 ppm Pb, 212 ppm Zn ve 241.6 ppm As dikkati çekmektedir (Tablo 4). Bu bileşenlerden Zr, Pb, Zn, As ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı % 48.24 olan N73 numaralı örnekte en yüksek değerlerini göstermektedirler. Dolayısıyla bu kayaçların ilksel kayaç oluşumundan sonra cevherli çözeltilerle epijenetik cevherleşmeye bağlı olarak bu bileşenlerce zenginleştikleri düşünülmektedir.

Basit korelasyon analizlerine göre birçok bileşenle zıt yönde davranış gösteren SiO<sub>2</sub>; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Zr, Pb ve Zn ile çok kuvvetli, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, As ve Hg ile kuvvetli, LOI, Sr, La, Ce ve Ag ile çok zayıf negatif korelasyona sahip iken Mo ile zayıf, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Cu, Ni, Sb, Au ve Se ile çok zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Bu ilk tespitlere göre SiO<sub>2</sub> diğer ana bileşenlerden farklı davranışlar göstermiştir. Karadağ metamagmatik kayaçlarının önemli bir bileşeni olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise Y ile çok kuvvetli, CaO, Sr ve Se ile kuvvetli negatif, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> ve Sc ile kuvvetli, K<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, Sb ve Au zayıf pozitif korelasyona sahiptir (Tablo 5). Al'un bu durumu bu kayaçların önemli bileşenleri olan feldispatlarla (albit ve ortoklas) ilişkisini yansıtmaktadır.

Çalışma alanındaki en önemli cevherleşmeleri oluşturan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; MnO, Zr, Pb ve Zn ile çok kuvvetli, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Hg ile kuvvetli, Ag ile zayıf pozitif, CaO ile zayıf negatif, Mo ve Se ile de çok zayıf negatif korelasyon göstermektedir. Çoğunluğu bazik olan metamagmatik kayaçlarda zaten yüksek olan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kayaçların oluşumundan sonra gerçekleşen hidrotermal aktivitelerle biraz daha zenginleşmiş ve diğer ana bileşenlerden farklı olarak Pb, Zn ve Mn ile paralel hareket etmiştir.

MgO; Co ve Sc ile çok kuvvetli, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, U, La ve Ce ile kuvvetli Ba, Sr ve Ni ile zayıf pozitif; Hg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, LOI, Pb, As, Cd, Ag ve Se ile zayıf negatif korelasyonlara sahiptir (Tablo 5). MgO ilk bakışta Mg silikatlar içinde bulunabilen Co, Cr, Ni gibi bileşenlerle ortak davranışlar sergilemektedir. Kayaçlarda ortalama % 6 oranında yer alan CaO ise Y ile çok kuvvetli, KK (LOI), Sr ve Se ile kuvvetli pozitif, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Zn ile kuvvetli, K<sub>2</sub>O, Zr, Sc, Cu, Pb, Cd, Sb, Au ve Hg ile zayıf negatif korelasyon göstermektedir. Na<sub>2</sub>O ise Au ile çok kuvvetli pozitif korelasyonun dışında diğer bileşenlerle genel olarak negatif ve Y ile çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir. TiO<sub>2</sub>; LOI ile gösterdiği kuvvetli zayıf negatif

korelasyonun dışında diğer bileşenlerle zayıf ilişkilidir (Tablo 5). MnO ise Zr, Pb ve Zn ile çok kuvvetli, As ve Hg ile kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedir. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Co ve U ile çok kuvvetli, Ba, Sc, La ve Ce ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Buna göre P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve MnO; Pb, Zn, As, Ag ve Hg ile ortak davranışlara sahiptir (Tablo 5).

İz elementlerin durumuna bakıldığında Karadağ metamagmatiklerinde de yüksek oranda gözlenen Ba; Co, U, La ve Ce ile, Co; U, Sc, La, Ce ve Ni ile, Sr; Y ile, U; Sc, La ve Ce ile, V; Mo, Cu, Cd, Ni ve Sb ile; Zr; Pb, Zn ve As ile; Sc; Ni ile, Y; Se ile; La; Ce ile, Mo; Cd; Cu ve Sb ile; Cu; Ni, Cd ve Sb ile; Pb: Zn, As, Ag ve Hg ile, Zn: As ve Hg ile, Ni; Sb ile, As; Ag ve Hg ile, Cd; Sb ve Ag ile ve Ag; Hg ile kuvvetli ve çok kuvvetli pozitif korelasyonlar göstermektedirler. İz elementlerde Sc-Se, Y-Au ve Zn-Se arasındaki kuvvetli negatif korelasyon dikkati çekmektedir (Tablo 5). Basit korelasyon analizlerine göre iz elementlerin birçoğu birlikte davranırken sadece birkaç iz element ana bileşenlerle ortak davranışlar göstermiştir.

Karadağ metamagmatiklerinde bileşenlerin birlikte davranışlarının belirlenmesi için küme analizleri gerçekleştirilmiştir. Küme analizlerin basit korelasyon analizlerinde ortaya çıkan anlamlı element ilişkilerine göre dendrogram hazırlanmıştır (Şekil 9). Küme analizi dendrogramında ilk bakışta; “**Ana bileşenler grubu**”, “**Fe-Mn-Pb-Zn-Hg grubu**” ve “**Ca grubu**” olmak üzere 3 belirgin grup ortaya çıkmaktadır. Ana bileşenler grubu

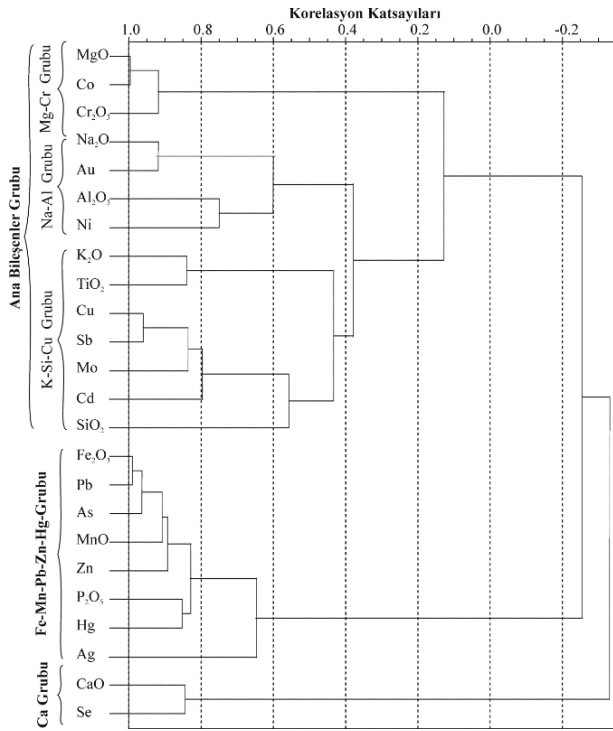
da kendi içinde “**Mg-Cr grubu**”, “**Na-Al grubu**” ve “**K-Si-Cu grubu**” olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır (Şekil 8).

Ana bileşenler grubu içinde yer alan SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O ve MgO bu kayaların bileşiminin %70’inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu bileşenlerin kendi içlerinde bütünlük arz eden alt gruplarda yer alması metamagmatik kayalarındaki litolojik farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Koyu renkli mineraller içinde yaygın olan Mg-Cr ikilisine eşlik eden Co ayrı bir alt grup oluşturmaktadırlar. Na ve Al bakımından zengin olan amfiboller (glokofan, krossit vb.) ile piroksenler ise Na-Al grubunda yer almaktadırlar. Si-Cu-K alt grubu potasyum feldispatlardan kaynaklanmaktadır. Adı geçen minerallerin bünyesinde bulunan Cu, Sb, Mo, Ni ve Co ise alt gruplar içine dağılmışlardır (Şekil 8).

Fe-Mn-Pb-Zn-Hg grubunda bulunan bileşenler ise hidrotermal aktivitelerle oransal olarak artan bileşenler olup kayaç oluşumundan sonraki süreçlerle yerleşmişlerdir. Dolayısıyla bölgedeki cevherleşme ile ilişkilidirler. Ca grubu içinde yer alan CaO ve Se ise korelasyon analizlerinde de diğer bileşenlerle negatif ilişkilidirler. CaO yüzeysel koşullarda birincil minerallerin ayrışması ve asidik karakterli çözeltilerle karşılaşması sonucu çözülen uzaklaşmıştır.

Tablo 5. Karadağ Metamagmatiklerinden Derlenen Numunelere Ait Basit Korelasyon Katsayıları (n=6).

|                                | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | LOI   | Ba    | Co    | Sr    | U     | V     | Zr    | Sc    | Y     | La    | Ce    | Mo    | Cu    | Pb    | Zn    | Ni    | As    | Cd    | Sb    | Ag    | Au    | Hg    | Se    |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 1.00             | 0.30                           | -0.95                          | 0.03  | 0.27  | 0.07              | 0.34             | 0.05             | -0.66                         | -0.97 | 0.03                           | -0.41 | -0.12 | 0.02  | -0.36 | -0.16 | 0.19  | -0.94 | 0.09  | -0.10 | -0.38 | -0.38 | 0.49  | 0.36  | -0.93 | -0.88 | -0.33 | -0.83 | 0.06  | 0.44  | -0.44 | 0.32  | -0.76 | 0.32  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.00             | -0.12                          | 0.37                           | -0.78 | 0.64  | 0.47              | 0.71             | 0.12             | -0.27                         | 0.49  | -0.98                          | 0.10  | 0.32  | -0.63 | 0.37  | 0.39  | -0.07 | 0.63  | -0.83 | 0.11  | 0.07  | 0.04  | 0.41  | -0.24 | 0.17  | 0.53  | -0.12 | 0.22  | 0.47  | 0.04  | 0.59  | -0.32 | -0.76 | 0.32  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.00             | -0.14                          | -0.50                          | 0.18  | -0.29 | 0.06              | 0.77             | 0.95             | -0.14                         | 0.25  | -0.10                          | -0.15 | 0.09  | 0.02  | -0.17 | 0.88  | -0.10 | -0.17 | 0.18  | 0.17  | -0.42 | -0.24 | 0.98  | 0.94  | -0.28 | 0.95  | 0.10  | -0.29 | 0.59  | -0.11 | 0.83  | -0.45 | 0.32  | -0.76 |
| MgO                            | 1.00             | -0.06                          | 0.21                           | -0.20 | 0.01  | -0.43             | 0.05             | 0.85             | -0.43                         | 0.59  | 0.98                           | 0.47  | 0.66  | 0.43  | 0.08  | -0.89 | -0.15 | 0.68  | 0.66  | -0.29 | 0.02  | -0.32 | 0.14  | 0.59  | -0.40 | -0.32 | 0.15  | -0.43 | 0.25  | -0.47 | -0.43 | 0.32  | -0.76 |       |
| CaO                            | 1.00             | -0.66                          | -0.30                          | -0.68 | -0.63 | -0.29             | -0.21            | 0.68             | 0.11                          | -0.03 | 0.62                           | -0.22 | -0.25 | -0.41 | -0.34 | 0.86  | -0.04 | -0.01 | 0.08  | -0.31 | -0.41 | -0.67 | -0.27 | -0.52 | -0.39 | -0.31 | -0.52 | -0.43 | -0.31 | 0.85  | -0.31 | -0.76 |       |       |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.00             | -0.30                          | 0.02                           | -0.04 | 0.12  | -0.06             | -0.52            | -0.54            | 0.11                          | -0.47 | -0.28                          | 0.11  | -0.09 | 0.46  | -0.92 | -0.34 | -0.38 | -0.17 | 0.14  | 0.08  | 0.33  | 0.36  | 0.24  | 0.13  | 0.40  | 0.15  | 0.94  | -0.01 | 0.61  | -0.61 | 0.32  | -0.76 |       |       |
| K <sub>2</sub> O               | 1.00             | 0.59                           | 0.37                           | -0.51 | 0.31  | -0.54             | 0.38             | -0.12            | -0.54                         | 0.45  | 0.29                           | -0.07 | -0.09 | -0.09 | 0.15  | 0.15  | 0.45  | 0.47  | -0.26 | -0.20 | 0.12  | -0.22 | 0.39  | 0.22  | 0.16  | -0.33 | -0.16 | -0.11 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.00             | 0.59                           | -0.18                          | 0.47  | -0.73 | 0.40              | 0.07             | -0.56            | 0.60                          | 0.39  | 0.24                           | 0.19  | -0.41 | 0.30  | 0.29  | 0.24  | 0.48  | 0.01  | 0.23  | 0.26  | 0.06  | 0.43  | 0.27  | 0.33  | -0.12 | 0.02  | -0.53 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.00             | 0.34                           | -0.10                          | -0.02 | 0.01  | -0.39             | -0.34            | 0.16             | -0.05                         | 0.74  | -0.52                          | -0.20 | 0.11  | 0.11  | -0.04 | 0.09  | 0.79  | 0.71  | -0.27 | 0.81  | 0.41  | -0.13 | 0.73  | -0.33 | 0.76  | -0.39 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |
| MnO                            | 1.00             | -0.06                          | 0.39                           | -0.01 | 0.03  | 0.37              | 0.05             | -0.21            | 0.87                          | 0.01  | -0.02                          | 0.31  | 0.30  | -0.56 | -0.40 | 0.91  | 0.89  | -0.28 | 0.83  | -0.12 | -0.40 | 0.38  | -0.12 | 0.71  | -0.37 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.00             | -0.59                          | 0.84                           | 0.89  | 0.29  | 0.94              | 0.58             | 0.21             | 0.82                          | -0.09 | 0.83                           | 0.82  | -0.07 | 0.24  | -0.30 | 0.15  | 0.59  | -0.38 | -0.08 | 0.19  | -0.24 | -0.08 | -0.39 | -0.46 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| LOI                            | 1.00             | -0.21                          | -0.42                          | 0.55  | -0.46 | -0.51             | 0.16             | -0.66            | 0.75                          | -0.16 | -0.14                          | -0.16 | -0.51 | 0.38  | -0.05 | -0.63 | 0.27  | -0.26 | -0.54 | 0.01  | -0.50 | 0.41  | 0.66  | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ba                             | 1.00             | 0.64                           | 0.45                           | 0.98  | 0.24  | 0.36              | 0.44             | 0.37             | 0.94                          | 0.94  | -0.18                          | -0.07 | -0.18 | 0.07  | 0.14  | -0.36 | -0.30 | -0.24 | -0.35 | -0.53 | -0.32 | -0.20 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Co                             | 1.00             | 0.52                           | 0.72                           | 0.57  | 0.08  | 0.91              | -0.07            | 0.69             | 0.68                          | -0.12 | 0.17                           | -0.32 | 0.11  | 0.68  | -0.40 | -0.17 | 0.25  | -0.32 | 0.12  | -0.40 | -0.34 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Sr                             | 1.00             | 0.28                           | 0.06                           | 0.24  | 0.18  | 0.69              | 0.52             | 0.54             | -0.23                         | -0.30 | 0.05                           | 0.04  | 0.03  | -0.13 | -0.38 | -0.29 | -0.27 | -0.43 | 0.03  | 0.32  | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| U                              | 1.00             | 0.43                           | 0.41                           | 0.60  | 0.06  | 0.91              | 0.90             | -0.08            | 0.18                          | -0.10 | 0.25                           | 0.38  | -0.22 | -0.05 | 0.02  | -0.11 | -0.35 | -0.21 | -0.43 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| V                              | 1.00             | -0.17                          | 0.47                           | -0.20 | 0.15  | 0.14              | 0.67             | 0.89             | -0.28                         | -0.05 | 0.95                           | -0.20 | 0.70  | 0.86  | 0.40  | 0.01  | 0.04  | -0.06 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Zr                             | 1.00             | 0.06                           | 0.01                           | 0.59  | 0.59  | -0.55             | -0.35            | 0.84             | 0.90                          | -0.31 | 0.73                           | -0.13 | -0.49 | 0.33  | -0.35 | 0.59  | -0.53 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Sc                             | 1.00             | -0.45                          | 0.55                           | 0.52  | -0.25 | 0.14              | -0.29            | 0.22             | 0.67                          | -0.31 | -0.19                          | 0.29  | -0.31 | 0.47  | -0.46 | -0.63 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Y                              | 1.00             | 0.23                           | 0.27                           | 0.07  | -0.29 | -0.07             | -0.37            | -0.39            | -0.24                         | -0.27 | -0.45                          | -0.25 | -0.82 | 0.01  | 0.75  | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| La                             | 1.00             | -0.43                          | -0.23                          | 0.07  | 0.37  | 0.09              | -0.11            | -0.40            | -0.35                         | -0.30 | -0.40                          | -0.17 | -0.42 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ce                             | 1.00             | -0.42                          | -0.23                          | 0.07  | 0.35  | 0.07              | -0.12            | -0.40            | -0.36                         | -0.30 | -0.43                          | -0.17 | -0.38 | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Mo                             | 1.00             | 0.83                           | -0.38                          | -0.50 | 0.52  | -0.24             | 0.83             | 0.78             | 0.47                          | -0.18 | 0.11                           | 0.51  | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Cu                             | 1.00             | -0.28                          | -0.18                          | 0.79  | -0.15 | 0.90              | 0.94             | 0.57             | 0.05                          | 0.13  | 0.08                           | 0.32  | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Pb                             | 1.00             | 0.86                           | -0.42                          | 0.97  | 0.11  | -0.36             | 0.61             | -0.20            | 0.87                          | -0.31 | 0.32                           | -0.76 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Zn                             | 1.00             | -0.08                          | 0.83                           | 0.05  | -0.20 | 0.48              | 0.04             | 0.64             | -0.71                         | 0.32  | -0.76                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ni                             | 1.00             | -0.32                          | 0.52                           | 0.88  | 0.19  | 0.33              | -0.18            | -0.17            | 0.32                          | -0.76 |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| As                             | 1.00             | 0.27                           | -0.18                          | 0.73  | -0.05 | 0.91              | -0.33            | 0.32             | -0.76                         |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Cd                             | 1.00             | 0.79                           | 0.85                           | -0.06 | 0.51  | 0.11              | 0.32             | -0.76            |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Sb                             | 1.00             | 0.44                           | 0.35                           | 0.01  | 0.02  | 0.32              | -0.76            |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ag                             | 1.00             | -0.14                          | 0.87                           | -0.06 | 0.32  | -0.76             |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Au                             | 1.00             | -0.30                          | -0.46                          | 0.32  | -0.76 |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Hg                             | 1.00             | 0.00                           | 0.32                           | -0.76 |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Se                             | 1.00             | 0.32                           | -0.76                          |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |



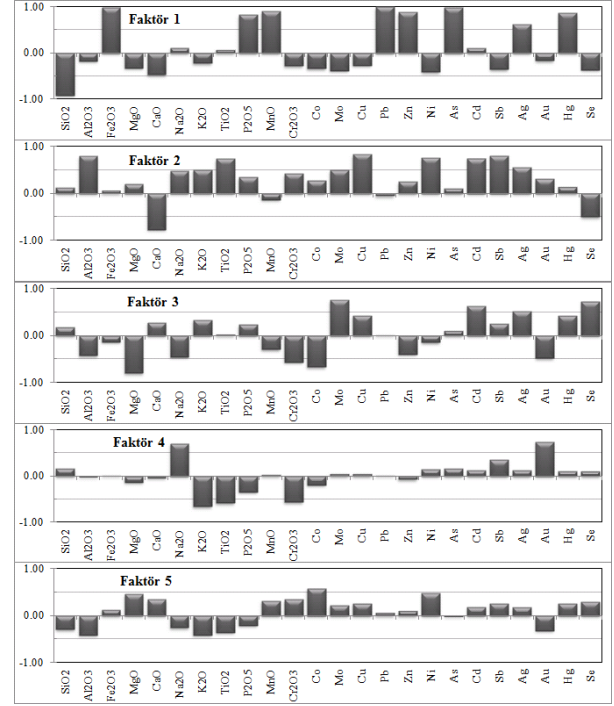
Şekil 8. Karadağ Metamagmatiklerinde Gerçekleştirilen Basit Korelasyon Katsayıları Kullanılarak Hazırlanan Küme (Cluster) Analizi Dendrogramı

Karadağ metamagmatiklerinde alınan örneklerdeki incelenen bileşenlerin bulunuşlarına etki eden faktörlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen faktör analizinde 6 numunedeki 24 bileşene ait ilk beş faktör toplam değişimin tamamını karşılamaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. Karadağ Metamagmatiklerinden Derlenen Numunelere Ait Faktör Analizinde İlk 5 Faktörün Değişime Etkisi ve Toplam Değişim İçindeki Payları

| Faktör | Toplam Değişim | % Değişim | Kümülatif Değişim (%) |
|--------|----------------|-----------|-----------------------|
| 1      | 8.39           | 34.96     | 34.96                 |
| 2      | 6.06           | 25.25     | 60.21                 |
| 3      | 4.72           | 19.68     | 79.89                 |
| 4      | 2.55           | 10.61     | 90.51                 |
| 5      | 2.28           | 9.49      | 100.00                |

Toplam değişime etkisi % 35 olan birinci faktör  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $MnO$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $As$  ve  $Hg$ 'nin önemli pozitif faktör yüklerine karşılık  $SiO_2$ 'in önemli negatif faktör yükü ile temsil edilmektedir (Şekil 10). Pozitif yüke sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki  $Fe-Mn-Pb-Zn-Hg$  grubu ile tam olarak örtüşmektedir. Negatif yüke sahip olan  $SiO_2$  ise dendrogramdaki  $Si-Cu-K$  grubu içinde yer almaktadır. Birinci faktör cevherleşmenin etkisiyle gelişmiştir.



Şekil 9. Karadağ Metamagmatiklerine Ait İlk Beş Faktörde Bileşenlerin Faktör Yük Grafikleri

Karadağ metamagmatiklerinde ikinci faktörün toplam değişime etkisi % 25.3 olup  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Cd$  ve  $Sb$ 'in önemli pozitif,  $CaO$  ve  $Se$ 'un önemli negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Bu faktörde ayrıca  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Co$ ,  $Mo$  ve  $Ag$ 'de pozitif faktör yüklerine sahiptir (Şekil 10). Pozitif faktör yüklerinin dağılımına bakıldığında küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler grubu ile örtüşmektedir. Negatif faktör yüküne sahip olan bileşenler ise yine küme analizindeki  $Ca$  grubu ile örtüşmektedir. Dolayısıyla bu faktör metamagmatik kayaların oluşumunu yani magmatik süreçleri göstermektedir.

Değişime etkisi % 19.7 olan üçüncü faktör ise  $Mo$ ,  $Cu$ ,  $Cd$ ,  $Ag$ ,  $Hg$  ve  $Se$ 'un önemli pozitif,  $MgO$ ,  $Cr_2O_3$  ve  $Co$ 'ın önemli negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 9). Bu faktördeki pozitif faktör yüküne sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler grubunun içindeki  $Si-Cu-K$  alt grubunda yer alan (( $Cu-Sb$ )- $Mo$ )- $Cd$  topluluğu ile örtüşmektedir. Negatif faktör yüküne sahip olan bileşenler ise yine ana bileşenler grubu içindeki  $Mg-Cr$  alt grubu ile örtüşmektedir.  $Mg-Cr$  gibi elementlerin negatif faktör yüklerine karşılık  $Mo-Cu-Sb$  gibi elementlerin pozitif faktör yüklerine sahip olmaları koyu renkli minerallerin ayrışmasına ve adı geçen elementlerin nisbî zenginleşmesine neden olan hidrotermal alterasyonu göstermektedir.

Faktör analizinde değişime etkisi % 10.6 olan dördüncü faktör ise Na<sub>2</sub>O ve Au'nun önemli pozitif ve K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün önemli negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Pozitif ve negatif faktör yüklerinin dağılımına göre pozitif yükler küme analizi dendrogramındaki "Ana bileşenler grubunun" alt grubu olan "Na-Al grubu"nun içindeki Na<sub>2</sub>O-Au çiftine karşılık gelirken negatif yükler ise yine "Ana bileşenler grubu"ndaki "Si-Cu-K grubu" içinde bulunan K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> element çiftine karşılık gelmektedir. Bu durum Au'nun Na ile birlikte özellikle kayaç yapıcı bileşenlerden plajiyoklaslar içinde hareket ettiğini buna karşılık K-feldispatların farklı hareket ettiklerini göstermektedir.

Değişimin % 9.5'ine karşılık gelen son faktör ise MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co, Ni ve CaO pozitif yükleri ile temsil edilmektedir. Kayaç yapıcı diğer birçok bileşen ise negatif faktör yüküne sahiptir. Bu durum koyu renkli minerallerle açık renkli minerallerin hidrotermal

alterasyon esnasında farklı davrandıklarını göstermektedir.

### 3.3.2. Cevher Jeokimyası

Kimyasal analiz sonuçlarına göre ön değerlendirmesi yapılan numuneler başlangıçta demirli ve demir dışı metalik zenginleşmeler şeklinde ayrılmaya çalışılsa da Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı yüksek olan birçok numunede diğer metallerin de yüksek olması nedeniyle bütün numuneler birlikte değerlendirilmiştir. Dolayısıyla alınan numunelerden 19 adedi cevher numunesi olarak ayrılmıştır. Cevher numuneleri içinde bir örnek Sızma-Ladik civa yataklarındaki Büyük Ocak'ta Bozdağ formasyonundan alınırken 5 örnek Karadağ metamagmatikleri ve 13 örnek ise Bağrıkkurt formasyonundan alınmıştır (Tablo 7). Ayrıca 2 adet dere sedimanı numunesi de cevherli numune olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 7. Cevherli Örneklerin Kimyasal Analiz Sonuçları

| Bileşen                        | Birim | Formasyon    |              |                          |              |              |              |             |               |             |              |              |              |              |              |              |               |            |              |  |
|--------------------------------|-------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|--------------|--|
|                                |       | Bozdağ       |              | Karadağ metamagmatikleri |              |              |              |             |               | Bağrıkkurt  |              |              |              |              |              |              |               |            |              |  |
|                                |       | N1           | N3           | N73                      | N74          | N76          | N78          | N9          | N10           | N13         | N24          | N29          | N38          | N39          | N43          | N50          | N64           | N69        | N70          |  |
| SiO <sub>2</sub>               | %     | 4.34         | 62.32        | 24.54                    | 46.86        | 61.81        | 55.05        | 93.83       | 23.08         | 89.93       | 8.01         | 86.77        | 23.99        | 89.03        | 23.88        | 88.82        | 6.06          | 95.11      | 84.77        |  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 0.80         | <b>14.89</b> | <b>8.04</b>              | <b>12.09</b> | <b>14.01</b> | <b>14.20</b> | 1.49        | 6.52          | 1.12        | 1.82         | 5.33         | 6.39         | 0.56         | <b>22.45</b> | 1.88         | <b>8.42</b>   | 0.81       | 2.54         |  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 0.15         | <b>7.18</b>  | <b>48.24</b>             | <b>13.68</b> | <b>6.09</b>  | <b>7.55</b>  | 2.25        | <b>56.62</b>  | <b>6.32</b> | <b>54.29</b> | 2.14         | <b>55.51</b> | <b>8.40</b>  | <b>36.84</b> | <b>6.39</b>  | 2.13          | 1.10       | <b>7.56</b>  |  |
| MgO                            | %     | 0.30         | 3.08         | 0.22                     | 11.55        | 1.53         | 2.98         | 0.10        | 0.40          | 0.08        | 0.11         | 0.38         | 0.25         | 0.03         | 0.12         | 0.07         | 0.73          | 0.07       | 0.34         |  |
| CaO                            | %     | 51.70        | 3.46         | 0.69                     | 8.00         | 2.90         | 4.74         | 0.48        | 0.45          | 0.27        | 14.62        | 1.35         | 0.39         | 0.04         | 0.41         | 0.18         | 43.13         | 0.37       | 0.07         |  |
| Na <sub>2</sub> O              | %     | 0.01         | 5.45         | 2.86                     | 2.84         | 2.91         | 1.08         | 0.02        | 0.09          | 0.01        | 0.11         | 0.11         | 0.23         | 0.01         | 2.92         | 0.06         | 0.34          | 0.01       | 0.03         |  |
| K <sub>2</sub> O               | %     | 0.24         | 0.23         | 0.68                     | 0.06         | 7.54         | 10.14        | 0.39        | 1.78          | 0.32        | 0.32         | 1.24         | 1.14         | 0.10         | 0.74         | 0.24         | 0.54          | 0.22       | 0.62         |  |
| TiO <sub>2</sub>               | %     | 0.01         | 0.36         | 0.53                     | 0.44         | 0.83         | 1.00         | 0.06        | 0.37          | 0.04        | 0.07         | 0.42         | 0.39         | 0.01         | 0.23         | 0.05         | 0.10          | 0.03       | 0.11         |  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %     | 0.01         | 0.14         | 1.44                     | 0.11         | 0.71         | 0.86         | 0.10        | 0.51          | 0.20        | 0.08         | 0.04         | 0.38         | 0.10         | 0.07         | 0.08         | 0.03          | 0.03       | 0.09         |  |
| MnO                            | %     | 0.03         | 0.11         | 0.37                     | 0.21         | 0.06         | 0.09         | 0.03        | 0.10          | 0.03        | 0.01         | 1.01         | 0.11         | 0.03         | 0.02         | 0.03         | 1.94          | 0.88       | 1.45         |  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 0.004        | 0.008        | 0.009                    | <b>0.064</b> | <b>0.027</b> | <b>0.043</b> | 0.003       | 0.009         | 0.004       | 0.005        | <b>0.017</b> | <b>0.011</b> | 0.002        | <b>0.045</b> | 0.004        | <b>0.018</b>  | 0.003      | 0.002        |  |
| Ba                             | ppm   | 15.0         | 28.0         | 165.0                    | 436.0        | 167.0        | 446.0        | 221.0       | 413.0         | 222.0       | 30.0         | 186.0        | 242.0        | 119.0        | <b>588.0</b> | 223.0        | <b>2804.0</b> | 78.0       | 51.0         |  |
| Co                             | ppm   | 0.5          | 3.5          | 1.5                      | <b>17.3</b>  | 5.1          | 5.0          | <b>12.8</b> | <b>167.4</b>  | <b>16.4</b> | 1.4          | <b>26.4</b>  | <b>63.6</b>  | <b>14.9</b>  | <b>44.9</b>  | <b>52.7</b>  | 9.0           | 0.5        | 4.0          |  |
| Sr                             | ppm   | 291.6        | 2.7          | 93.1                     | 200.7        | 22.1         | 34.3         | 32.4        | 14.3          | 38.2        | 11.0         | <b>727.4</b> | 24.7         | 13.2         | 136.8        | 145.1        | 30.6          | 26.5       | 22.1         |  |
| U                              | ppm   | <b>2.1</b>   | 0.8          | <b>1.7</b>               | <b>3.3</b>   | <b>2.0</b>   | <b>3.1</b>   | 1.0         | <b>7.9</b>    | <b>2.2</b>  | 0.1          | <b>6.6</b>   | <b>4.8</b>   | <b>2.2</b>   | <b>4.7</b>   | 0.3          | <b>1.8</b>    | 0.5        | 0.4          |  |
| V                              | ppm   | 8.0          | 8.0          | 20.0                     | <b>110.0</b> | <b>151.0</b> | 26.0         | 17.0        | 54.0          | 10.0        | 8.0          | <b>107.0</b> | 88.0         | <b>156.0</b> | 80.0         | <b>193.0</b> | 20.0          | 8.0        | 33.0         |  |
| Zr                             | ppm   | 5.7          | 5.2          | <b>362.2</b>             | 178.7        | 10.8         | 180.8        | 152.7       | 111.1         | 24.4        | 6.3          | 105.0        | 83.5         | 8.5          | 99.9         | 28.3         | 11.1          | 21.2       | 12.1         |  |
| Sc                             | ppm   | 1.0          | 24.0         | 10.0                     | 43.0         | 17.0         | 19.0         | 2.0         | 17.0          | 1.0         | 4.0          | 2.0          | 25.0         | 2.0          | 171.0        | 5.0          | 33.0          | 1.0        | 4.0          |  |
| Y                              | ppm   | 8.6          | 3.6          | 19.7                     | 22.9         | 14.8         | 23.8         | 10.7        | 57.4          | 13.0        | 2.1          | 264.4        | 79.9         | 15.0         | 28.0         | 11.4         | 10.6          | 4.0        | 16.5         |  |
| La                             | ppm   | 4.6          | 0.9          | 19.3                     | 41.2         | 5.2          | 34.0         | 8.4         | 19.1          | 8.6         | 0.3          | 132.2        | 32.7         | 3.0          | 15.2         | 6.3          | 11.2          | 6.7        | 5.0          |  |
| Ce                             | ppm   | 5.9          | 1.6          | 38.6                     | 80.2         | 11.7         | 67.5         | 16.2        | 37.9          | 21.7        | 0.5          | 154.4        | 55.1         | 6.5          | 32.4         | 12.6         | 15.7          | 12.3       | 6.8          |  |
| Mo                             | ppm   | 0.1          | 0.5          | 0.3                      | 0.7          | <b>5.9</b>   | 1.0          | <b>3.9</b>  | <b>71.6</b>   | 1.1         | 0.8          | <b>7.0</b>   | <b>7.7</b>   | <b>13.1</b>  | <b>47.9</b>  | 0.4          | 1.7           | 0.4        | 1.1          |  |
| Cu                             | ppm   | 2.6          | 11.8         | 9.4                      | 29.9         | <b>104.8</b> | 15.6         | 20.5        | <b>76.3</b>   | <b>52.3</b> | 5.2          | <b>254.5</b> | <b>110.0</b> | <b>71.6</b>  | <b>113.2</b> | 23.3         | <b>95.3</b>   | 4.9        | <b>49.8</b>  |  |
| Pb                             | ppm   | <b>62.6</b>  | 14.0         | <b>254.2</b>             | 21.7         | 10.7         | 23.1         | 5.6         | <b>78.9</b>   | 16.3        | 1.9          | <b>160.8</b> | <b>685.4</b> | 9.4          | <b>496.4</b> | 4.9          | 3.6           | 6.1        | <b>190.5</b> |  |
| Zn                             | ppm   | 1.0          | <b>79.0</b>  | <b>212.0</b>             | <b>124.0</b> | 64.0         | <b>87.0</b>  | 27.0        | <b>1426.0</b> | 69.0        | 24.0         | <b>504.0</b> | <b>728.0</b> | <b>122.0</b> | <b>199.0</b> | <b>79.0</b>  | 19.0          | 11.0       | <b>103.0</b> |  |
| Ni                             | ppm   | 10.1         | 24.1         | 12.6                     | 43.8         | <b>46.9</b>  | 15.8         | 24.9        | <b>1219.0</b> | 33.4        | 12.8         | <b>391.4</b> | <b>219.8</b> | <b>61.7</b>  | <b>187.9</b> | <b>83.5</b>  | 45.4          | 11.1       | 33.0         |  |
| As                             | ppm   | <b>239.7</b> | <b>44.8</b>  | <b>241.6</b>             | <b>9.3</b>   | <b>50.1</b>  | <b>15.3</b>  | 6.8         | <b>322.0</b>  | 7.7         | <b>54.9</b>  | <b>950.8</b> | <b>912.9</b> | <b>13.9</b>  | <b>115.0</b> | 1.7          | 2.6           | 4.9        | <b>209.1</b> |  |
| Cd                             | ppm   | 0.3          | 0.1          | 0.3                      | 0.1          | <b>0.7</b>   | 0.1          | 0.1         | 0.4           | <b>0.7</b>  | 0.2          | <b>10.7</b>  | 0.4          | 0.3          | <b>2.7</b>   | 0.1          | 0.1           | 0.1        | 0.3          |  |
| Sb                             | ppm   | <b>182.0</b> | <b>1.1</b>   | <b>0.4</b>               | <b>1.2</b>   | <b>2.6</b>   | <b>0.3</b>   | <b>0.3</b>  | <b>3.0</b>    | <b>0.6</b>  | <b>0.9</b>   | <b>6.3</b>   | <b>7.5</b>   | <b>1.7</b>   | <b>6.0</b>   | 0.1          | <b>0.6</b>    | <b>0.8</b> | <b>1.7</b>   |  |
| Ag                             | ppm   | <b>3.3</b>   | 0.1          | <b>0.3</b>               | 0.1          | <b>0.3</b>   | 0.1          | 0.1         | 0.1           | 0.1         | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.1          | <b>0.2</b>   | <b>0.9</b>   | 0.1           | 0.1        | 0.1          |  |
| Au                             | ppb   | 63.1         | 4.3          | 1.5                      | 2.2          | 2.0          | 1.1          | 0.5         | 3.5           | 0.9         | 19.5         | 33.3         | 6.4          | 1.0          | 9.5          | 0.6          | 2.8           | 1.1        | 20.4         |  |
| Hg                             | ppm   | <b>100.0</b> | <b>0.1</b>   | <b>2.7</b>               | <b>0.3</b>   | <b>1.3</b>   | <b>0.1</b>   | <b>0.1</b>  | <b>0.5</b>    | <b>0.8</b>  | <b>0.4</b>   | <b>1.2</b>   | <b>2.7</b>   | <b>0.8</b>   | <b>9.3</b>   | <b>3.8</b>   | <b>0.5</b>    | 0.1        | <b>1.1</b>   |  |
| Tl                             | ppm   | <b>19.9</b>  | 0.1          | 0.1                      | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.2         | 0.1           | 0.1         | 0.1          | 0.1          | 0.1          | 0.1          | <b>0.9</b>   | 0.1          | 0.1           | 0.1        | 0.1          |  |
| Se                             | ppm   | <b>70.5</b>  | <b>0.5</b>   | <b>0.5</b>               | <b>0.5</b>   | <b>0.7</b>   | <b>0.5</b>   | <b>0.5</b>  | <b>2.1</b>    | <b>2.2</b>  | <b>0.5</b>   | <b>16.7</b>  | <b>0.9</b>   | <b>0.5</b>   | <b>2.4</b>   | <b>0.5</b>   | <b>1.4</b>    | <b>0.5</b> | <b>0.7</b>   |  |
| Toplam                         | %     | 99.91        | 100.01       | 99.88                    | 99.82        | 99.97        | 99.89        | 99.97       | 99.64         | 99.96       | 100.04       | 99.55        | 99.68        | 99.96        | 99.76        | 99.72        | 99.60         | 100.03     | 99.98        |  |

Cevherli numunelerde farklı litolojik özelliklere sahip olan numunelerin birlikte değerlendirilmesi nedeniyle  $\text{SiO}_2$  % 4.34 ile % 96.57 arasında değişmektedir (Tablo 7).  $\text{SiO}_2$  kayaç yapıcı bileşenlerde olduğu gibi kayaç oluşumundan sonra gerçekleşen cevherleşme, alterasyon gibi süreçlerle de zenginleşmiştir. İncelenen örneklerin  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarları, % 0.56 ile % 22.45 arasında değişirken;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarları % 0.15 ile % 56.62 arasında değişim göstermektedir. Birçok örnekteki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı % 4.41 olan yer kabuğu ortalama değerlerinden (Iskandar ve Birkam, 2001; Kabata-Pendias ve Pendias, 2001; Komatina, 2004; Selinus, Alloway, Centeno, Finkelman, Fuge, Lindh, ve Smedly, 2004; Essington, 2005; Mirsal, 2008; Köksoy, 1991; Gümüş, 1979; Krauskopf, 1979; Çağatay, Erlor, Güleç, Savaşçın ve Tokel, 1993) yüksek olup bazı örneklerdeki % 50'nin üzerindeki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  değerleri kayaç içindeki damar ve çatlaklarda bulunan hematit ve spekülarit oluşumlarına bağlı olup doğrudan işletilebilecek niteliktedir. Dolayısıyla inceleme alanındaki en önemli cevherleşmenin damar tipte demiroksit cevherleşmesi olduğu düşünülmektedir.

İncelenen örneklerdeki diğer ana bileşenlerin ortalaması  $\text{MgO}$  % 1.18,  $\text{CaO}$  % 7.01,  $\text{Na}_2\text{O}$  % 1.01,  $\text{K}_2\text{O}$  % 1.41,  $\text{TiO}_2$  % 0.27,  $\text{P}_2\text{O}_5$  % 0.26,  $\text{MnO}$  % 0.35 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  % 0.01'dir. Bu bileşenlerden  $\text{CaO}$  beklenenden biraz yüksek olup Bozdağ formasyonundan alınan karbonatlı kayaç numunesindeki % 51.7'lik  $\text{CaO}$  değeri ortalamayı yükseltmektedir. Bazı numunelerdeki Ca-silikatlar da  $\text{CaO}$  ortalamasının yükselmesine katkı sağlamıştır. Kayaçlardaki  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ise bazı numunelerde 640 ppm'e kadar yükselmiştir.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , özellikle Karadağ metamagmatiklerinde daha yüksek değerler göstermektedir (Tablo 7). Cevher örneklerinde en yüksek Ba 2804 ppm ile Bağrıkurt formasyonundadır. Ba'un bazı örneklerde yer kabuğu ortalama değerinden (485 ppm; Kabata-Pendias ve Pendias, 2001; Selinus ve diğ., 2004; Essington, 2005; Mirsal, 2008; Köksoy, 1991; Krauskopf, 1979) çok fazla zenginleştiği görülmektedir (Tablo 7). Sr ise Bağrıkurt formasyonundan alınan bir numunede 727 ppm olarak belirlenmiştir.

Bağrıkurt formasyonundaki Co miktarının (167.4 ppm) yer kabuğu ortalama değerlerinin (11.5 ppm; Iskandar ve Birkam, 2001; Essington, 2005; Mirsal, 2008; Köksoy, 1991; Krauskopf, 1979; Çağatay ve diğ., 1993) oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 7). Ni ise yine Bağrıkurt formasyonunda 1219 ppm'e kadar görülmektedir (Tablo 7).

Analiz edilen örneklerde U, V, Zr, Sc, Y, La ve Ce'un genel olarak yer kabuğu ortalama değerlerine yakın olduğu

görülmektedir. Ancak bazı numunelerde bu elementler oldukça yüksek değerlere ulaşmakta olup bu konuda yapılacak araştırmalarda dikkate alınmasında yarar vardır.

Bağrıkurt formasyonundan alınan iki numunede sırasıyla 48 ve 72 ppm Mo ölçülmüştür. Analizi yapılan örneklerde, yer kabuğu ortalamasına göre (1.8 ppm; Iskandar ve Birkam, 2001; Kabata-Pendias ve Pendias, 2001; Komatina, 2004; Selinus ve diğ., 2004; Essington, 2005; Mirsal, 2008; Köksoy, 1991; Krauskopf, 1979; Çağatay ve diğ., 1993) Mo zenginleşmesi söz konusudur. Bağrıkurt formasyonunda ortalama Cu içeriği 254.5 ppm, Pb içeriği 685.4 ppm, Zn içeriği 1426 ppm'e kadar zenginleşmiştir. Genellikle düşük sıcaklıklı hidrotermal çözeltilerle zenginleşen Hg, Sb ve As ile birlikte Se hemen hemen bütün numunelerde yer kabuğu ortalama değerlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Bozdağ formasyonu içinden alınan civalı karbonatlı kayaç numunesi içinde 63 ppb Au ile birlikte üst deteksiyon limiti 100 ppm'i geçen Hg önemli görülmektedir. Arsenik ise 8.3 ppm yer kabuğu ortalamasına göre 23 kat zenginleşmiş olup birkaç numune dışında diğer numunelerde yüksektir.

Cevher numunelerinde yapılan basit korelasyon analizlerinde  $\text{SiO}_2$  bütün bileşenlerle negatif korelasyona sahiptir. Buna göre  $\text{SiO}_2$  kayaç oluşumundan sonra gerçekleşen süreçlerle değişime uğramıştır (Tablo 8). Cevher numunelerinde  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve Sc ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Bazı numunelerde işletme değerlerine ulan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ise Co, U, Y, Ce, Pb, Zn, Ni ve As ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.  $\text{MgO}$  ise sadece  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ile kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedir. Ana oksitlerden  $\text{CaO}$ ; kızdırma kaybı (LOI) ile göstermiş olduğu çok kuvvetli pozitif korelasyona ek olarak Sb, Ag, Au, Hg, Tl ve Se ile kuvvetli,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve Ba ile zayıf pozitif korelasyona sahiptir.  $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Zr,  $\text{MnO}$ -Ba ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Sc arasında da kuvvetli pozitif korelasyon vardır.

Cevher numunelerinde Ba;  $\text{MnO}$  ile sahip olduğu kuvvetli pozitif, Sr; La ve Cd ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Co; Zn ve Ni ile çok kuvvetli, U ile kuvvetli korelasyon göstermektedir (Tablo 8).

U; Nadir Toprak Elementleri (NTE), Pb ve Zn ile kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedir. NTE'den Sc yukarıda belirtilen korelasyonlar dışında Mo ve Pb ile zayıf pozitif, Y; La, Ce ve Cd ile çok kuvvetli Cu ile kuvvetli pozitif, La; Ce ve Cd ile çok kuvvetli, Cu ve As ile kuvvetli pozitif ve Ce ise Cu ve Cd ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Cevher numunelerinde Mo; Zn ve Ni ile, Cu; As ve Cd ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.



Cevherleşme ile zenginleşen elementlerden Pb; As ile zayıf pozitif korelasyona sahipken, Zn; Ni ile çok kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedir.

Düşük sıcaklıklarda zenginleşen bileşenlerden As; Cd ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Benzer olarak Sb;

Ag, Au, Hg, Tl ve Se ile Ag; Au, Hg, Tl ve Se ile, Au; Hg, Tl ve Se ile, Hg; Tl ve Se ile ve Tl ise Se ile çok kuvvetli ve kuvvetli pozitif korelasyonlar göstermektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Cevher Numunelerine Ait Korelasyon Katsayıları (n=19)

|                                | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | LOI   | Ba    | Co    | Sr    | U     | V     | Zr    | Sc    | Y     | La    | Ce    | Mo    | Cu    | Pb    | Zn    | Ni    | As    | Cd    | Sb    | Ag    | Au    | Hg    | Tl    | Se    |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 1.00             | -0.36                          | -0.61                          | -0.08 | -0.60 | -0.19             | -0.03            | -0.18            | -0.23                         | -0.24 | -0.35                          | -0.79 | -0.43 | -0.30 | -0.49 | -0.65 | 0.02  | -0.33 | -0.35 | -0.47 | -0.48 | -0.50 | -0.31 | -0.47 | -0.45 | -0.44 | -0.38 | -0.44 | -0.39 | -0.39 | -0.42 | -0.44 | -0.39 | -0.37 | -0.45 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  | 1.00                           | 0.19                           | 0.40  | -0.09 | 0.78              | 0.44             | 0.65             | 0.31                          | -0.14 | 0.74                           | -0.04 | 0.23  | 0.06  | -0.13 | 0.23  | 0.07  | 0.26  | 0.77  | -0.11 | -0.01 | 0.11  | 0.30  | 0.09  | 0.30  | 0.03  | 0.02  | -0.20 | -0.04 | -0.21 | -0.05 | -0.24 | -0.17 | -0.20 | -0.25 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |                                | 1.00                           | -0.11 | -0.20 | 0.08              | -0.07            | 0.16             | 0.40                          | -0.03 | 0.14                           | 0.14  | -0.06 | 0.63  | 0.37  | 0.81  | 0.18  | 0.52  | 0.27  | 0.65  | 0.58  | 0.62  | 0.56  | 0.58  | 0.69  | 0.81  | 0.66  | 0.70  | 0.49  | -0.16 | -0.13 | 0.02  | -0.16 | -0.19 | -0.08 |
| MgO                            |                  |                                |                                | 1.00  | 0.02  | 0.47              | 0.11             | 0.37             | 0.01                          | -0.09 | 0.75                           | -0.14 | 0.05  | -0.10 | 0.06  | 0.06  | 0.14  | 0.26  | 0.14  | -0.09 | 0.15  | 0.30  | -0.16 | -0.16 | -0.18 | -0.10 | -0.12 | -0.23 | -0.14 | -0.09 | -0.11 | -0.16 | -0.10 | -0.08 | -0.11 |
| CaO                            |                  |                                |                                |       | 1.00  | -0.14             | -0.10            | -0.22            | -0.24                         | 0.39  | 0.03                           | 0.93  | 0.52  | -0.19 | 0.35  | 0.03  | -0.22 | -0.20 | -0.05 | 0.06  | 0.09  | 0.03  | -0.19 | 0.07  | -0.15 | -0.17 | -0.11 | 0.02  | 0.09  | 0.73  | 0.69  | 0.65  | 0.72  | 0.73  | 0.75  |
| Na <sub>2</sub> O              |                  |                                |                                |       |       | 1.00              | 0.16             | 0.49             | 0.33                          | -0.20 | 0.47                           | -0.14 | -0.05 | -0.17 | -0.09 | -0.04 | 0.02  | 0.27  | 0.44  | -0.16 | -0.07 | 0.00  | 0.00  | -0.09 | 0.09  | -0.13 | -0.16 | -0.23 | -0.07 | -0.15 | -0.05 | -0.22 | -0.13 | -0.14 | -0.18 |
| K <sub>2</sub> O               |                  |                                |                                |       |       |                   | 1.00             | 0.84             | 0.54                          | -0.18 | 0.41                           | -0.20 | 0.00  | -0.05 | -0.18 | 0.10  | 0.09  | 0.15  | 0.01  | -0.06 | 0.03  | 0.12  | 0.00  | 0.00  | -0.10 | -0.01 | -0.01 | -0.15 | 0.09  | 0.11  | -0.09 | -0.17 | -0.12 | 0.11  | -0.13 |
| TiO <sub>2</sub>               |                  |                                |                                |       |       |                   |                  | 1.00             | 0.72                          | -0.26 | 0.55                           | -0.24 | -0.04 | 0.02  | -0.21 | 0.16  | 0.05  | 0.43  | 0.13  | -0.07 | 0.05  | 0.19  | 0.03  | -0.08 | 0.08  | 0.12  | 0.04  | -0.10 | -0.16 | -0.22 | -0.19 | -0.26 | -0.22 | -0.22 | -0.26 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  | 1.00                          | -0.18 | 0.16                           | -0.12 | -0.09 | 0.07  | -0.18 | 0.14  | -0.04 | 0.73  | -0.07 | -0.05 | 0.02  | 0.14  | 0.05  | -0.12 | 0.18  | 0.22  | 0.09  | 0.02  | -0.15 | -0.17 | -0.13 | -0.28 | -0.16 | -0.17 | -0.20 |
| MnO                            |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               | 1.00  | -0.07                          | 0.39  | 0.62  | -0.18 | 0.18  | -0.07 | -0.20 | -0.12 | -0.09 | 0.23  | 0.24  | 0.15  | -0.19 | 0.31  | -0.03 | -0.08 | -0.05 | 0.09  | 0.23  | -0.14 | -0.18 | 0.09  | -0.15 | -0.14 | -0.07 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       | 1.00                           | -0.01 | 0.24  | 0.01  | 0.18  | 0.35  | 0.24  | 0.38  | 0.61  | 0.09  | 0.31  | 0.48  | 0.14  | 0.17  | 0.15  | -0.01 | -0.02 | -0.13 | 0.12  | -0.14 | -0.04 | -0.15 | -0.12 | -0.13 | -0.13 |
| LOI                            |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                | 1.00  | 0.52  | 0.01  | 0.43  | 0.24  | -0.20 | -0.04 | 0.10  | -0.22 | 0.20  | 0.14  | 0.03  | 0.24  | 0.15  | 0.07  | 0.09  | 0.24  | 0.22  | 0.69  | 0.68  | 0.66  | 0.69  | 0.68  | 0.73  |
| Ba                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       | 1.00  | 0.04  | -0.08 | 0.09  | -0.09 | -0.04 | 0.26  | -0.05 | 0.01  | 0.02  | 0.06  | 0.21  | -0.04 | -0.03 | 0.03  | -0.17 | -0.05 | -0.13 | -0.11 | -0.18 | -0.13 | -0.13 | -0.13 |
| Co                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       | 1.00  | -0.02 | 0.72  | 0.25  | 0.10  | 0.18  | 0.25  | 0.13  | 0.18  | 0.84  | 0.27  | 0.28  | 0.92  | 0.93  | 0.29  | 0.06  | -0.12 | -0.13 | -0.14 | -0.12 | -0.14 | -0.12 |
| Sr                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       | 1.00  | 0.44  | 0.24  | 0.15  | 0.01  | 0.83  | 0.86  | 0.77  | -0.05 | 0.63  | 0.09  | 0.11  | 0.14  | 0.53  | 0.53  | 0.29  | 0.27  | 0.59  | 0.28  | 0.28  | 0.47  |
| U                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       | 1.00  | 0.21  | 0.29  | 0.32  | 0.67  | 0.63  | 0.68  | 0.71  | 0.67  | 0.43  | 0.83  | 0.80  | 0.58  | 0.53  | -0.01 | 0.01  | 0.11  | -0.02 | -0.03 | 0.09  |
| V                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.08 | 0.12  | 0.26  | 0.23  | 0.23  | 0.12  | 0.41  | 0.10  | 0.14  | 0.12  | 0.10  | 0.22  | -0.20 | -0.16 | -0.18 | -0.18 | -0.21 | -0.17 |
| Zr                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.14  | 0.17  | 0.32  | 0.47  | 0.09  | -0.04 | 0.27  | 0.22  | 0.11  | 0.11  | 0.08  | -0.18 | -0.13 | -0.21 | -0.17 | -0.18 | -0.16 |
| Sc                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.04 | 0.00  | 0.08  | 0.50  | 0.23  | 0.52  | 0.06  | 0.08  | -0.09 | 0.10  | -0.10 | 0.11  | -0.09 | -0.04 | -0.08 | -0.12 |
| Y                              |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.85  | 0.87  | 0.15  | 0.85  | 0.30  | 0.46  | 0.41  | 0.77  | 0.53  | -0.06 | -0.11 | 0.32  | -0.09 | -0.10 | 0.12  |
| La                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.97  | 0.03  | 0.76  | 0.22  | 0.34  | 0.29  | 0.66  | 0.63  | -0.09 | -0.13 | 0.26  | -0.12 | -0.12 | 0.09  |
| Ce                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.08  | 0.68  | 0.27  | 0.38  | 0.30  | 0.59  | 0.78  | -0.14 | -0.16 | 0.14  | -0.16 | -0.16 | 0.02  |
| Mo                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.29  | 0.29  | 0.76  | 0.85  | 0.13  | 0.11  | -0.09 | 0.00  | -0.09 | -0.08 | -0.10 | -0.09 |
| Cu                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.38  | 0.40  | 0.38  | 0.64  | 0.84  | -0.18 | -0.16 | 0.15  | -0.19 | -0.21 | -0.02 |
| Pb                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.39  | 0.16  | 0.59  | 0.20  | -0.02 | 0.07  | 0.08  | 0.00  | -0.04 | -0.03 |
| Zn                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.94  | 0.53  | 0.22  | -0.12 | -0.15 | -0.03 | -0.14 | -0.14 | -0.08 |
| Ni                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.36  | 0.25  | -0.09 | -0.10 | 0.00  | -0.10 | -0.10 | -0.03 |
| As                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.61  | 0.08  | 0.01  | 0.33  | 0.05  | 0.03  | 0.18  |
| Cd                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.03 | -0.03 | 0.37  | -0.05 | -0.06 | 0.16  |
| Sb                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.87  | 0.84  | 1.00  | 1.00  | 0.98  |
| Ag                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.80  | 0.98  | 0.98  | 0.94  |
| Au                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.83  | 0.83  | 0.90  |
| Hg                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.97  | 0.97  |
| Tl                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.97  |
| Se                             |                  |                                |                                |       |       |                   |                  |                  |                               |       |                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  |

Küme analizlerinden elde edilen verilere göre hazırlanan dendrogramda ilk bakışta "Ana bileşenler", "Hg-Sb-CaO (düşük sıcaklık)" ve "Fe-Pb-Zn-Cu (yüksek sıcaklık)" grubu olarak adlanan üç grup ayırt edilebilmektedir (Şekil 10).

"Ana bileşenler grubu" birbiri ile yakın ilişkili Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O ve MgO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çiftlerine eklenen (K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>)-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> grubu ve bunlara uzaktan eklenen SiO<sub>2</sub> ile temsil edilmektedir (Şekil 10). Cevher numunelerinde kayaçların bileşiminin % 75'inden fazlasını oluşturan ana oksitler bu grupta yer almakta olup kayaçların ilksel oluşumu ile gerçekleşmiştir.

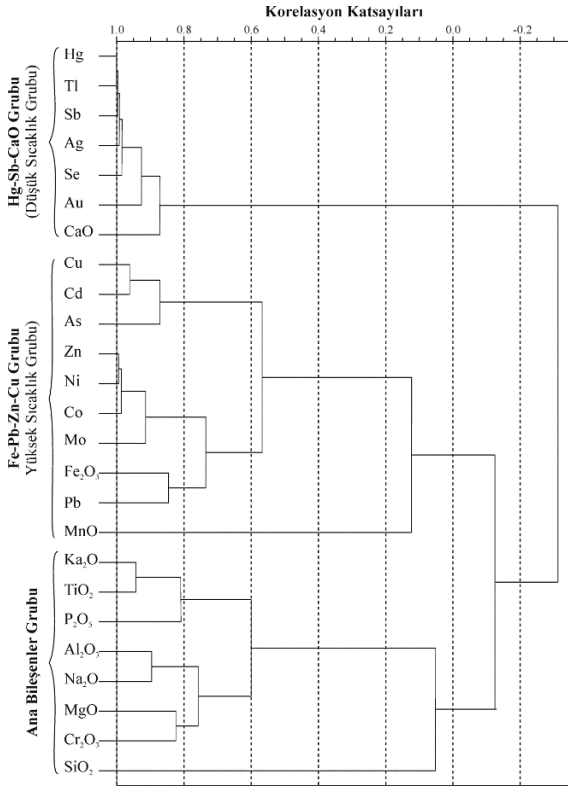
Dendrogramda ikinci grup; ((Zn-Ni)-Co)-Mo grubuna eklenen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Pb çifti, bu gruba eklenen (Cu-Cd)-As ve gruplara uzaktan eklenen MnO ile temsil edilmektedir. Çoğunluğu yer kabuğu ortalama değerlerinden yüksek olan ve genellikle hipojen kökenli olan bu bileşenler Fe-Pb-Zn-Cu grubu (yüksek sıcaklık grubu) olarak adlanmıştır.

Küme analizinde üçüncü grup ise birbirleriyle çok kuvvetli ve kuvvetli pozitif korelasyonlara sahip olan Hg-

Tl-Sb-Ag-Se-Au ve bunlara eklenen CaO ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Çoğunluğu düşük sıcaklıklı epitermal süreçlerle zenginleşebilen bu grup Hg-Sb-CaO (düşük sıcaklık) grubu olarak adlanmıştır.

İncelenen numunelere uygulanan faktör analizinde 30'un üzerinde bileşenin 19 numune için birlikte değerlendirilmesi anlamlılığı düşürmektedir. Dolayısıyla hem yankayaçlarla uyumlu olması hem de faktör sayısının azaltılması amacıyla bu bileşenlerden 25'i değerlendirmeye alınmıştır. 19 adet cevher numunesinde analizi yapılan 25 bileşene göre başlangıç eigen değerleri 1'in üstünde olan ilk 7 faktör toplam değişimin % 90.8'ini karşılamaktadır (Tablo 9). Geri kalan 18 faktörün değişim içindeki payı ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

Cevher numunelerinde ilk üç faktör toplam değişimin % 66'sını etkilemekte olup küme analizi dendrogramında belirlenen üç ana gruba örtüşmektedir. Diğer faktörler ise özellikle metakirintılı, metakarbonatlı ve metamagmatik kayaçları oluşturan önemli bileşenlerin etkileri ile ortaya çıkmıştır.



Şekil 10. Cevher Numunelerinde Gerçekleştirilen Basit Korelasyon Katsayıları Kullanılarak Hazırlanan Küme (Cluster) Analizi Dendrogramı

Tablo 9. Cevher Numunelerinde Gerçekleştirilen Faktör Analizinde İlk 7 Faktörün Değişime Etkisi ve Toplam Değişim İçindeki Payları

| Faktör | Toplam Değişim | % Değişim | Kümülatif Değişim (%) |
|--------|----------------|-----------|-----------------------|
| 1      | 6.95           | 27.79     | 27.79                 |
| 2      | 5.59           | 22.35     | 50.14                 |
| 3      | 3.87           | 15.47     | 65.61                 |
| 4      | 2.41           | 9.65      | 75.26                 |
| 5      | 1.59           | 6.37      | 81.63                 |
| 6      | 1.29           | 5.14      | 86.77                 |
| 7      | 1.00           | 4.02      | 90.79                 |

Cevher numunelerinde değişime etkisi % 27.8 olan birinci faktör Sb, Ag, Au, Hg, Tl ve Se ile CaO'in önemli pozitif faktör yükleri ve ana bileşenlerle sülfidli elementlerin negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Bu faktörde önemli pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki Hg-Sb-CaO (düşük sıcaklık) grubu ile tam olarak örtüşmektedir. Bu faktörde bulunan elementlerden Hg, Sb ve As'in genellikle düşük sıcaklıklı epitermal çözeltilere bağlı olarak zenginleştikleri bilinmektedir. Ayrıca Ag ve Au'nun da bu şartlarda zenginleşmesi olağandır. Bu faktörde CaO'in de pozitif faktör yüküne sahip olması Bozdağ formasyonu içindeki

civa zenginleşmeleri ile ilişkili olduklarını göstermektedir. Dolayısıyla bu faktör epitermal mineralizasyon faktörü olarak tanımlanmalıdır. Yörede gerçekleşen hidrotermal aktivitelerin son evrelerinde gerçekleşmiş olup civa oluşumları ile ilişkili oldukları düşünülmektedir.

Cevher numunelerinde değişim etkisi % 22.4 olan ikinci faktör Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As ve Cd'un önemli pozitif faktör yüklerine karşılık SiO<sub>2</sub>'in önemli negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler MnO dışında küme analizinde belirtilen Fe-Pb-Zn-Cu (yüksek sıcaklık) grubu ile tam olarak örtüşmektedir. Negatif faktör yüküne sahip olan SiO<sub>2</sub> ise dendrogramda "Ana bileşenler grubu"na oldukça düşük bir katsayı ile eklenmektedir. Bu faktör bölge kayaçlarında SiO<sub>2</sub>'in nisbi olarak zenginleşmesine neden olan düşük sıcaklıklı magmatik - hidrotermal aktiviteleri temsil etmektedir. Bu faktörde pozitif faktör yüküne sahip olan Mo, Cu gibi elementler birinci faktördeki elementlerden daha yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır. Dolayısıyla bu faktör hipotermal veya mezotermal evre koşullarını yansıtmaktadır.

Cevher numunelerinde değişim içindeki payı 15.4 olan üçüncü faktör Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün önemli pozitif faktör yüklerine karşılık SiO<sub>2</sub> ve MnO'in negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler SiO<sub>2</sub> dışındaki ana bileşenler grubu ile tam olarak örtüşmektedir. Bu faktör farklı litolojik özelliklere sahip olan cevher numunelerinin içinde buldukları yan kayaçların oluşumunu göstermektedir. MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO ve SiO<sub>2</sub>'in ana bileşenler grubu içinde yer almamasının temel nedeni litolojik farklılıklar ve oluşumdan sonra uğradıkları hidrotermal alterasyonun etkisini göstermektedir.

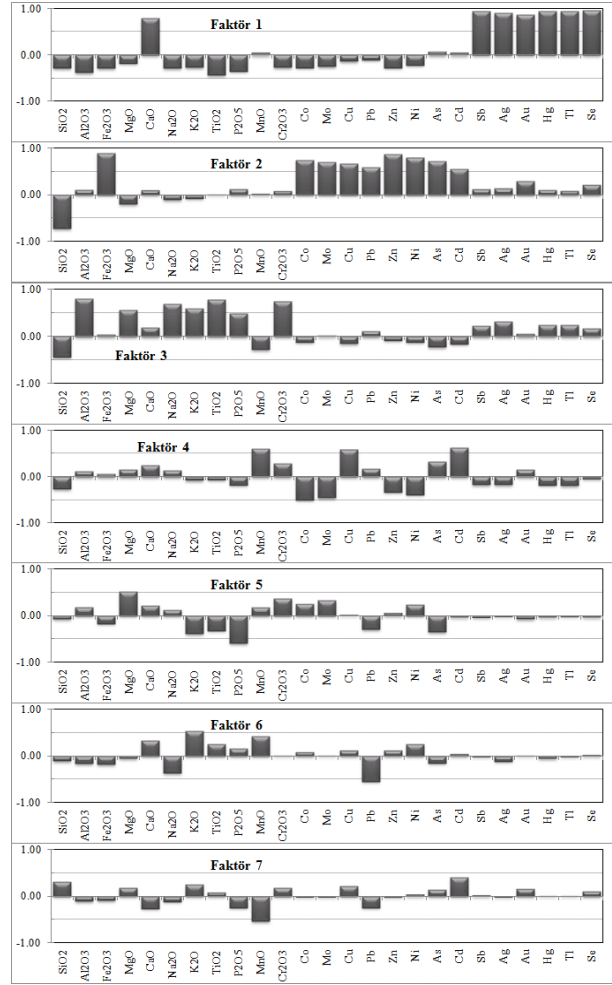
Değişimin % 9.7'sini karşılayan dördüncü faktör de MnO, Cu ve Cd'un önemli pozitif, Co ve Mo'in negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Bu bileşenler küme analizi dendrogramında yüksek sıcaklık mineralizasyonu içinde yer almakta olup özellikle mafik minerallerin bünyesinde yoğunlaşmaktadırlar. Yüzey koşullarında oldukça hareketli olan Cu, Cd ve Mn kayaçlar içinde yanal ve düşey yönde uzun mesafelerde taşınırken Co ve Mo yerlerinde kalarak zenginleşmişlerdir.

Cevher numunelerinde değişimin % 6.4'ünü karşılayan beşinci faktör MgO'in pozitif ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Bu faktörde

ayrıca Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni ve Co'ta pozitif faktör yüklerine sahiptir. İnceleme alanının güneyindeki ofiyolitik kayaların içinde önemli magnezit zenginleşmeleri bulunmaktadır. Bu faktör bünyesinde Mg bulunduran silikatlı minerallerin hidrotermal çözeltilerle ayrıştırılması ve ilerleyen süreçte MgO'in kireçtaşlarında dolomitleşmeye katkı sağlamasını kontrol etmektedir. Ni, Co ve Cr'un da pozitif faktör yüklerine sahip olmaları bu teoriyi desteklemektedir.

Değişimin % 5.1'ine karşılık gelen 6. Faktör K<sub>2</sub>O'in pozitif Pb'un negatif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Şekil 11). İlerleyen ayrışmalarla mafik minerallerin ve mikaların ayrışmasını takip eden süreçte K-feldispatların ayrışması ve özellikle mikaların bünyesinde olağan olan Pb'un kısmen zenginleşmesini sağlamıştır.

Son faktör olan 7. Faktör MnO'in önemli negatif faktör yükü ile temsil edilmektedir (Şekil 11). Küme analizi dendrogramında da yüksek sıcaklık grubuna uzaktan eklenen MgO'in negatif faktör yükü asidik yüzey koşullarında ayrışmaya uğrayan silikatlı minerallerden itibaren gelişen ikincil karbonatlarla dolomit ve dolomitik kireçtaşlarının oluşumunu göstermektedir.



Şekil 11. Cevher Numunelerinde Gerçekleştirilen Faktör Analizinde Ortaya Çıkan Faktörlere Göre Faktör Yük Dağılımı Grafikleri

### 3.3.3. Dere Sedimanı Jeokimyası

Dağdere yol ayrımındaki kuru dere den alınan 14 no'lu dere sedimanı numunesinde Ba, Co, Sr, NTE, Pb, Zn, Ni, As ve Tl dikkati çekecek derecede yüksektir (Tablo 10). Bu bölgede yapılacak genel prospeksiyonlarda dere sedimanlarının da ayrıntılı olarak örneklenmesi ve uygun boyutlara ayrılarak analizlerinin yapılmasında yarar görülmektedir. N20 numaralı dere sedimanı numunesi ise Kurşunlu – Bahçesaray arasından alınmış olup V ve Cu bakımından dikkati çekmektedir. Saraybahçe Tepe civarında Cu bakımından detaylı araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Tablo 10. Dere Sedimanlarından Alınan Numunelerin Kimyasal Analiz Sonuçları (A.O.: Aritmetik Ortalama)

| Bileşen                        | Birim | N14            | N20           | A.O    |
|--------------------------------|-------|----------------|---------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | %     | 76.14          | 50.47         | 63.31  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 11.58          | 12.17         | 11.88  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 3.86           | 4.90          | 4.38   |
| MgO                            | %     | 0.69           | 2.13          | 1.41   |
| CaO                            | %     | 0.30           | 12.73         | 6.52   |
| Na <sub>2</sub> O              | %     | 1.13           | 1.15          | 1.14   |
| K <sub>2</sub> O               | %     | 3.09           | 2.25          | 2.67   |
| TiO <sub>2</sub>               | %     | 0.34           | <b>0.60</b>   | 0.47   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %     | 0.06           | 0.10          | 0.08   |
| MnO                            | %     | 0.02           | 0.07          | 0.05   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %     | 0.01           | 0.01          | 0.01   |
| LOI                            | %     | 2.70           | 13.20         | 7.95   |
| Ba                             | ppm   | <b>1622.00</b> | 97.00         | 859.50 |
| Co                             | ppm   | <b>17.30</b>   | 17.10         | 17.20  |
| Sr                             | ppm   | <b>476.40</b>  | 86.80         | 281.60 |
| U                              | ppm   | 2.30           | 0.50          | 1.40   |
| V                              | ppm   | 29.00          | <b>209.00</b> | 119.00 |
| Zr                             | ppm   | 75.00          | 26.40         | 50.70  |
| Sc                             | ppm   | 8.00           | 14.00         | 11.00  |
| Y                              | ppm   | <b>49.00</b>   | 10.30         | 29.65  |
| La                             | ppm   | <b>35.20</b>   | 9.60          | 22.40  |
| Ce                             | ppm   | <b>45.80</b>   | 19.20         | 32.50  |
| Mo                             | ppm   | 5.30           | 0.20          | 2.75   |
| Cu                             | ppm   | 30.90          | <b>136.80</b> | 83.85  |
| Pb                             | ppm   | <b>22.20</b>   | 1.30          | 11.75  |
| Zn                             | ppm   | 45.00          | 53.00         | 49.00  |
| Ni                             | ppm   | <b>210.80</b>  | 17.95         | 114.40 |
| As                             | ppm   | <b>28.40</b>   | 1.70          | 15.05  |
| Cd                             | ppm   | 4.50           | 0.10          | 2.30   |
| Sb                             | ppm   | 1.40           | 4.80          | 3.10   |
| Ag                             | ppm   | 1.10           | 0.10          | 0.60   |
| Au                             | ppb   | 0.50           | 1.50          | 1.00   |
| Hg                             | ppm   | 0.25           | 0.03          | 0.10   |
| Tl                             | ppm   | <b>4.00</b>    | 0.10          | 2.05   |
| Se                             | ppm   | 1.10           | 0.50          | 0.80   |
| <b>Toplam</b>                  | %     | 99.68          | 99.88         | 99.78  |

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Selçuklu ve Sarayönü (Konya) ilçeleri arasındaki Kurşunlu ve Dağdere mahallelerini içine alan bölgede gerçekleştirilen bu çalışma, kuzeyde Dağdere Mahallesi ile güneyde Sızma Mahallesi'nin kuzeyi arasında yaklaşık 132 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgenin iki büyük dağ oluşumundan etkilenmesi nedeniyle oluşan kırık ve çatlaklarda hem Paleozoyik hem de Senozoyik yaşlı magmatik aktivitelere bağlı hidrotermal çözeltiler etkin olmuştur. Fe, Hg, Pb ve Zn daha çok damar tipi cevherleşmeler şeklinde zenginleşmiştir. Bağrıkurt formasyonunda çok sayıda damarcık şeklinde spekülartik hematit oluşumları gelişmiştir. Genellikle Bağrıkurt formasyonunda olmak üzere yer yer Bozdağ formasyonu ve Karadağ metamagmatikleri içinde hematit damarları ve demir oksit zenginleşmeleri oldukça yoğundur. Bahçesaray'ın batısında metamorfik

kayaçlar yer yer tümüyle demiroksite dönüşmüştür. Demiroksit oluşumları ile birlikte ve yine yer yer ayrı damar ve damarcıklar şeklinde bakır, çinko ve kurşun zenginleşmeleri de bulunmaktadır. Bahçesaray'ın batısındaki Saraybahçe Tepe'de pirit, kalkopirit ve kuvars dolgulu damarlara rastlanmıştır.

İnceleme alanından derlenen numunelerin jeokimyasal incelemeleri sonucunda cevherli numuneler içinde başlıca iki cevherleşme grubu tespit edilmiş olup bunlar yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık cevherleşmeleri olarak tanımlanmıştır. Yüksek sıcaklık cevherleşmelerinde yer alan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Pb, Zn ve Mo, bazı örneklerde oldukça yüksek olup Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 56.62'ye, Cu 255 ppm'e, Pb 685 ppm'e, Zn 1426 ppm'e ve Mo 72 ppm'e ulaşmaktadır. Bu cevherleşmenin Üst Devoniyen-Permiyen döneminde gerçekleşen magmatizma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Jeokimyasal incelemeler kapsamında yapılan küme analizinde tespit edilen ikinci önemli cevherleşme ise CaO-Hg-Sb grubu veya diğer adıyla düşük sıcaklıklı cevherleşme grubu ise Hg başta olmak üzere, Sb, As, Tl, Ag ve Au ile temsil edilmektedir. Litolojik farklılıklardan dolayı bazı örneklerde ortalama değerleri düşük olan Hg 100 ppm'e, Sb 182 ppm'e, As 951 ppm'e, Tl 20 ppm'e, Ag 3.3 ppm'e ve Au 63 ppb'ye kadar ulaşmaktadır.

Bozdağ formasyonu ile Bağrıkurt formasyonunun sınırlarında gözlenmekte olan civa oluşumları, Çalıcınbaş Tepe güneyinde D-B yönünde uzanan kıvrımın kuzey kanadında yer almakta olup kireçtaşının kırık sistemlerinin içine veya kireçtaşı-fillit sınırlarına yerleşmiştir. İnce damarcıklar ve saçılımlar halinde gözlenen cevherleşmeler daha çok benekler ve 1 cm'den kalın ağsal yapılı damarcıklardan oluşmaktadır. Hidrotermal kuvars ve kalsit ise cevherli zonlarda yoğun olarak görülmektedir.

Sızma-Ladik civa yataklarında makro olarak zinover, antimonit, pirit, kalsit, kuvars, florit, realgar, orpiment ve arsenopirit, damar, saçılımlı ve yığılımlar şeklinde gelişmiş olup epijenetik karakter göstermektedir. İnceleme alanındaki cevherli zonların çevresindeki karbonatlı kayaçlar, fillit ve şistler çoğunlukla silisleşmiş ve killeşmişlerdir. Aşağı doğru hareket ederek ısınan veya doğrudan magmatik kaynaktan gelen çözeltiler gerek magmatik kaynaktan gerekse yan kayaçlarından çözmüş olduğu metalleri genellikle rahat hareket ettikleri çatlak, fay veya sınırlar boyunca çökeltilmektedirler.

İnceleme alanında hidrotermal eriyikler halinde taşınan cevherler, metakarbonatlar ve metakırıntılıların sınırlarında görülen düzensizlikler boyunca ve kireçtaşı-şist ardalanmalı bölgelerde fay zonlarının ezik kısımları boyunca çökelmiş ve zenginleşmişlerdir. Cevherleşmenin düzensiz ve breşik zonlarda bulunmaları fay kontrollü olduklarını göstermektedir. Kayaç geçirgenliği cevher eriyiklerinin dolaşabilmesi ve cevherin yerleşmesi bakımından önemlidir. Birçok cevherleşme, geçirimsiz formasyonlar altında bulunan yüksek poroziteli kayaçlar içinde gelişmiştir. Bölgedeki alterasyon zonları tektonizma ile uyumlu olup 100 m genişliğe kadar değişen yaklaşık D-B yönlü zonlar şeklinde görülmektedir.

Metamorfizma içerisinde yer alan civa oluşumlarında metamorfizma izlerinin bulunmayışı, civa oluşumlarının metamorfik kayaçlardan ve onları kesen Karadağ metamagmatiklerinden daha genç olduklarını göstermektedir. İnceleme alanının çevresinde epitermal bir cevherleşmeye kaynaklık edebilecek genç magmatik aktivitenin, Konya'nın batısında geniş alan kaplayan, ignimbirit, aglomera, tuf, dasit, andezit, trakiandezit ile temsil edilen Üst Miyosen - Alt Pliyosen yaşlı Erenlerdağ-Alacadağ volkaniti olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanındaki Çalıcınbaş Tepe ve civarındaki karbonatlı kayaçların içinde civa oluşumları beklenebilir. Dolayısıyla bu bölgede, epitermal cevherleşme ve bunlarla ilişkili Au gibi kıymetli metal yatakları aranmalıdır.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile MnO, Zr, Pb, Zn, Hg ve Ag arasındaki pozitif korelasyon, bu bileşenlerin bazik metamagmatiklerden sonra meydana gelen hidrotermal aktivitenin bu kayaçlarla ilişkisi sonucu zenginleştiklerini göstermektedir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %50 den fazla olan cevher numunelerinde Cu, Pb, Zn, Mo ve As değerlerinin de yüksek olması aramalarda birlikte değerlendirmeyi gerektirir.

Çalışmada dere sedimanlarının bazı elementlerce yüksek içerikli olması, aramalarda dikkat edilecek önemli bir durumdur.

İnceleme alanındaki cevherleşmelerin daha çok Sızma Grubu'na ait olan Bozdağ ve Bağrıkkurt formasyonları ile Karadağ metamagmatiklerinde yer alması nedeniyle yüzeyde yapılacak örneklemelerin bu birimlerin yaygın olarak görüldüğü alanlarda yoğunlaştırılması uygun olacaktır.

Çalıcınbaş Tepe, Saraybahçe Tepe ve Dağdere yol ayrımında sistematik sondaj ve yarmalarla arama yapılmalıdır.

### Teşekkür

Bu çalışma yazarlardan Zahide Seher ATEŞ'in yüksek lisans tez çalışmasından hazırlanmıştır. Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (BAP Proje: 11201044) desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Fetullah ARIK, arazi çalışması, istatistiki analizler, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçlarının hazırlanması; Zahide Seher ATEŞ, arazi çalışması, laboratuvar çalışmaları, makalenin oluşturulması; Yeşim ÖZEN, arazi çalışması; laboratuvar çalışmaları ve değerlendirme, istatistiki analizler, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçlarının hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Akçay, M. (1998). Ladik-Sızma (Konya) civa yatakları çevresinde element dağılım profilleri ve altın-gümüş ve baz metal potansiyeli; Jeokimyasal ve istatistiksel bir yaklaşım; *Türkiye Jeol. Bült.*, 41, 1, 37-47. Erişim adresi: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/97e382cfd25b07a\\_ek.pdf?dergi=T%D0CRK%D0DYE%20JEOLOJ%D0%20B%D0DCLTEN%DD](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/97e382cfd25b07a_ek.pdf?dergi=T%D0CRK%D0DYE%20JEOLOJ%D0%20B%D0DCLTEN%DD)
- Arık, F. ve Öztürk, A. (2011). Konya'nın yeraltı kaynakları ve potansiyeli, I. Konya Kent Sempozyumu, TMMOB Konya Kent Konseyi, Konya, Bildiriler, 161-174. Erişim adresi: [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/4b3deab20a432ca\\_ek.pdf?tipi=68&turu=X&sube=14](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/4b3deab20a432ca_ek.pdf?tipi=68&turu=X&sube=14)
- Arık, F. (2016). Geochemical Features of the Major Rock Units in the Western Side of Konya (Turkey), 2nd International Conference on Science, Ecology and Technology (ICONSETE'2016 - Barcelona), Spain, 68.
- Ateş, Z.S. (2014). Kurşunlu- Dağdere (Selçuklu, Konya) Arasındaki Bölgenin Maden Yatakları Potansiyelinin Araştırılması, Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138 s.

- Banger, N., (1987). Karadağ (Sızma-Konya) çevresinin jeolojik - petrografik incelemesi; Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 60 s.
- Bayıç, A. (1968). Sızma-Konya metaporfiriterleri hakkında, M.T.A dergisi, 70, 214-228. Erişim adresi: [https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20151013162817\\_824\\_227ae988.pdf](https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20151013162817_824_227ae988.pdf)
- Bekişoğlu, K.A. (1968). Türkiye civa yatakları ve bunların ekonomik önemi, M.T.A Raporu, 19-30.
- Çağatay, N., Erler, A., Güleç, N., Savaşçın, Y. ve Tokel, S. (1993). Jeokimya Temel Kavramlar ve İlkeler, İkinci Baskı, (Ed: N. Çağatay, A. Erler), Ankara, 291 s.
- Doğan, A. (1975). Sızma - Ladik (Konya) civa sahasının jeolojisi ve maden yatakları sorunlarının incelenmesi; İstanbul Üniv. Fen Fak. Yük. Müh. Dipl. Çalış. 39 s.
- Eren, Y. (1993). Konya Kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin Otokton ve Örtü Birimlerinin Stratigrafisi; Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 7-23. Erişim adresi: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/baa271bc35fe054\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/baa271bc35fe054_ek.pdf)
- Eren, Y. (1996). Ilgın - Sarayönü (Konya) güneyinde Bozdağlar masifinin yapısal özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 39/2 49-64. Erişim adresi: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/2bbd31f8e0e43a7\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/2bbd31f8e0e43a7_ek.pdf)
- Eren, Y. & Kurt, H. (2000). Stratigraphical, geochemical and geodynamical modelling of the northeast margin of Menderes-Taurus Block, Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. Derg., 15 (1), 25-41.
- Eren, Y., Kurt, H., Rosset, F. & Stampfli, G. (2004). Paleozoic Deformation and Magmatism in the Northern Area of the Anatolide Block (Konya), Witness of the Palaeotethys Active Margin, *Eclogae Geol. Helv.* 97, 293-306. <https://doi.org/10.1007/s00015-003-1131-8>
- Essington, M.E., (2005). Soil and water chemistry: an integrative approach, ISBN: 0-8493-1258-2, CRC Press, Boca Raton London New York Washington D.C., 534 pp.
- Gümüş, A., (1979). Metalik maden yatakları; Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 548 s.
- Hekimbaşı, E.B. (1997). Sızma - Kadınhanı dolaylı petrografi incelemesi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, 217 s.
- Holl, R. (1965). Türkiye civa ve antimon yatakları, Doktora tezi (yayınlanmamış).
- Horasan, B.Y. ve Temur, S. (2006). Sızma (Konya) Civa Yataklarıyla ilişkili epitermal çözeltilere bağlı yankayaç alterasyonu, TMMOB, JMO, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49 (3) 41-65. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28453/303126>
- Horasan, B.Y. (2005). Sızma (Konya) civa yataklarıyla ilişkili hidrotermal alterasyon, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen. Bil. Enst., 61 s.
- Iskandar, I.K. & Birkham, M.B., (2001). *Trace elements in soil: bioavailability, flux, and transfer*, ISBN 1-56670-507-X, Lewis Publishers, Boca Raton London New York Washington, D.C., 286 pp.
- Kaaden, V.D.G., (1966). significance and distribution of glaucophane rocks in Turkey. *M.T.A. Bulletin*, 67, 36-67.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants*, 3.th. edition, CRC press LLC, 413 p.
- Kaya, T.E. (2018). Tarihi Sızma-Lâdik (Konya) Hg Madeni ve Bölgedeki Atıkların Çevreye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , 85 s.
- Koçak, K. (2008). Mineralogical and Petrographical Characteristics of the Rock Fragments in Phyllites of Bağrıkkurt (Konya) Formation, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23, (4), 57-63. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/215863>
- Komatina, M.M. (2004). *Medical Geology - Effects of Geological Environments on Human Health, developments in earth Environmental Sciences*, Elsevier Academic Press, 488 pp. Erişim adresi: <https://www.elsevier.com/books/medical-geology/komatina/978-0-444-51615-2>
- Kovenko, V. (1939). Konya mıntikasındaki Sızma Köyü civa madeninde yapılan gezintiye dair kısa not; Maden Teknik ve Arama Rapor No: 919, 9 s.
- Köksoy, M. (1991). *Uygulamalı Jeokimya*, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, A 64, Ankara 368 s.
- Krauskopf, K.B. (1979). *Introduction to Geochemistry* (2. Baskı), McGraw-Hill, 617 s.

- Kurt, H. (1994). *Petrography and Geochemistry of Kadınhanı (Konya) area, Central Turkey*. PhD., Glasgow University (Unpublished), U.K., 191 pp.
- Kurt, H. (1996). Geochemical characteristics of the meta-igneous rocks near Kadınhanı (Konya), Turkey. *Geosound*, 28, 1-22.
- Kurt, H. & Eren, Y. (1998). Petrographical and geochemical characteristics of metacarbonates in the Bozdag Formation, northwest Konya. *Min. Mag.* 62 A, 834-835.
- Kuru, D. ve Yıldız, M. (1963). 373/200 sayılı Sızma-Konya civa madeni ruhsat sahası incelemeleri neticesi, Konya-İlgın-Sızma Maden Teknik ve Arama Rap. No: 3837, 49 s, (Yayınlanmamış).
- Maucher, A. (1964). Konya vilayeti Ladik ve Sızma çevrelerinde bulunan civa zuhurlarının gezilmesine ait rapor. M.T.A. Rapor No:3695 (Yayınlanmamış).
- Mirsal, I.A. (2008). *Soil Pollution, Origin, Monitoring and Remediation*, 2nd Edition, ISBN: 978-3-540-70775-2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 311 pp.
- Motorcu, A. (1988). Ladik - Sızma civa yataklarının incelenmesi; Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, 63 s.
- Murdock, T.G. (1958). Mercury deposits of the Konya region; U. S. Bur. Mines. Mineral Trade Notes, 47, 3, 47-57.
- Niehoff, W. (1961). 1/100.000 ölçekli Akşehir 90/2 paftası, Ilgın 91/1, 91/3 ve 91/4 paftası üzerinde 1961 yaz mevsiminde yapılmış revizyon çalışmaları hakkında rapor; Maden Teknik ve Arama Derleme Raporu, No: 3387, 34 s.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K., ve Işık, A., (1990). Konya - Kadınhanı - Ilgın dolayının temel jeolojisi; M.T.A. Rap., No: 9535.
- Pehlivan, A. N., (1976). Etibank Konya civa işletme Sızma-Ladik sahalarına ait rapor. Maden Teknik ve Arama Rap. No: 5757, 43 s.
- Petrasccheck, W.E., (1964). Konya vilayeti Ladik civa madeninin 1/25.000 ölçekli harita etüdü hakkında ara rapor; Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 3788, 111 s.
- Pilz, R. (1937). Konya -Sızma civa ve bakır madenleri hakkında rapor, Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 544, 12 s.
- Schumacher, F. (1937). Sızma madenindeki civa zuhurlarına ait rapor, Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 545, 73 s.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U., & Smedly, P. (2004). *Essentials of Medical Geology, Impacts of the Natural Environment on Public Health*, Elsevier Academic Press, 812 p.
- Sharpless, F.F. (1908). Anadolu Konya civa madenleri; Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 542, 41 s.
- Umut, M. (2009). 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Ilgın L-28 paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA, Ankara, Rapor No:121.
- Üstündağ, A. (1987). *Sızma - Kurşunlu - Meydan - Bağrıkurt köyleri arasında Karadağ çevresinin jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. 65 s.
- Wiesner, K. (1968). Konya civa yatakları ve bunlar üzerine etütler. MTA Dergisi sayı. 70, s. 178.213.
- Wiesner, K. ve Lehnert, T.K.L. (1964). Sızma - Ladik civa yatakları, Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 551, 60 s.
- Yıldız, M., & Bailey, E. H. (1978). Mercury Deposits in Turkey (80 p.). U.S. Geological Survey Bulletin 1456. Erişim adresi: <https://pubs.usgs.gov/bul/1456/report.pdf>

## ÜÇ FARKLI TERMİK SANTRALDEN ALINAN UÇUCU KÜLÜN İNCE TANELİ ZEMİNİN KOMPAKSİYON VE DAYANIM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI

Hakan BİLİCİ<sup>1\*</sup>, Murat TÜRKÖZ<sup>2</sup>, Hasan SAVAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4776-5513>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0241-113X>

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3138-5308>

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| Kunduzlar barajı,<br>Uçucu Kül,<br>Soma,<br>Tunçbilek,<br>Çatalağzı | <i>Bu çalışmada Soma, Çatalağzı ve Tunçbilek termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin, Kunduzlar toprak barajının çekirdek kısmının inşa edildiği ince taneli zeminin kompaksiyon ve dayanım özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Zemine %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında uçucu kül katkıları eklenerek optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında hazırlanan numuneler kesme kutusu ve serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda; her üç termik santralden alınan uçucu küllerin katkı oranları arttıkça, zeminin optimum su muhtevasının arttığı ve maksimum kuru yoğunluğunun ise azaldığı belirlenmiştir. Serbest basınç dayanımları karşılaştırıldığında, Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu küllerinin %10 katkı oranında, Soma uçucu külünün ise % 5 katkı oranında en yüksek dayanımlara ulaştığı belirlenmiştir. Kullanılan uçucu küller arasında ise en yüksek dayanım Soma uçucu külünün %5 katkısında oluşmuştur. Kayma dayanımları karşılaştırıldığında ise en yüksek dayanım Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu küllerinde %10, Soma uçucu külünde ise %5 katkı oranında meydana gelmiştir.</i> |

## PERFORMANCE OF FLY ASH PROVIDED FROM THREE DIFFERENT THERMAL PLANTS ON THE COMPACTION AND STRENGTH PROPERTIES OF FINE-GRAIN SOIL

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| Kunduzlar dam,<br>Fly Ash,<br>Soma,<br>Tunçbilek,<br>Çatalağzı | In this study, the effects of fly ash obtained from Soma, Çatalağzı and Tunçbilek thermal power plants on the compaction and strength properties of the fine-grained soil on which the core part of the Kunduzlar soil dam is built were investigated. Optimum water contents were determined by adding 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% fly ash additives to the ground. Samples prepared at optimum water contents were subjected to shear box and unconfined pressure tests. As a result of the study; it was determined that the optimum water content of the soil increased and the maximum dry density decreased as the contribution rates of the fly ash taken from all three thermal power plants increased. When the unconfined compressive strengths were compared, it was determined that Tunçbilek and Çatalağzı fly ash reached the highest strengths at 10% and Soma fly ash at 5%. Among the fly ash used, the highest strength was obtained in the 5% contribution of Soma fly ash. When the shear strengths are compared, the highest strength was observed in Tunçbilek and Çatalağzı fly ash with an admixture of 10% and in Soma fly ash with an additive rate of 5%. |

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 18.06.2022

Submission Date

: 18.06.2022

Kabul Tarihi

: 08.09.2022

Accepted Date

: 08.09.2022

\* Sorumlu yazar; e-posta : [hbilici@ogu.edu.tr](mailto:hbilici@ogu.edu.tr)



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## 1. Giriş

Dünyada artan popülasyon beraberinde enerji gereksinimini de arttırmıştır. Bu enerji gereksinimi çeşitli yöntemler ile karşılanmaktadır. Bu gereksinimini karşılamak amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de kömürün yakılmasıdır. Çağımızda kömür oldukça önemli bir yakıttır. Dünyada üretilen elektrik enerjisinin %30'u kömür kullanılan termik santrallerden karşılanmaktadır (Koç ve Kaya, 2015). Yakıt olarak kömür kullanılan termik santrallerde tercih edilen sistem çoğunlukla pulverize kömür yakma sistemidir (Türker, Erdoğan, Katnaş ve Yeğinobalı, 2009; Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Ülkemizde 380 milyon ton taş kömürü, 12.5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Termik santrallerde kullanılan linyit kömürün %20- % 50'si, taş kömürün ise %10 - % 15'i kül olarak üretilmektedir. Uçucu kül (UK), pulverize kömürün yakılmasıyla elde edilen baca gazları aracılığıyla taşınıp siklon ya da elektro filtrelerde bir araya getirilen bir malzemedir. Yüksek derecelerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan ergimiş madde gaz akışı ile soğuyarak küre biçimli kül tanelerine dönüşmektedir. Dönüşen taneler 0.5 - 150 mikron boyutundadır ve baca gazları aracılığıyla taşındıklarından uçucu kül olarak tanımlanırlar (Malhotra ve Ramezianpour, 1994). Uçucu küller genel olarak termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için yakılan kömürden elde edilmektedir. (Morrison, 1970). Olumsuz etkilerinden dolayı uçucu küllerin doğaya salınmaması için bacalardan çıkması önlenmektedir. Mekanik ve elektrostatik yollarla toplanan küller santral etrafında ya da elverişli mekânlarda depolanmaktadır. İlerleyen zamanlarda bir yığılma olacağından bu durum idare için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizde yakılan kömür miktarı yıllık 55 milyon tondur. Bunun sonucunda yan ürün olarak oluşan kül miktarı ise 15 milyon ton değerine ulaşabilmektedir (Kaplan ve Gültekin, 2010).

Uçucu küller genel olarak gri-kurşuni renklidir. Renginin koyuluğu ve açıklığı kömürün yanma biçimine bağlıdır. Kömürün öğütülme şekli uçucu külün inceliğini belirlemektedir. İnceliğe etki eden bir başka özellik ise bacadan küllerin kaçma oranıdır. Bacadan küllerin kaçmasını önleyip bacadan kaçan kısmı minimuma indirdiğimizde uçucu külün incelik seviyesi artmaktadır. Uçucu küllerin yoğunluğu, mineralojik yapısı ve inceliğine bağlı olarak 2.2 gr/cm<sup>3</sup> ile 2.7gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Uçucu küller, kimyasal olarak alüminyum oksit, silisyum oksit, demir oksit gibi bileşikler içermektedir (EİE, 1979; Kefelioglu, 1998).

Uçucu küllerin ortak özellikleri, bölgeden bölgeye ve hatta aynı bölgede bile değişkenlik gösterebilmesidir. Soma ve Tunçbilek termik santrallerinde linyit kömürü kullanılırken, Çatalağzı termik santralinde taş kömürü kullanılmaktadır. (Kefelioglu, 1998). Soma, Çatalağzı ve Tunçbilek uçucu küllerinin özgül yüzey değerleri (en az

2800 cm<sup>2</sup>/g), çimento standartlarında aranan şartları da sağlamaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Soma, Tunçbilek ve Çatalağzı termik santralinden çıkan uçucu küllerin farklı olmasının başlıca sebepleri; termik santralinde kullanılan kömürün farklılığı, kömürün pulvarizasyon (yakılmadan önceki kömürün öğütülme süresi) derecesi, kazan türü, kömürün yakılma sıcaklığı ve kül toplama sistemlerinin özellikleri olarak sayılabilmektedir (Hycnar,1983).

Termik santrallerden atık olarak çok ciddi miktarda uçucu kül çıkmaktadır. Sadece Tunçbilek termik santralinde, elektrik üretmek için yılda 2.350.000 ton kömür yakılmaktadır. Yanma sonrası 854.670 ton uçucu kül atık olarak kalmaktadır. Baca gazından elektronik filtreler yardımıyla bu atığın % 63'ü tutulmakta ve tutulabilen atığın sadece %1,4'ü satılmakta, geri kalanı ise stok sahasına gönderilmektedir (Kurama v.d. 1999). Bu şekilde uygulama ile stoklama maliyeti ve çevre kirliliği artmaktadır. Bu durum maliyetlere neden olmakta ve ülke ekonomisine zararlar vermektedir.

Uçucu küller geoteknik çalışmalarda dolgularda ve zemin stabilizasyonunda kullanılmaktadır (Mehta, 1986). Uçucu küller ayrıca donatılı zemin duvarlarda duvarın arkasındaki dolguda ve karayolu kaplamasının altındaki dolgu tabakası inşasında da kullanılmaktadır (Wasti, 1993). Hava ile etkileşimde olmayan zeminlerde bor, molibden, selenyum, alüminyum vb. maddeleri toplama özelliğinden dolayı atık biriktirme sahalarında tercih edilmektedir. Bu elementlerin ortadan kaldırılması üretim mekânlarında toksisiteyi azaltacağından dolayı canlı sağlığı açısından da uçucu küllerin kullanılması önemli kazanımlar getirmektedir. Uçucu küller, daha çok zemin enjeksiyon işlemlerinde çimento ve kireçle beraber tercih edilir. Bu durum az miktarda çimento ve katkı maddesi kullanımına sebep olacağından ülkemizin ekonomisini olumlu yönde etkilemektedir. Dolgu malzemesinin az kullanılması sonucu daha az tahripler olacağından dolayı uçucu kül kullanımı çevreye ait problemlerin çözümünde de kolaylıklar sağlayacaktır (Kaplan ve Gültekin, 2010).

Endüstriyel bir atık malzeme olan uçucu küllerin zemin stabilizasyonunda kullanılması da mümkündür. Zemin uçucu kül ile stabilize edildiğinde zeminin özelliklerinde üç farklı şekilde iyileşme olmaktadır. Bunlar; uçucu kül katkısının kullanımında hidrasyon nedeniyle oluşan çimentolanmadan dolayı, serbest bulunan kireçten (CaO) dolayı oluşan plastisite azalma ve alümina ve silika bileşiklerinin puzolanik tepkimeleri sonucunda oluşan iyileşmelerdir (Kurama, Bilgiç ve Kaya, 1999). SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı TS 639 "Uçucu Kül" standardında en az %70 verilmiştir. Uçucu külün içerisindeki CaO oranı %10'dan daha az ise düşük kireçli, daha fazla ise yüksek kireçli uçucu küller olarak adlandırılmaktadır. Düşük kireçli uçucu küller yalnızca puzolanik özelliğe sahipken yüksek kireçli uçucu küller puzolanik özelliğin yanı sıra amorf silis, trikalsiyum

aluminat, serbest kireç vb. malzemeleri bünyelerinde barındırdıklarından dolayı bir miktar bağlayıcılık özelliğine de sahip olabilmektedirler (Tokyay ve Erdoğan, 1998; Bilici, Okur, Türköz ve Savaş, 2020). Uçucu küllerin zemin stabilizasyonunda kullanımı çevre kirliliğinin azalmasına da neden olabilecektir (Aytekin, 2002).

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Uçucu kül katkısı ile zeminler stabilize edildiğinde zeminlerin şişme potansiyeli ve geçirgenliği azalmaktadır (Ferguson, 1993; Wasti, 1993). Şişme potansiyeli yüksek Hawaii Kiline, uçucu kül eklendiğinde sıkışma özelliklerinde iyileşme olmaktadır (Nicholson ve Kashyap, 1993). Uçucu kül ilavesinin kilin kayma direncinde önemli derecede artışlara neden olduğu belirlenmiştir (Tan ve İyisan, 1996). Zemine ilave edilen uçucu kül katkısında kür süresi arttıkça dayanımda da artışlar gözlemlenmiştir. Bu artışlar hem kohezyon hem de kayma direnci açısı değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Kohezyonun artışı uçucu külün çimentolanma özelliğine, kayma direnci açısından meydana gelen artış ise uçucu kül taneciklerinin küresel yapısından dolayı olduğu belirlenmiştir (Çakır, 1999). Ayrıca, uçucu kül ilavesi yapılan zeminin plastik limit, likit limit, optimum su muhtevası, kohezyon, içsel sürtünme açısı değerinde artış, boşluk oranı ve maksimum kuru yoğunluk, plastisite indisinde ise azalma meydana gelmektedir (Aytekin, 2009).

Uçucu kül ve kireç oranı %15 sabit tutularak, granit atığının (polisaj) % 10, % 15 ve % 20 katkı oranlarında hazırlanan kaolen kili numunelerinin CBR ve mukavemet değerlerinde katkısız kaoline göre artış olduğu belirlenmiştir (Öntürk, 2011). Eskişehir meşelik zeminine % 5 ve %35 arasında farklı oranlarda eklenen uçucu kül ilavesi kuru yoğunluğu düşürürken, serbest basınç dayanımı ve optimum su muhtevası değerlerinin yükselmesine neden olmuştur (Bilici, Okur, Türköz ve Savaş, 2018).

Kil zemine C sınıfı uçucu külün katkısı ile hem düşük plastisiteli kilde hem de yüksek plastisiteli kilde plastik limitler artmaktadır. Uçucu kül katkısı ile likit limit değerlerindeki değişim kıyaslandığında ise düşük plastisiteli kilde artış gözlenirken yüksek plastisiteli kilde azalma meydana gelmiştir. Ancak her iki kilde de uçucu kül katkısı arttıkça ile plastisite indisi değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir (Nalbantoğlu, 2004).

Acosta, Edil ve Benson (2003) tarafından, optimum su muhtevasında hazırlanan yedi farklı zemin üzerinde % 0, %10, %18 ve % 30 oranlarında yüksek kireçli sınıfa giren uçucu kül katkı oranlarında CBR ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Katkısız numunelere kıyasla %18 uçucu kül içeren katkılı numunelerin 4 kat daha yüksek dayanıma ulaştığı belirlenmiştir.

Soma termik santralinden temin edilen uçucu külün yüksek plastisiteli ve dispersif özellik gösteren bir kilin geoteknik özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, %7 oranında uçucu kül katkısında en yüksek serbest basınç dayanımına ulaşıldığı, %13 oranında ise optimum su muhtevasında artış ve kuru yoğunluk değerlerinde ise azalış olduğu belirlenmiştir (Çokça, 2001). Savaş, Türköz, Seyrek ve Ünver (2018), tarafından yapılan çalışmada da, dispersif özellik gösteren ve şişme potansiyeline sahip düşük plastisiteli killere Soma (C sınıfı) ve Çatalağzı (F sınıfı) uçucu külleri ilave edildiğinde her iki probleminde azaldığı belirlenmiştir. Çatalağzı uçucu külü katkısı Soma uçucu külüne oranla dayanım karakteristiklerine ve şişme potansiyeline daha fazla katkı sağlamıştır. Dispersif zeminlerde ideal uçucu kül katkı oranı %10 olduğu, C ve F sınıfı uçucu küllerin zemin iyileştirme için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan Soma, Tunçbilek ve Çatalağzı termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin ince taneli zeminin dayanım özelliklerine olan etkileri bir arada değerlendirilmiştir.

## 3. Yöntem

Bu çalışmada Kunduzlar toprak barajının çekirdek kısmının inşa edildiği zemin, Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı termik santrallerinden alınan uçucu kül katkısıyla stabilize edilmiştir. Zemine %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında kül katkıları eklenmiş ve optimum su muhtevaları, serbest basınç ve kesme kutusu dayanımlarının değişimi belirlenmiştir. Bu çalışma yayın ve araştırma etiği kurallarına riayet edilerek hazırlanmıştır.

### 3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan zemin ve uçucu kül örneklerini tanımlamak için, hidrometri analizi (ASTM D 422-63), elek analizi, özgül gravite (ASTM D 854-00) ve kıvam limitleri (ASTM D 4318-00) deneyleri yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1

| Deneylerde Kullanılan Zemine Ait Özellikler  |        |
|--|--------|
| Özellik                                      | Değeri |
| Özgül Gravite(Gs)                            | 2.69   |
| Optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ , %)        | 21     |
| Maksimum kuru yoğunluk ( $Mg / m^3$ )        | 1.54   |
| Likit limit (LL, %)                          | 49     |
| Plastik limit (PL, %)                        | 28     |
| Plastisite indisi (PI, %)                    | 21     |
| Kil Yüzdesi (%)                              | 22     |
| Serbest Basınç Dayanımı (kN/m <sup>2</sup> ) | 125.60 |

Deney aşaması ve numunelerin hazırlanması ilgili standart yöntemlere uyularak yapılmıştır (ASTM, 1994). Eskişehir Afyonkarahisar karayolunun 70. kilometresinde yer alan Kunduzlar barajından alınan zeminin geoteknik özellikleri laboratuvarında belirlenmiştir. Zeminin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre ML (Düşük Plastisiteli Silt) olarak tanımlanmıştır (ASTM D 2487-00).

Uçucu küller kimyasal özelliklerine göre F ve C sınıfı olarak sınıflandırılırlar ( TS EN 197-1; ASTM C 618).

- F sınıfı bitümlü kömürün yakılmasıyla elde edilir. Puzolanik özellik sergilerler. İçeriğindeki silika ( $\text{SiO}_2$ ), alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) miktarı toplamı % 70'den fazladır. CaO miktarı %10'dan az olduğu için ise düşük kireçli olarak da nitelendirilirler.

- C sınıfı linyit ya da yarı-bitümlü kömürün yakılmasıyla elde edilir. Puzolanik özelliğinin yanında bağlayıcılık özelliği de sergilerler. İçeriğindeki ( $\text{SiO}_2$ ), ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) bileşenleri toplamı %50'den fazladır. Bununla birlikte CaO miktarı % 10'dan daha fazla olduğundan yüksek kireçli uçucu kül olarak da nitelendirilirler.

Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı uçucu küllerinin fiziksel özellikleri Tablo 2'de, kimyasal özellikleri ise Tablo 3'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu külleri F sınıfına ve Soma uçucu külü ise C sınıfına girmektedir.

Tablo 2

#### Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı Uçucu Küllerinin Fiziksel Özellikleri

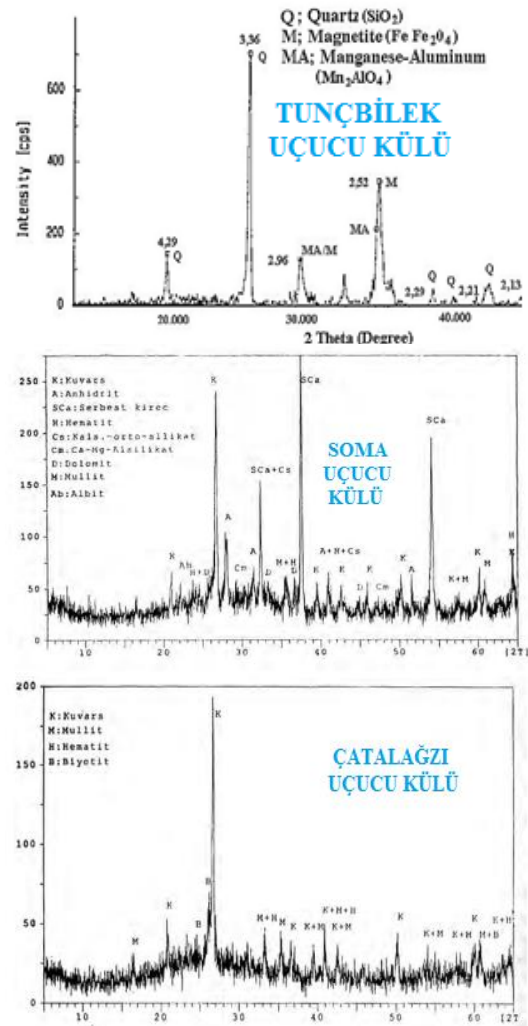
|  | Tunçbilek | Soma    | Çatalağzı |
|--|-----------|---------|-----------|
| Özgül Gravite (Gs)   | 2.08      | 2.20    | 2.00      |
| Özgül Yüze   | 3812      | 3720    | 2165      |
| Dane büyüklüğü analizi (%)                                 | 6/82/12   | 8/83/19 | 6/79/15   |
| Likit limit (LL, %)  | 55        | 52      | 45        |
| Plastik limit (PL, %)                                      | 29        | 24      | 21        |
| Plastisite indisi (PI,                                     | 26        | 28      | 24        |
| Optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ , %)                      | 36        | 38      | 34        |
| Maksimum kuru yoğunluk ( $\rho_{dmax}$ , $\text{Mg/m}^3$ ) | 1.35      | 1.42    | 1.28      |

Tablo 3

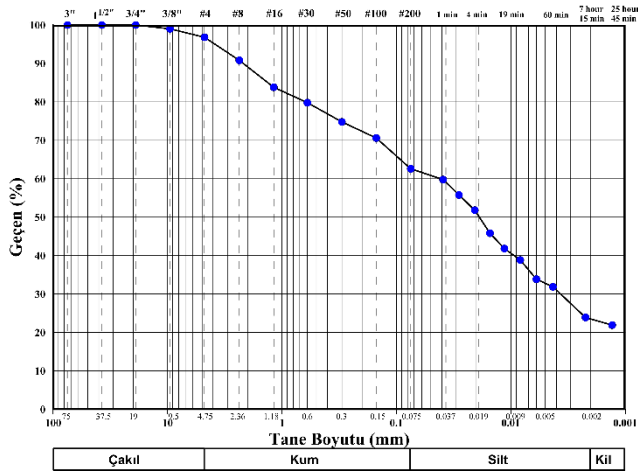
#### Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı Uçucu Küllerinin Kimyasal Özellikleri (Yılmaz, 2004; Ünal ve Uygunoğlu,2004; Türker ve diğ.,2009)

|                             | Tunçbilek | Soma  | Çatalağzı |
|-----------------------------|-----------|-------|-----------|
| $\text{SiO}_2$ (%)          | 58.82     | 45.71 | 58.75     |
| CaO (%)                     | 2.18      | 17.16 | 1.46      |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ (%) | 19.65     | 23.67 | 25.24     |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%) | 10.67     | 4.47  | 5.76      |
| MgO (%)                     | 3.92      | 1.58  | 2.22      |
| $\text{SO}_3$ (%)           | 0.48      | 4.11  | 0.08      |
| $\text{K}_2\text{O}$ (%)    | 1.9       | 1.26  | 4.05      |

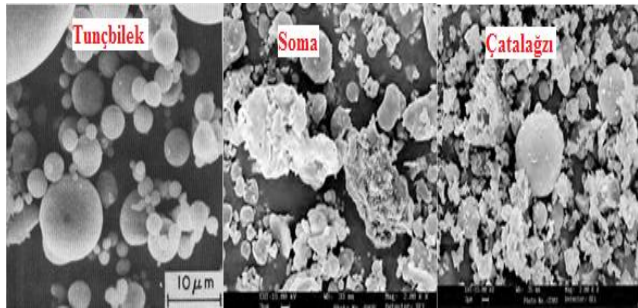
Uçucu küllerin X-Ray Difraktogramı Şekil 1'de, kullanılan zeminin granülometri eğrisi ise Şekil 2'de verilmektedir. Uçucu küllerin SEM'deki görüntüsü Şekil 3'de ve uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları ise Tablo 4'de yer almaktadır.



Şekil 1. Uçucu küllerin X-Ray Difraktogramı (Kurama vd. 1999; Türker vd., 2009)



Şekil 2. Zemine Ait Granülometri Eğrisi



Şekil 3. Uçucu küllerin SEM'deki görüntüsü (Aruntaş, 2006; Türker ve diğ., 2009)

Tablo 4

Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonları (Aruntaş, 2006; Türker ve diğ., 2009 ).

| Mineral Adı        | Tunçbilek (%) | Soma (%) | Çatalağzı (%) |
|--------------------|---------------|----------|---------------|
| Mullit             | 8.8           | 4.3      | 18.1          |
| Kuvartz            | 13.9          | 5.1      | 10.9          |
| Manyetit           | 4.1           | 0.6      | 0.2           |
| Hematit            | 3.0           | 2.0      | 0.1           |
| Anhidrit           | -             | 7.4      | -             |
| Serbest CaO        | 0.9           | 9.8      | 0.7           |
| Plajiyoklaz        | -             | ~20      | -             |
| Camsı ve amorf faz | ~70           | ~50      | ~70           |

### 3.2. Numunelerin Hazırlanması

Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı termik santrallerinden alınan uçucu kül katkılı zeminin dayanım özelliklerinin değerlendirilmesinde kesme kutusu ve serbest basınç dayanımı deneylerinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaca yönelik zemin ile zemin ağırlığının %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında uçucu kül karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan

numuneler standart proktor deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sonrasında maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Belirlenen kompaksiyon parametrelerinde hazırlanan numuneler kullanılarak kesme kutusu ve serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Deney programı Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5

Deney programı

| Uçucu Kül | Katkı (%) | Kompaksiyon Deneyleri | Serbest Basınç Deneyleri | Kesme Kutusu Deneyleri |
|-----------|-----------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
| Katkısız  | 0         | X                     | X                        | X                      |
|           | 5         | X                     | X                        | X                      |
|           | 10        | X                     | X                        | X                      |
|           | 15        | X                     | X                        | X                      |
| Soma      | 20        | X                     | X                        | X                      |
|           | 25        | X                     | X                        | X                      |
|           | 30        | X                     | X                        | X                      |
|           | 5         | X                     | X                        | X                      |
| Tunçbilek | 10        | X                     | X                        | X                      |
|           | 15        | X                     | X                        | X                      |
|           | 20        | X                     | X                        | X                      |
|           | 25        | X                     | X                        | X                      |
| Çatalağzı | 30        | X                     | X                        | X                      |
|           | 5         | X                     | X                        | X                      |
|           | 10        | X                     | X                        | X                      |
|           | 15        | X                     | X                        | X                      |
| Çatalağzı | 20        | X                     | X                        | X                      |
|           | 25        | X                     | X                        | X                      |
|           | 30        | X                     | X                        | X                      |

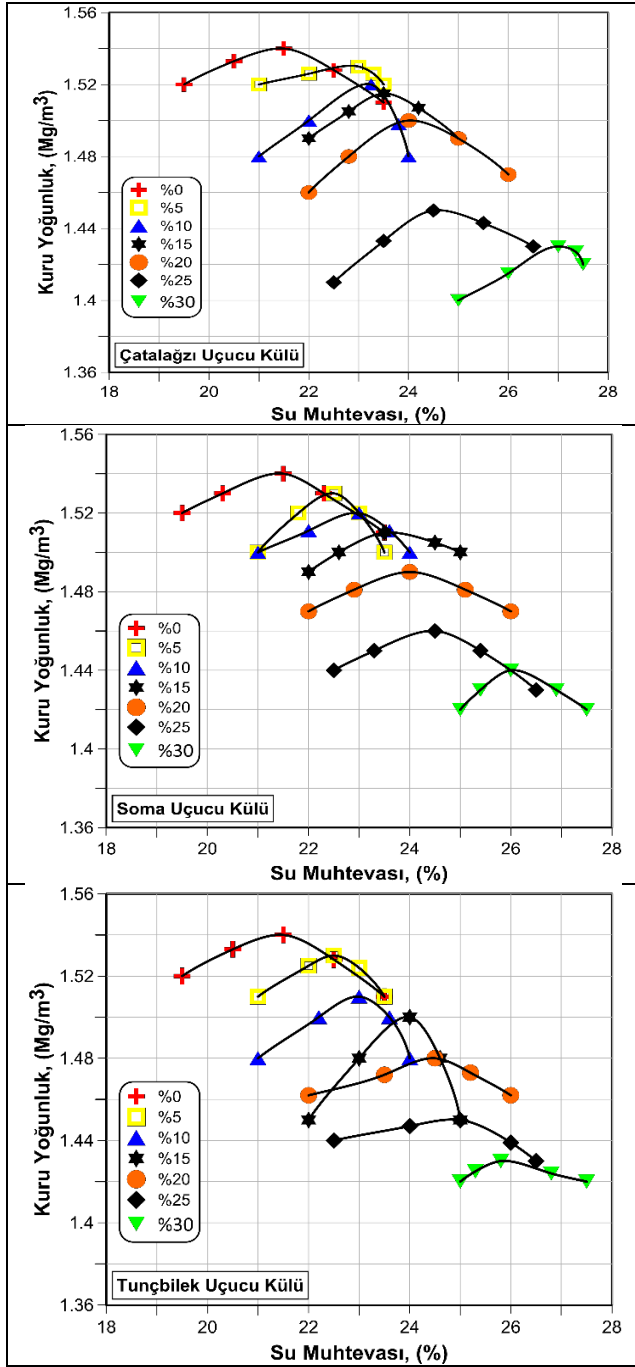
### 4. Bulgular

Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı uçucu küllerinin katkısı ile hazırlanan numunelerin standart proktor enerjisinde kompaksiyon deneyi sonrasında elde edilen kompaksiyon karakteristikleri olan optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru yoğunluk ( $\rho_{dmax}$ ) değerleri Tablo 6’da, kompaksiyon eğrileri ise Şekil 4’de sunulmuştur.

Tablo 6

Deney Numunelerinin Kompaksiyon Karakteristikleri

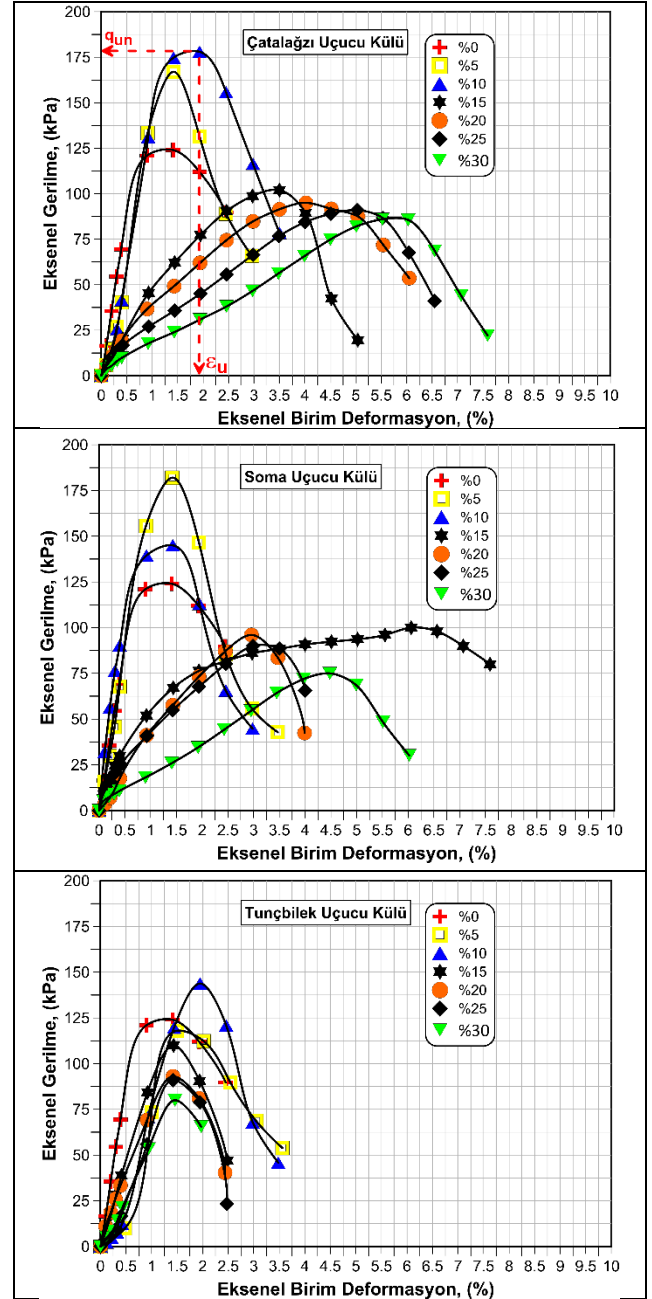
| Katkı Oranları | Soma          |           | Çatalağzı     |           | Tunçbilek     |           |
|----------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|                | $\rho_{dmax}$ | $w_{opt}$ | $\rho_{dmax}$ | $w_{opt}$ | $\rho_{dmax}$ | $w_{opt}$ |
| %0             | 1.540         | 21.50     | 1.540         | 21.50     | 1.540         | 21.50     |
| %5             | 1.530         | 22.50     | 1.530         | 23.00     | 1.530         | 22.50     |
| %10            | 1.520         | 23.00     | 1.520         | 23.25     | 1.510         | 23.00     |
| %15            | 1.510         | 23.50     | 1.515         | 23.50     | 1.500         | 24.00     |
| %20            | 1.490         | 24.00     | 1.500         | 24.00     | 1.480         | 24.50     |
| %25            | 1.460         | 24.00     | 1.450         | 24.50     | 1.450         | 25.00     |
| %30            | 1.440         | 26.00     | 1.430         | 27.00     | 1.430         | 25.80     |



Şekil 4. Deney Numunelerinin Proktor Deneyi Sonucu Elde Edilen Kompaksiyon Eğrileri

Genel olarak değerlendirildiğinde, her üç uçucu kül için katkı yüzdelerinin artışına bağlı olarak kuru yoğunlukların düştüğü ve optimum su muhtevalarının arttığı görülmüştür. Katkısız durumla karşılaştırıldığında kuru yoğunlukta %20 katkı oranına kadar dereceli bir azalma olurken artan katkı yüzdelerinde bu azalma daha da artmıştır. Zeminden daha ince tane boyutu ve düşük özgül ağırlığa sahip olan katkı nedeniyle su muhtevaları artışında da benzer durum olmuştur.

Katkısız ve üç farklı termik santralden (Tunçbilek, Soma, Çatalağzı) alınan %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında optimum şartlarda hazırlanmış katkı numunelerinin serbest basınç deneyi sonucunda eksenel birim deformasyona bağlı olarak eksenel gerilme değerlerinin değişimi belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Numunelerin Katkı Oranına Bağlı Olarak Serbest Basınç Deneyinde Elde Edilen Eksenel Gerilme ve Eksenel Birim Deformasyon Grafikleri

Serbest basınç deneyi sonucu belirlenen serbest basınç dayanımları ( $q_{un}$ ) ve en yüksek dayanım değerine karşılık gelen eksenel birim deformasyon değerleri ( $\epsilon_u$ ) Tablo 7'de sunulmuştur. En yüksek dayanım F sınıfı

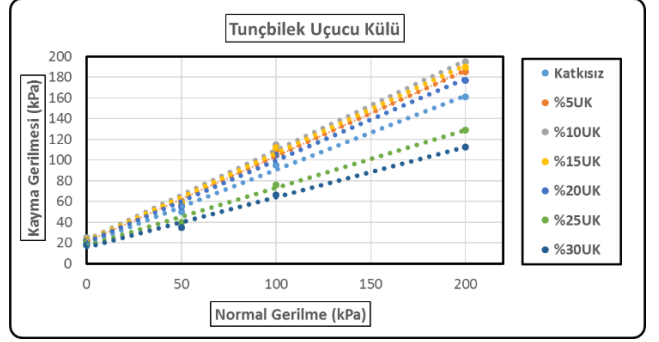
uçucu kül olan Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu kül katkıli numunelerinde % 10 katkı oranında, C sınıfı olan Soma uçucu külü katkısında ise %5 oranında meydana gelmiştir. Katkısız numunenin serbest basınç dayanımına (125.60 kPa) oranla Soma uçucu külünde %5 katkı oranında serbest basınç dayanımı (SBD) 182 kPa'a ulaşmış olup yaklaşık % 47 daha yüksek dayanım olmuştur. Tunçbilek uçucu külünün %10 katkıli numunesinin serbest basınç dayanımında (143.80 kPa) yaklaşık %16 ve Çatalağzı uçucu külünün % 10 katkıli numunesinde de serbest basınç dayanımında (178 kPa) yaklaşık % 45 artış belirlenmiştir.

Tablo 7

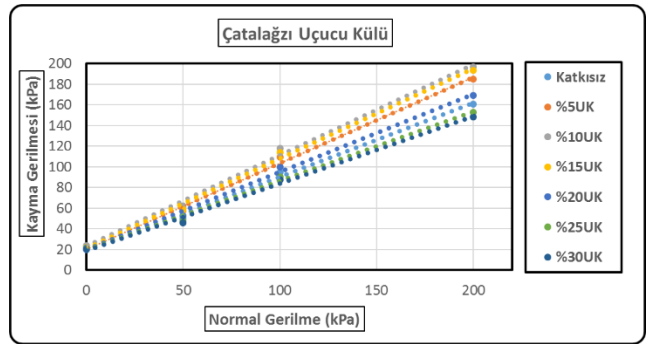
Zemin Numunelerinin SBD Deneyi Sonucu Gerilme-Deformasyon Değerleri

| Uçucu Kül Türü | Katkı Oranı (%) | Eksenel Birim Deformasyon, $\epsilon_u$ (%) | Serbest Basınç Dayanımı, $q_{un}$ (kPa) |
|----------------|-----------------|---|---|
| Katkısız       | 0               | 1.41  | 124.00                                  |
| Soma           | 5               | 1.42  | 182.00                                  |
|                | 10              | 1.43  | 145.00                                  |
|                | 15              | 6.06  | 100.00                                  |
|                | 20              | 2.96  | 96.00                                   |
|                | 25              | 2.99  | 90.00                                   |
|                | 30              | 4.48  | 75.00                                   |
| Tunçbilek      | 5               | 1.50  | 118.00                                  |
|                | 10              | 1.95  | 143.80                                  |
|                | 15              | 1.43  | 110.00                                  |
|                | 20              | 1.42  | 93.00                                   |
| Çatalağzı      | 25              | 1.42  | 91.00                                   |
|                | 30              | 1.46  | 80.00                                   |
|                | 5               | 1.42  | 167.00                                  |
|                | 10              | 1.93  | 178.00                                  |
|                | 15              | 3.50  | 102.00                                  |
|                | 20              | 4.02  | 95.00                                   |
| 25             | 5.03            | 91.00                                       |   |
| 30             | 5.52            | 86.00                                       |   |

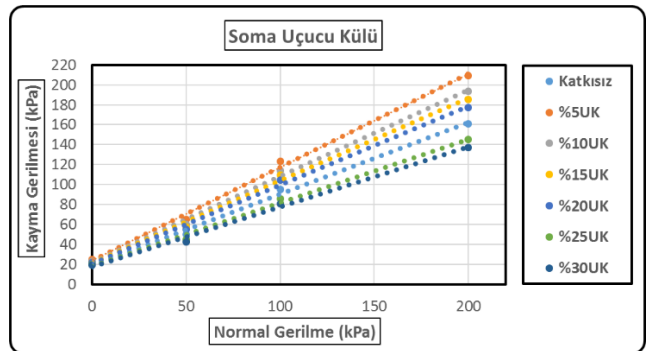
Kesme kutusu deneyinde, kesme esnasında boşluk suyu basıncı oluşmayacak şekilde numune bünyesinde bulunan boşluk suyunun drenaj hızından daha düşük bir hızda kesilmesi gerekliliğinden, kesme esnasında kesme hızı 0.01 mm/dk olacak şekilde düşük hızda deney yapılmıştır. Tunçbilek, Çatalağzı ve Soma uçucu külü katkıli ile hazırlanan numunelerin kesme kutusu deneyi sonucunda oluşan göçme zarflarına ait grafikler sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 6. Tunçbilek Uçucu Külü ile Hazırlanan Numunelerin Kesme Kutusu Dayanımı Grafikleri



Şekil 7. Çatalağzı Uçucu Külü ile Hazırlanan Numunelerin Kesme Kutusu Dayanımı Grafikleri



Şekil 8. Soma Uçucu Külü ile Hazırlanan Numunelerin Kesme Kutusu Dayanımı Grafikleri

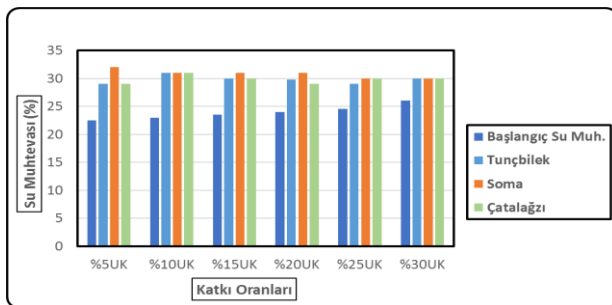
Zemin numunelerinin kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen kayma dayanım parametreleri Tablo 8'de verilmiştir. Katkısız numunenin kesme kutusu deneyi sonucunda belirlenen kayma dayanımı parametreleri; kohezyon değeri 20 kPa ve içsel sürtünme açısı  $35^\circ$  olarak belirlenmiştir. Kesme kutusu deneyi sonucunda en yüksek dayanım Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu külünde %10 katkı oranında Soma uçucu külünde ise %5 katkı oranında meydana gelmiştir. Bu katkı oranlarında Tunçbilek uçucu külü için %21, Çatalağzı uçucu külü için %24 ve Soma Uçucu külü için %30 oranında kayma dayanım değerlerinde artış olmuştur.

Tablo 8

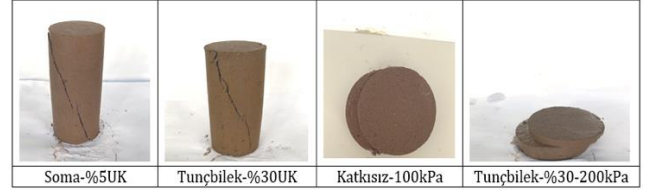
## Zemin Numunelerinin Kesme Kutusu Deneyi Sonucu Kayma Dayanımı Parametreleri

| Uçucu Kül | Katkı Oranı (%) | Kohezyon $c'$ (kPa) | İçsel Sürtünme Açısı, $\phi'$ (°) |
|-----------|-----------------|---------------------|-----------------------------------|
| Katkısız  | 0               | 20.00               | 35.00                             |
| Soma      | 5               | 25.00               | 38.66                             |
|           | 10              | 23.00               | 36.50                             |
|           | 15              | 22.00               | 35.37                             |
|           | 20              | 22.00               | 33.42                             |
|           | 25              | 20.00               | 21.80                             |
|           | 30              | 19.00               | 20.81                             |
| Tunçbilek | 5               | 22.00               | 35.37                             |
|           | 10              | 25.00               | 35.37                             |
|           | 15              | 23.00               | 34.99                             |
|           | 20              | 22.00               | 33.42                             |
|           | 25              | 20.00               | 21.80                             |
|           | 30              | 18.00               | 18.78                             |
| Çatalağzı | 5               | 21.00               | 36.13                             |
|           | 10              | 24.00               | 37.23                             |
|           | 15              | 22.00               | 36.50                             |
|           | 20              | 21.50               | 31.80                             |
|           | 25              | 21.20               | 27.47                             |
|           | 30              | 20.63               | 27.02                             |

Kesme kutusu deneyi sonrasında katkılı numunelerin deney sonu muhtevalarındaki değişim de değerlendirilmiştir (Şekil 9). Optimum şartlarda sıkıştırılmış katkısız numunenin başlangıç su muhtevası %21.50 ve kesme kutusu deney sonu su muhtevası ise %28.90 olarak belirlenmiştir. Uçucu kül katkılı hazırlanan numunelerin tamamında; katkı miktarı, uçucu kül sınıfı ve uçucu külün alındığı termik santral türü fark etmeksizin kesme sonrasında su muhtevasında artış meydana gelmiştir. Bu durum ise dolgu sonrası olası yağmur ve sel gibi su miktarının arttığı olumsuz durumlarda katkılı numunelerin bünyesinde daha fazla suyu hapsetme imkânına sahip olduğunu göstermektedir. Numunelerin serbest basınç ve kesme kutusu deney sonrası kırılma yüzeylerine ait fotoğraflar Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Numunelerin Kesme Kutusu Deneyi Başlangıç Ve Deney Sonrası Su Muhtevaları Değişimi



Şekil 10. Numunelerin Deney Sonrası Göçme Yüzeylerine Ait Görseller

## 5. Tartışma

Çalışmada farklı termik santrallerden alınan uçucu külün zemine katkısı (%5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında) sonucunda zeminin kompaksiyon ve dayanım özelliklerine etkisi incelenmiştir. Uçucu kül ilavesi; kayma direnci açısından, zeminin kayma direncinde ve kohezyon değerinde artışa neden olmuştur. Elde edilen veriler Tan ve İyisan (1996), Çakır (1999) ve Aytekin (2009), tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Çokça (2001) ve Bilici ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarında da görüldüğü gibi, uçucu kül ilavesi arttıkça maksimum kuru yoğunluk değerinde azalma meydana gelirken, optimum su muhtevası değerlerinde de artış olmuştur.

Soma uçucu külü katkısı kullanıldığında en yüksek serbest basınç dayanımı %5 katkı oranında gerçekleşmiştir. Çokça (2001) tarafından yapılan çalışmada ise %7 Soma uçucu külü katkısında en yüksek serbest basınç dayanımına ulaşılmıştır.

Savaş vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada da C ve F sınıfı uçucu külün zemin iyileştirilmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada Tunçbilek ve Çatalağzı termik santrallerinin atığı olan F sınıfı ve Soma termik santralinin atığı olan C sınıfı uçucu külünün killi bir zeminin geoteknik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı uçucu külünün santral türü fark etmeksizin aynı oranda katkı kullanıldığında kompaksiyon karakteristiklerinde benzer değişimler belirlenmiştir. Standart proktor enerjisinde yapılan kompaksiyon deneyi sonrasında katkı miktarı arttıkça elde edilen optimum su muhtevası değerinin arttığı ve maksimum yoğunluk değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir.

Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu kül katkılı numunelerinde %10 katkı oranında, Soma uçucu külü katkısında ise %5 oranında serbest basınç dayanımı değerlerinde önemli seviyede artış olmuştur. Katkısız numunenin serbest basınç dayanımına oranla Soma uçucu külünün %5 katkı oranında serbest basınç dayanımı yaklaşık %47 daha

yüksek dayanıma sahip olmuştur. Bu oran Tunçbilek uçucu külünün %5 katkılı numunesinin serbest basınç dayanımında yaklaşık %16 iken, Çatalağzı uçucu külünün % 5 katkılı numunesinin serbest basınç dayanımında yaklaşık % 43.5 artış olduğu belirlenmiştir.

Katkısız numunenin kesme kutusu deneyi sonucunda belirlenen kayma dayanımı parametreleri; kohezyon değeri 20 kPa ve içsel sürtünme açısı 35° olarak belirlenmiştir. Kesme kutusu deneyi sonucunda en yüksek dayanım Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu küllerinde %10 katkı oranında, Soma uçucu külünde ise %5 katkı oranında olmuştur. Bu katkı oranlarında Tunçbilek uçucu külü için %21, Çatalağzı uçucu külü için %24 ve Soma uçucu külü için %30 oranında kayma dayanım değerlerinde iyileşme olmuştur.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Hakan BİLİCİ, deney programı ve deneylerin yapılması aşamasında; Murat TÜRKÖZ, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması; Hasan SAVAŞ, analizler ve makalenin sonuçlarının değerlendirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

Acosta, H. A., Edil, T. B. ve Benson, C. H., (2003). *Soil Stabilization And Drying Using Fly Ash*. Geo Engineering Report No. 03-03, Madison, Wisconsin.

Aruntaş, H. Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanımı. *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21 (1), 193-203.

Aytekin, M. (2002). *Zeminlerin Değirmen Artığı Malzeme ile Stabilizasyonu*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, (21-22 Ekim 2002) Bildirileri, Eskisehir, 718-725.

Aytekin, S. (2009). *Uçucu Küllerin Zeminlerin İslahında Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Bilici, H., Okur, D. V., Türköz, M. ve Savaş, H. (2018). *Uçucu Kül Katkısının Meşelik Zemininin Kompaksiyon ve Dayanım Karakteristiklerine Etkisi*, International Euroasian Conference on Science, Engineering and Technology (euroasianSciEnTech 2018), Ankara.

Bilici, H., Okur, D. V., Türköz, M. ve Savaş, H. (2020). *Kil Zeminin Dayanımı Üzerinde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılarının Etkisi ve Karşılaştırmalı Analizi*, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 910-919.  
<https://doi.org/10.17798/bitlisfen.598525>

Çokça, E. (2001). *Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil*. ASCE J. of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., 127, (7), 568-573.

EİE. (1979). *Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları*. Ankara.

Ferguson, G. (1993). *Use of Self-cementing Fly Ash as a Soil Stabilization Agent: Fly Ash for Soil Improvement*. Geotechnical Special Publication, 36: 1-15.

Hycnar, J. (1983). *Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags*. UNEP/USSR, Donetok.

Kaplan, K. ve Gültekin A. B. (2010). *Yapı Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Çevresel Ve Toplumsal Etkiler Açısından İncelenmesi (The Investigation Of Fly Ash Usage In Terms Of Environmental And Social Effects In Construction Sector)*, International Sustainable Buildings Symposium - ISBS (Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu), Ankara.

Kefelioglu, S. (1998). *Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları*, Teknoloji.

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). *Enerji Kaynakları- Yenilenebilir Enerji Durumu*, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 36-47.

Kurama, H., Bilgiç, C. ve Kaya, M. (1999). *Evaluation of Tunçbilek Coal Fired Power Plant Flyash for Industrial Usage*. J. of Ore Dressing, 1, (2), 55-62.

Malhotra, V. M. ve Ramezaniyanpour, A. A. (1994). *Fly Ash in Concrete, Canmet Report MSL 94-45 (IR)*, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Second Edition.

Mehta, P. K. (1986). *Concrete- Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall, New Jersey.

Morrison. R. E. (1970). *A Review of Ash Specifications, Symposium on Fly Ash Utilization*, 24-31, Pittsburgh.



- Nalbantoğlu, Z. (2004). *Effectiveness Of Class C Fly Ash as an Expansive Soil Stabilizer*. Construction and Building Materials, 18, (6), 377-381.
- Nicholson P. O. ve Kashyap, V. (1993). *Fly ash Stabilization of Tropic Hawaiian Soils*. Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, 36: 15-30.
- Öntürk, K. (2011). *Zemin İyileştirmesinde Polisaaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Savaş H., Türköz M., Seyrek E. ve Ünver, E. (2018). *Comparison of the Effect of Using Class C and F Fly Ash on the Stabilization of Dispersive soils*. Arabian Journal of Geosciences, 11: 612. Doi Numarası: 10.1007/s12517-018-3976-6.
- Tokyay, M. ve Erdoğan, K. (1998). *Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu*, TÇMB AR-GE Yayın No 98/3, Ankara.
- TS 639. (1975). *Uçucu Küller*, TSE, Ankara.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A. (2009). *Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri*, TÇMB AR-GE Y03.03, Fersa Matbaacılık, s.32- 37,s. 58-65.
- Ünal, O. ve Osmanoğlu, Y. (2004). *Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi*. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, (02-04 Haziran 2004) Zonguldak.
- Wasti, Y. (1993). *Uçucu Küllerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı*, End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 37-44.
- Yılmaz, A. (2004). Puzolan Katkılı Çimentoların Beton Olgunluğuna Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10, (3), 381-387.

## INVESTIGATION OF GOLD NANOPARTICLE MODIFICATION ON SCREEN PRINTED GOLD ELECTRODE BY ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY

Yücel KOÇ<sup>1</sup>, Huseyin AVCI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

e-posta : yclkoc@gmail.com, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8301-5595>

<sup>2</sup>Department of Metallurgical and Materials Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey

e-posta : havci@ogu.edu.tr, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2475-1963>

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| Screen printed electrode<br>Gold nanoparticle<br>Electrodeposition<br>Impedance spectroscopy | Recently increasing attention has been paid to the development of highly sensitive and selective electrochemical sensors for accurate and cost-effective detection in various fields. In this study, gold nanoparticles (AuNPs) were electro-deposited onto screen printed gold electrode (SPGE) surfaces at different times to determine the optimum modification conditions. Determining the optimum modification for the SPGE surface, AuNP modification under $-0.3$ V potential with 2 mM HAuCl <sub>4</sub> (in 0.5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) solution were investigated. In this case, for the optimum AuNP modification, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis was performed at the following deposition times: 30, 60, 90, 120, and 150 s. As a result of modeling the Nyquist graph obtained in the range of 10 kHz to 0.1 Hz with the EIS analysis based on the equivalent circuit model, the outcomes for each modification time were analyzed. After the modification with AuNPs, scanning electron microscope (SEM) images of the SPGE surfaces were discussed. As a result, the optimum deposition time was determined as 90 s by the analysis. In this study, an electrochemical investigation was carried out with a detailed perspective for the modification of AuNPs on the SPGE surface. In addition, the importance of optimum nanoparticle modification to obtain a smooth electrode surface has been demonstrated, and it is thought that it can help to the researchers for their studies in the field. |

### EKRAN BASKILI ALTIN ELEKTROT ÜZERİNE ALTIN NANOPARTİKÜL MODİFİKASYONUNUN ELEKTROKİMYASAL EMPEDANS SPEKTROSKOPİSİ İLE İNCELENMESİ

| Anahtar Kelimeler  | Öz  |
|--|---|
| Ekran baskılı elektrot<br>Altın nanoparçacık<br>Elektrobiriktirme<br>Empedans spektroskopisi | Son zamanlarda, çeşitli alanlarda güvenilir ve uygun maliyetli algılama sistemleri için son derece hassas ve seçici elektrokimyasal sensörlerin geliştirilmesi artan bir ilgi ile devam etmektedir. Bu çalışmada altın nanoparçacıklar (AuNP'ler) perde baskılı altın elektrot (SPGE) yüzeyine farklı zaman aralıklarında elektro-biriktirilerek optimum modifikasyon süresi belirlenmiştir. SPGE yüzeyi için optimum modifikasyon belirlenirken, 0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> içerisinde hazırlanmış 2 mM HAuCl <sub>4</sub> çözeltisi kullanılarak $-0,3$ V potansiyel uygulamak suretiyle AuNP modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca optimum AuNP modifikasyonu için elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) analizi 30, 60, 90, 120 ve 150 s biriktirme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. 0.1 Hz ile 10 kHz frekans aralığında elde edilen Nyquist grafiğinin eşdeğer devre modeli ile modellenmesi ile ayrıntılı EIS analizi yapılmış, ek olarak her bir modifikasyon süresi için sonuçlar irdelenmiştir. AuNP'lerin SPGE yüzeylerine modifikasyonundan sonra, taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi ile SPGE yüzeylerinde meydana gelen değişimler çalışmamızda tartışılmıştır. Sonuç olarak, optimum biriktirme süresi 90 s olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada SPGE yüzeyine AuNP'lerin modifikasyonu ayrıntılı elektrokimyasal analizler ile geniş bir perspektifte ele alınmıştır. Ayrıca daha iyi bir elektrot yüzeyi elde etmek için optimum nanopartikül modifikasyonun önemi gösterilmiş ve bunun ilgili olan araştırmacıların çalışmalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir. |
| Araştırma Makalesi   | Research Article  |
| Başvuru Tarihi : 01.02.2022  | Submission Date : 01.02.2022  |
| Kabul Tarihi : 16.09.2022  | Accepted Date : 16.09.2022  |

\* Sorumlu yazar; e-posta : havci@ogu.edu.tr

## 1. Introduction

Electrochemical sensors based on screen-printed electrodes (SPEs) have risen in popularity due to low cost, ease of use, portability, and structural simplicity. SPEs are devices that contain dual or triple electrode systems created by printing different inks on a ceramic or plastic surface (Apetrei and Apetrei, 2018; Zhang, Jiang, Zhang, Zhang, and Li, 2019). SPEs are widely used due to their many advantages, such as low sample volume requirements, comparatively low cost, flexibility, and good reproducibility, especially in developing electrochemical biosensors (Koç, Morali, Erol and Avci, 2021b; Sanzo et al., 2016; Singh, Jaiswal, Tiwari, Foster and Banks, 2018). These electrodes can be easily integrated into portable analytical and industrial systems which are becoming more common in various fields from food to healthcare and environmental industries (Avci, Güzel, Erol, and Akpek, 2018; Couto, Lima, and Quinaz, 2016; Garbioglu, Demir, Ozel, Avci and Dincer, 2021; Güzel et al., 2021; Ozel et al., 2021; Shaegh et al., 2018; Shin et al., 2016; Shin et al., 2017; Zhang et al., 2017)

The modification of the electrodes with metallic nanoparticles draws attention in the various field. Modifications of SPE with metallic nanoparticles provide enormous benefits in detecting lower amounts of target molecules in analysis by increasing the electrode's sensitivity, selectivity, and verifiability (Zhu, Zhu, and Shu, 2022). Gold nanoparticles (AuNPs) are frequently used materials that can increase the active electrode surface area and are very useful for constructing the desired chemical structure on the surface (Stine, 2019; Taurino et al., 2016). Moreover, the high conductivity and catalytic properties of gold nanoparticles indicate that the nanoparticles are used for the electroanalytical determination of a wide variety of analytes (Merli et al., 2016). AuNPs can also improve the detection signal electron transfer, which can improve the limit of detection for the sensors (Charoenkitamorna, Chailapakulac, and Siangproh, 2015). It is known that after the AuNPs are deposited on the electrode surface, it improves the redox properties at the electrode-solution interface. (Huang, Liao, Moles, Redinger, and Subramanian, 2003). It is also allowing large surface energy and binding of many biomolecules on the electrode surface. (Zeng, Zhu, Du, and Lin, 2016).

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) has appeared as a useful technique to develop biosensors with various modifications which can overcome the difficulties encountered in this context (Wolff, Harting, Heinrich, Röder, and Krewer, 2018). The EIS method is usually performed by symmetrically stimulating the system with either a current or potential perturbations and measuring the response to this stimulus (Morali, 2020). The EIS can be used to study the response of an electrochemical system with small signal effects. It is a very effective technique for identifying and analyzing

any point of the system with investigating electrode/electrolyte interfacial properties (Avci, Anil, Koc, Morali, and Erol, 2019; Galeotti, Giammanco, Cina, Cordiner, and Di Carlo, 2015; Koç, Morali, Erol and Avci, 2019; Samie and Arvand, 2020). Lastly, EIS has various benefits like low measuring time, simplicity of assessing sensitivity and selectivity, and ease of integration into point-of-care (POC) systems (Koç et al., 2021b).

Since the modification of SPGE surfaces with AuNPs can contribute the excellent performance for a trace detection of molecules, particles and cells of interest, the aim of our study is to discuss electro-deposition of AuNPs onto SPGEs surfaces at different times to determine the optimum modification conditions. In addition, surface morphology of the sensing electrode was investigated by scanning electron microscopy (SEM).

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Chemicals

Gold (III) chloride trihydrate ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (49% Au, w/v), and Sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (98.08%, w/v) were purchased from Sigma-Aldrich. Potassium hexacyanoferrate (II) trihydrate ( $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) was received from Kimetsan. Phosphate buffer saline (PBS) (1x) was obtained from ThermoScientific.

### 2.2. Apparatus

Electrochemical measurements require highly sensitive, accurate and suitable ambient conditions. Electrodeposition and electrochemical impedance measurements were carried out using a Reference 3000 Potentiostat/Galvanostat/ZRA. The tests and data analysis were carried out using the Echem Analyst and PSTrace softwares. Gamry Faraday cage was also used to block the electric field created by environmental noise.

Screen printed gold electrodes (SPGE, 220AT model) were purchased from Dropsens (Oviedo, Spain). SPGE (33 mm x 10 mm x 0.5 mm (length x width x height)) contains a gold working electrode, a gold counter electrode, and a silver reference electrode. The working electrode surface area was 0.1256 cm<sup>2</sup>. A Hitachi Regulus 8230 Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) was used to analyze the exterior morphology of the surface of SPGEs. All of the experimental studies were conducted at room temperature (23 °C±2).

### 2.3. Methods

Research and publication ethics were complied with in this study. It is stated in this article that no legal/special permission is required. SPGE surfaces have been modified to obtain better and more distinct electrodeposition as follows: first, surface activation was performed with 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (50 µl) solution on the electrode surface to obtain a positive electrode surface under an applied potential of -0.6 V. Then, the electrode surface was washed successively with PBS (1x) and ultrapure water. Following the washing, AuNPs modification was performed by using 2 mM HAuCl<sub>4</sub> (in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (50 µl) solution under an applied potential of -0.3 V at 30 s, 60 s, 90 s, 120 s and 150 s electrodeposition times, and the optimum modification time was determined by EIS analysis. After providing each deposition, the SPGE was analyzed by EIS using 2 mM K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] in PBS (1x) (50 µl). After the modification, unbound AuNPs were removed by washing with ultrapure water and ethanol, respectively. Fig. 1. shows a schematic representation of AuNPs modification on the SPGE.

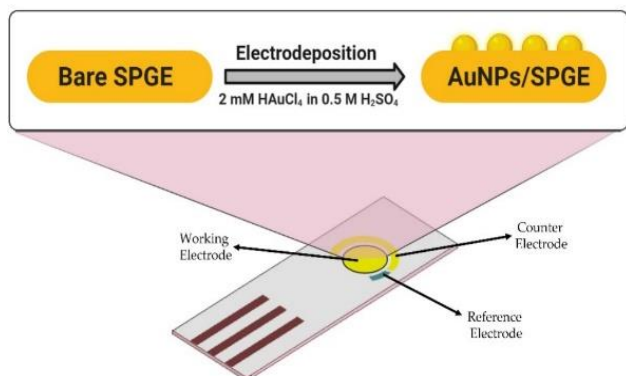


Figure 1. Schematic Illustration of Modification by Using AuNPs on the Electrodeposited SPGE.

## 3. Result

### 3.1. Optimum Deposition Time for AuNPs Modified SPGE by EIS Analysis

It is of great importance to determine the optimum modification time for the SPGE surface with AuNPs. While high modification times cause damage to the electrodes, low modification times can prevent AuNPs from being deposited at a sufficient level on the SPGE surfaces.

Nyquist plots of the impedance responses of bare, surface activated, and AuNPs modified SPGEs with

different deposition times (30 s, 60 s, 90 s, 120 s, and 150 s) are presented in Fig 2. (a), and suitable equivalent circuit model is shown in Fig 2. (b).

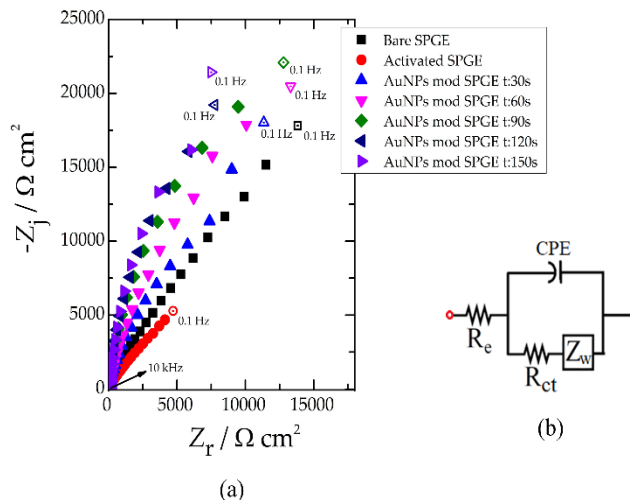


Figure 2. (a) Nyquist Plot of Impedance Responses for AuNPs Modified SPGE with Different Deposition Times from 30 s to 150 s in 2 mM K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] in PBS (1mM). (b) Equivalent Randles Circuit Model for Nyquist Plot.

EIS, based on measuring the current through the cell by applying a periodic AC potential to the system analysis of an electrochemical cell (Lasia, 2002), is a type of transfer function measurement often used in the analysis of the systems (Wang et al., 2021). The frequency-dependent transfer function examines electrochemical systems in detail by measuring the system's response (current, potential) to this perturbation. The impedance, Z, can be expressed as (Wang et al., 2021):

$$Z(\omega) = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}} = \left| \frac{\tilde{V}(\omega)}{\tilde{I}(\omega)} \right| (\cos \phi(\omega) + j \sin \phi(\omega)) = Z_r + j Z_j \quad (1)$$

The variables  $\tilde{V}$  (potential) and  $\tilde{I}$  (current) are phasors, time-independent numbers describing the amplitude and phase of a sinusoidal function.  $\phi$  is the phase angle between the input and output signals (Wang et al., 2021). In equation (1),  $\omega$  expresses the angular frequency, and  $j$  is the imaginary complex number which are defined as:

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

$$j = \sqrt{-1} \quad (3)$$

The Randles equivalent circuit model is shown in Fig. 2. (b) was developed to fit the impedance data of the SPE electrochemical system. The corresponding impedance  $Z$  in the equivalent Randles circuit model can be expressed as (Orazem and Tribollet, 2008):

$$Z = R_e + \frac{R_{ct} + Z_w}{1 + (j\omega)^\alpha (R_{ct} + Z_w)Q} \quad (4)$$

Impedance responses were quantified using the mathematical model depicted in Equation 4, which was based on the suitable equivalent Randles circuit model. The Simplex method of the regression analysis algorithm with the Echem Analyst software built in Gamry was used to fit parameters. The values of the parameters along with their confidence intervals are shown in Figure 3, and the corresponding values in integer notation for the obtained results are demonstrated in Table 1.

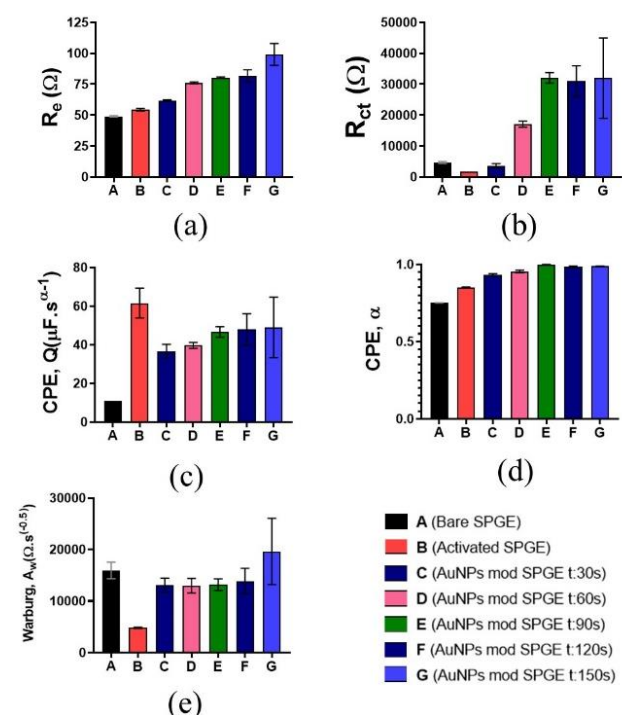


Figure 3. Regression Results with Confidence Intervals for The Equivalent Circuit Model Parameters. (a) Ohmic Resistance,  $R_e$ , (b) Charge-Transfer Resistance,  $R_{ct}$ , (c) CPE Coefficient,  $Q$ , (d) CPE Exponent,  $\alpha$ , (e) Warburg Coefficient  $A_w$ .

Electrolyte resistance ( $R_e$ ) or ohmic resistance refers to the resistance of the contact between the electrode/electrolyte interface, which occurs as a result of inhibition of the transfer of ions from the redox solution. The electrolyte resistance is determined by comparing the voltage recorded by the reference

electrode as a result of the analysis with the input and output voltages of the system. The interception of the real axis of the Nyquist plot in the high frequency region yielded the electrolyte resistance ( $R_e$ ) parameter. The electrolyte resistance (ohmic resistance) of a solution is affected by concentration, temperature, ion type, and effective electrode area (Koç, Morali, Erol, and Avci, 2021a). As shown in Fig. 3 (a), although electrolyte solutions, their concentrations, and environmental conditions are the same, their ohmic resistances seem to increase as the deposition time increases due to the modification of AuNPs on the electrode surfaces. The observed increase in ohmic resistance appears to be due to the change in the active area of the electrodes.

Charge transfer resistance ( $R_{ct}$ ), obtained by the width of the high-frequency capacitive loop, is related to the electrode/electrolyte interface and generally results from the electrochemical reactions taking place on the SPGE surfaces (Wang et al., 2021). The charge transfer resistance is obtained by moving ions in the electrolyte to the electrode and identifying the electrodes surface modification layers. The current flow resulting from charge transfer depends on the concentration of the transferred ions, the potential resulting from the electrochemical reactions, and the products of the reaction. As shown in Fig. 3 (b), it was revealed that the  $R_{ct}$  of SPGE was reduced due to surface activation. The  $R_{ct}$  value increased linearly as the modification time was increased, and after a 90 s modification with AuNPs, the increase in  $R_{ct}$  value disappeared, and the highest value was observed at 90 s followed by a plateau around 120 s and 150 s times. It can be concluded that the error margin of  $R_{ct}$  value increased even more in the deposition times after 90 s.

The region between the electrode surface and the surrounding electrolyte is modeled using a constant phase element (CPE), which is one of the electrical circuit elements. CPE is defined as a defective capacitor with these two charge layers at the interface between electrolyte and the rough electrode surface. As shown in Fig. 3 (c), the modification of AuNPs to the SPGE surfaces resulted in an increase in effective capacitance associated with the CPE coefficient  $Q$ . Its activated surface caused an increase in the capacitance values. While the capacitance (CPE) was 11.04  $\mu F$  before the surface activation, it increased to 61.53  $\mu F$  after the activation. During the activation, the electrode surface is exposed to a negative potential, and as a result, the electrode surface becomes positively charged. The positively charged electrode surface has better electrical conductivity and electron transfer. The higher the capacitance of the electrode before AuNPs modification, the higher its ability to store charges (Borah, Bharali, and Morris, 2017; Iskandar, Abdillah, Stavila, and Aimon, 2018). It was also observed that the capacitance value increased as the deposition time increased. The increase in error of capacitance values was mainly

observed at higher deposition times. CPE exponent  $\alpha$  is an indicator of roughness of the electrode surfaces and the current distribution on the surfaces.  $\alpha$  is usually between 0.5 and 1. A value close to 1 indicates that the roughness is low, the current is evenly distributed over the surface, and the electrode exhibits a capacitive-like behavior (Jorcin, Orazem, Pebere, and Tribollet, 2006). As shown in Fig. 3 (d), modification of AuNPs on the surfaces of SPGE yields a higher CPE exponent. The higher CPE exponent, the more uniform charge distribution on the electrode. The CPE exponent was analyzed to be the highest at 90 s and remained stable within 120 s and 150 s deposition times.

Warburg impedance refers to the ion diffusion occurring at the electrodes in equivalent circuit modeling. As shown in Fig. 3 (e), the Warburg value decreased after the surface activation and then increased again upon AuNPs modification. It can be seen that greater the deposition time led to higher the error value. The regressed all parameters and their confidence levels of the model are presented in Table 1.

Table 1.

Regression Results of Equivalent Circuit Model Parameters and Their  $\pm\sigma$  Confidence Intervals of a Fit of Equation (4) to the Data Represented in Figures 2. (a).

| Parameter             | $R_e$<br>( $\Omega$ ) | $R_{ct}$<br>( $\Omega$ ) | $Q$ ,<br>( $\mu F s^{\alpha-1}$ ) | $\alpha$       | $A_w$ ,<br>( $\Omega s^{0.5}$ ) |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Bare SPGE             | 48.96±<br>0.58        | 4263±293                 | 11.04±0.0<br>1                    | 0.751±0.<br>01 | 15938±16<br>29                  |
| Activated SPGE        | 54.37±<br>1.07        | 1666.62±5.5<br>3         | 61.53±3.7<br>3                    | 0.851±0.<br>03 | 4812±123                        |
| AuNPs mod SPGE t:30s  | 61.80±<br>0.47        | 2606.91±703<br>.4        | 36.64±3.6<br>1                    | 0.942±0.<br>07 | 13089±13<br>60                  |
| AuNPs mod SPGE t:60s  | 76.10±<br>0.76        | 17087±1307.<br>02        | 39.65±1.5<br>4                    | 0.973±0.<br>09 | 12987±14<br>13                  |
| AuNPs mod SPGE t:90s  | 83.31±<br>0.57        | 32045±2687.<br>22        | 46.62±2.6<br>8                    | 0.998±0.<br>11 | 13171±11<br>13                  |
| AuNPs mod SPGE t:120s | 83.65±<br>6.01        | 29950±4990               | 47.93±8.1<br>1                    | 0.984±0.<br>54 | 13879±24<br>62                  |
| AuNPs mod SPGE t:150s | 99.08±<br>5.83        | 31950±1299<br>0          | 48.93±15.<br>68                   | 0.987±0.<br>22 | 19629±64<br>32                  |

### 3.2. SEM Analysis

SEM images of the bare and AuNPs modified SPGE are presented in Fig. 4.

When the SEM image of the working electrode region of the bare and modified SPGEs was examined, it was observed that the bare electrode had a porous structure with occasional indentations and protrusions. After the porous SPGE electrode surface was coated with AuNP, the porosity of the surface was reduced. Therefore, AuNPs modified SPGE process seems to be successful. Also, the significant increase in CPE exponent  $\alpha$  value in Fig. 3. (d) also proves this situation. As the electrodeposition time increased, darkening occurred in the real image of the electrodes due to oxidation. In the analysis of the EIS results in Fig. 3, it is seen that the errors value increase as the deposition time increases.

In addition, Wan et al. reported that blackening occurred at the reference electrode when AuNP modification was made on SPGE (Wan et al., 2015). Therefore, the results of electrochemical examination using EIS and morphological analyses results using SEM are compatible to describe data.

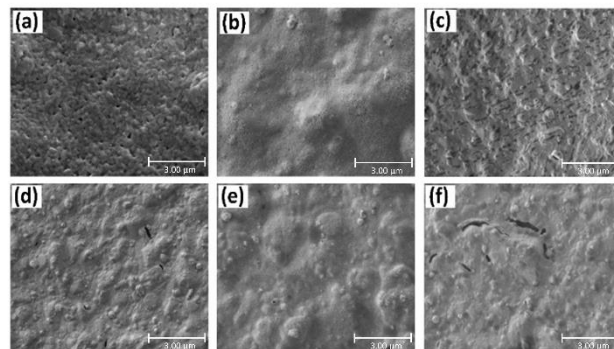


Figure 4. SEM Images of AuNPs on Working Electrode of SPGE at Different Deposition Times; (a) Bare SPGE at t:0s, (b) t:30s, (c) t:60s, (d) t:90s, (e) t:120s, (f) t:150s.

(scale bar: 3  $\mu m$ )

### 4. Conclusion

The performance of commercial SPGEs with AuNPs modification was investigated using a systematic experimental design. In this study, AuNPs electrodeposition was performed on the SPGE surface and optimum deposition time was determined by the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) method. EIS analysis was performed at deposition times of 30, 60, 90, 120, and up to 150 s. The impedance of the resulting circuit model for each modification period was analyzed by modeling the Nyquist plot obtained by EIS analysis with the equivalent circuit model. As a result of the examination, it was seen that the 90 s modification time had the highest  $R_{ct}$  and  $\alpha$  values. It was also observed that the error values in the results of the equivalent circuit model parameter increased after 90 seconds of the accumulation time. After the modification, AuNPs deposited on the SPGE surface were also evaluated by scanning electron microscopy (SEM) in which the SPGE surface was not deformed at the optimum 90 s modification time. However, the deformation occurred on the electrode surface at higher modification times. Therefore, the optimum acceptable deposition time for modification of AuNPs on SPGEs was determined to be 90 s. This approach can be used as a simple and sensitive method for other alternative modifications in the literature for the determination of target analytes in the real complex samples.

### Acknowledgments

This study was supported by TÜBİTAK (1004-Regenerative and Restorative Medicine Research and

Applications, project numbers of 20AG003 and 20AG031) and Eskisehir Osmangazi University (Scientific Research Foundation, project numbers of 2018-2065 and 2017-1911). The authors also would like to thank Dr. Ugur Morali, Dr. Ahmet Emin Topal, and Pelin Ozpinar for his great help and fruitful discussions.

### Author Contributions

Yücel Koç designed the experiment, analyzed the electrochemical data, conceptualization, writing – original draft, drew the figures, and discussed the results. Huseyin Avci conceptualized the paper, supervision, project administration, discussed the results, and reviewed the manuscript

### Conflict of Interest

There is no conflict of interest.

### References

- Apetrei, I. M., & Apetrei, C. (2018). A modified nanostructured graphene-gold nanoparticle carbon screen-printed electrode for the sensitive voltammetric detection of rutin. *Measurement* 114, 37-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.020>
- Avci, H., Anil H., Koc, Y., Morali, U., & Erol, S. (2019). Developing biosensors for food safety analysis. *4th International Congress on Biosensors, Çanakkale, Turkey*.
- Avci, H., Güzel, F. D., Erol, S., & Akpek, A. (2018). Recent advances in organ-on-a-chip technologies and future challenges: a review. *Turkish Journal of Chemistry*, 42(3), 587-610. doi: <https://doi.org/10.3906/kim-1611-35>
- Borah, D., Bharali, D. K., & Morris, M. A. (2017). Lignocellulosic-based activated carbon prepared by a chemical impregnation method as electrode materials for double layer capacitor. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 7(02), 175. doi: <https://doi.org/10.4236/aces.2017.72013>
- Charoenkitamorn, K., Chailapakul, O., & Siangproh, W. (2015). Development of gold nanoparticles modified screen-printed carbon electrode for the analysis of thiram, disulfiram and their derivative in food using ultra-high performance liquid chromatography. *Talanta*, 132: 416-423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.09.020>
- Couto, R. A. S., Lima, J. L. F. C., & Quinaz, M. B., (2016). Recent developments, characteristics and potential applications of screen-printed electrodes in pharmaceutical and biological analysis. *Talanta*, 146, 801-814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.011>
- Galeotti, M., Giammanco, C., Cinà, L., Cordiner, S., & Di Carlo, A., (2015). Synthetic methods for the evaluation of the State of Health (SOH) of nickel-metal hydride (NiMH) batteries. *Energ. Convers. Manage*, 92,1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.040>
- Garbioglu, D., Demir, N., Ozel, C., Avci, H., & Dincer, M. (2021). Determination of therapeutic agents efficiencies of microsatellite instability high colon cancer cells in post-metastatic liver biochip modeling. *The FASEB Journal*, 35(9), e21834. doi: <https://doi.org/10.1096/fj.202100333R>
- Güzel, F. D., Ghorbanpoor, H., Dizaji, A. N., Akcakoca, I., Ozturk, Y., Kocagoz, T., Corrigan, D., & Avci, H. (2021). Label-free molecular detection of antibiotic susceptibility for Mycobacterium smegmatis using a low cost electrode format. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 68(6), 1159-1166. doi: <https://doi.org/10.1002/bab.2037>
- Huang, D., Liao, F., Molesa, S., Redinger, D., & Subramanian, V. (2003). Plastic-compatible low resistance printable gold nanoparticle conductors for flexible electronics. *Journal of the electrochemical society*, 150(7), G412. doi: <https://doi.org/10.1149/1.1582466>
- Iskandar, F., Abdillah, O. B., Stavila, E., & Aimon, A. H., (2018). The influence of copper addition on the electrical conductivity and charge transfer resistance of reduced graphene oxide (rGO). *New Journal of Chemistry*, 42(19), 16362-16371. doi: <https://doi.org/10.1039/C8NJ03614D>
- Jorcin, J.-B., Orazem, M. E., Pébère, N., & Tribollet, B. (2006). CPE analysis by local electrochemical impedance spectroscopy. *Electrochimica Acta*, 51(8-9), 1473-1479. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2005.02.128>
- Koc, Y., Morali, U., Erol, S., & Avci, H. (2019). Investigation of immobilization process of screen printed carbon electrode for an advanced biosensor

- a detailed characterization. *IV. International Scientific and Vocational Studies Congress - Engineering*, Ankara, Turkey.
- Koç, Y., Morali, U., Erol, S., & Avci, H. (2021a). Investigation of electrochemical behavior of potassium ferricyanide/ferrocyanide redox probes on screen printed carbon electrode through cyclic voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy. *Turkish Journal of Chemistry*, 45(6). doi: <http://doi.org/10.3906/kim-2105-55>
- Koç, Y., Morali, U., Erol, S., & Avci, H. (2021b). Electrochemical investigation of gold based screen printed electrodes: an application for a seafood toxin detection. *Electroanalysis*, 33(4), 1033-1048. doi: <https://doi.org/10.1002/elan.202060433>
- Lasia, A. (2002). Applications of electrochemical impedance spectroscopy to hydrogen adsorption, evolution and absorption into metals. In *Modern aspects of electrochemistry* (pp. 1-49). Springer, Boston, MA. doi: [https://doi.org/10.1007/0-306-47604-5\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-47604-5_1)
- Merli, D., Ferrari, C., Cabrini, E., Dacarro, G., Pallavicini, P., & Profumo, A. (2016). A gold nanoparticle chemically modified gold electrode for the determination of surfactants. *RSC advances*, 6(108), 106500-106507. doi: <https://doi.org/10.1039/C6RA22223D>
- Morali, U. (2020). Synergistic influence of charge conditions on electrochemical impedance response of LiNiMnCoO<sub>2</sub>/C coin cells - Complementary statistical analysis. *Journal of Energy Storage*, 32, 101809. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101809>
- Orazem, M. E., & Tribollet, B. (2008). Electrochemical impedance spectroscopy. *New Jersey*, 383-389.
- Özel, C., Koç, Y., Topal, A., Ebrahimi, A., Şengel, T., Ghorbanpoor, H., Doğan Guzel, F., Uysal, O., Eker Sarıboyacı, A. & Avci, H. (2021). Investigation of 3d culture of human adipose tissue-derived mesenchymal stem cells in a microfluidic platform. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 22(8th ULPAS-Special Issue 2021), 85-97. doi: <https://doi.org/10.18038/estubtda.983881>
- Samie, H. A., & Arvand, M., (2020). Label-free electrochemical aptasensor for progesterone detection in biological fluids, *Bioelectrochemistry*, 133, 107489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2020.107489>
- Sanzo, G., Taurino, I., Antiochia, R., Gorton, L., Favero, G., Mazzei, F., Micheli, & Carrara, S. (2016). Bubble electrodeposition of gold porous nanocorals for the enzymatic and non-enzymatic detection of glucose. *Bioelectrochemistry*, 112, 125-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2016.02.012>
- Shaegh, S. A. M., Pourmand, A., Nabavinia, M., Avci, H., Tamayol, A., Mostafalu, P., & Zhang, Y. S. (2018). Rapid prototyping of whole-thermoplastic microfluidics with built-in microvalves using laser ablation and thermal fusion bonding. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 100-109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.138>
- Shin, S. R., Kilic, T., Zhang, Y. S., Avci, H., Hu, N., Kim, D., ... & Khademhosseini, A. (2017). Label-Free and regenerative electrochemical microfluidic biosensors for continual monitoring of cell secretomes. *Advanced Science*, 4(5), 1600522. doi: <https://doi.org/10.1002/advs.201600522>
- Shin, S. R., Zhang, Y. S., Kim, D. J., Manbohi, A., Avci, H., Silvestri, A., & Khademhosseini, A. (2016). Aptamer-based microfluidic electrochemical biosensor for monitoring cell-secreted trace cardiac biomarkers. *Analytical chemistry*, 88(20), 10019-10027. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b0202>
- Singh, M., Jaiswal, N., Tiwari, I., Foster, C. W., & Banks, C. E. (2018). A reduced graphene oxide-cyclodextrin-platinum nanocomposite modified screen printed electrode for the detection of cysteine. *J. Electroanal. Chem.* 829, 230-240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.09.018>
- Stine, K. J. (2019). Biosensor Applications of Electrodeposited Nanostructures. *Applied Sciences*, 9(4),797. doi: <https://doi.org/10.3390/app9040797>
- Taurino, I., Sanzò, G., Antiochia, R., Tortolini, C., Mazzei, F., Favero, G., Micheli, & Carrara, S. (2016). Recent



- advances in third generation biosensors based on Au and Pt nanostructured electrodes. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 79, 151-159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.01.020>
- Wan, H., Sun, Q., Li, H., Sun, F., Hu, N., & Wang, P. (2015). Screen-printed gold electrode with gold nanoparticles modification for simultaneous electrochemical determination of lead and copper. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 209, 336-342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.11.127>
- Wang, S., Zhang, J., Gharbi, O., Vivier, V., Gao, M., & Orazem M. (2021). Electrochemical impedance spectroscopy. *Nat Rev Methods Primers*, 1, 41. doi: <https://doi.org/10.1038/s43586-021-00039-w>
- Wolff, N., Harting, N., Heinrich, M., Röder, F., & Krewer, U. (2018). Nonlinear frequency response analysis on lithium-ion batteries: a model-based assessment. *Electrochimica Acta*, 260, 614-622. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.097>
- Zeng, Y., Zhu, Z., Du, D., & Lin, Y. (2016). Nanomaterial-based electrochemical biosensors for food safety. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 781, 147-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.10.030>
- Zhang, Y. S., Aleman, J., Shin, S. R., Kilic, T., Kim, D., Mousavi Shaegh, S. A., & Khademhosseini, A. (2017). Multisensor-integrated organs-on-chips platform for automated and continual in situ monitoring of organoid behaviors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(12), E2293-E2302. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.161290611>
- Zhang, Y., Jiang, X., Zhang, J., Zhang, H., & Li, Y. (2019). Simultaneous voltammetric determination of acetaminophen and isoniazid using MXene modified screen-printed electrode. *Biosensors and Bioelectronics*, 130, 315-321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.01.043>
- Zhu, W., Zhu, A., & Shu, Y. (2022). GNP/CNT nanocomposite coated screen-printed electrode for point-of-care testing of dopamine in human serum. *Progress in Organic Coatings*, 170, 106983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106983>

## PERFORMANCE COMPARISON OF PARALLEL AND SERIES CHANNEL COLD PLATES USED IN ELECTRIC VEHICLES BY MEANS OF CFD SIMULATIONS

Ayhan Nazmi İLİKAN<sup>1\*</sup>, Ahmet YAYLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TÜBİTAK RUTE, Kocaeli, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9497-2406>

<sup>2</sup> TÜBİTAK RUTE, Kocaeli, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-4404-5609>

### Keywords

Cold plate  
Li-ion battery  
CFD  
Thermal resistance  
Pressure drop

### Abstract

*In a cold plate low thermal resistance thus high heat transfer rate and also low pressure drop is desired. In this study, performances of three liquid cold plates with different configurations are investigated for the thermal regulation of li-ion battery cells in electric vehicle applications. The outer dimensions of the cold plates are kept identical in order to use the cold plates in the same battery module under series, parallel and series-parallel configurations. The performances of the cold plates are investigated by using Computational Fluid Dynamic (CFD) tools. ANSYS Fluent commercial software is used to calculate the flow field and the thermal field inside the cold plates for various flowrates. The performances of the cold plates are obtained by 3D simulations that solve Navier-Stokes, energy and continuity equations in a steady manner. The flow is assumed to be laminar for all the cases since calculated Reynolds number stay in laminar flow limits. The results show that the pressure drop of the coolant liquid of parallel flow arrangement is significantly lower than the serial arrangement. However, high thermal resistance and low uniformity of the temperature through the cold plate is observed compared to the serial case, as expected. As a result, series-parallel configuration results show that the trade-off between pressure drop and heat transfer rate can be optimized by applying a serpentine shape while keeping the flow arrangement as parallel as possible and increasing the length of the cross channels.*

## ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PARALEL VE SERİ KANALLI SOĞUTMA PLAKALARININ PERFORMANSLARININ HAD YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

### Anahtar Kelimeler

Soğutucu levha  
Li-iyon batarya  
HAD  
Termal direnç  
Basınç kaybı

### Öz

*Soğutucu levhalarda düşük ısı direnç, dolayısıyla yüksek ısı transferi ve düşük basınç kaybı arzu edilmektedir. Bu çalışmada, elektrikli araç uygulamalarında li-iyon pil hücrelerinin termal regülasyonu için, farklı konfigürasyonlara sahip sıvı soğutmalı üç soğutucu levhanın performansları incelenmiştir. Seri, paralel ve seri-paralel konfigürasyonlarda oluşturulan soğutucu levhaların aynı batarya modülünde kullanılabilirmeleri için dış boyutları birbiriyle aynı tutulmuştur. Soğuk plakaların performansları, HAD araçları kullanılarak incelenmiştir. Çeşitli akış hızlarında, soğuk plakaların içindeki akış alanını ve termal alanı hesaplamak için ANSYS Fluent ticari yazılımı kullanılmıştır. Soğuk plakaların performansları, sürekli rejimde Navier-Stokes, enerji ve süreklilik denklemleri 3 boyutlu simülasyonlar ile çözülerek elde edilmiştir. Reynolds sayısı laminer akış limitleri içerisinde hesaplandığından, tüm akış durumları için laminer akış seçilerek çözülmüştür. Simülasyonlar sonucunda, paralel akış geometrisindeki soğutucu sıvının basınç kaybının seri olana göre önemli ölçüde daha düşük olduğu görülmüş, beklenildiği gibi, paralel akış geometrisinde seriye göre yüksek ısı direnç ve düşük sıcaklık homojenliği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, basınç düşüşü ve ısı transferi arasındaki dengenin, akış düzeninin mümkün olduğunca paralel tutulup çapraz kanalların ise uzunluğunun arttırıldığı bir serpantin şekli uygulanarak optimize edilebileceğini seri-paralel konfigürasyon sonuçları göstermektedir.*

\* Sorumlu yazar; e-posta : ayhan.ilikan@tubitak.gov.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

|                    |              |                  |              |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi |              | Research Article |              |
| Başvuru Tarihi     | : 21.06.2022 | Submission Date  | : 21.06.2022 |
| Kabul Tarihi       | : 16.09.2022 | Accepted Date    | : 16.09.2022 |

## 1. Introduction

Number of electric vehicles on roads is continuously increasing as a result of developments in battery technology. In the last decade, specific power and specific energy of battery cells have been increased significantly due to advancements in cell chemistries. Typically, these high power and high energy battery cells can withstand approximately 3C for continuous operation and 10C for short term working conditions (Jung, Jang, Hassoun, Sun and Scrosati, 2011), where 1C rate denotes nominal discharge/charge current that a battery cell is exposed to. Resistive heat generation during charge/discharge is known to be approximately proportional to the square of current applied (Schöner and Ogborn, 1987). Thus, high current rates require robust cooling system that can dissipate generated heat and keep battery cells at safe temperature levels. Besides, uniform temperature distribution among battery cells is another must to keep battery packs safe and to extend lifetime of cells. To do so, a maximum temperature difference of 3-5° C is frequently used as a design criterion in battery cooling applications (Dincer, Hamut and Javani, 2017; Warner, 2015). Electric vehicle battery packs usually consist of several battery modules that can be interchanged easily in case of malfunction or failure. These modules typically consist of 4-20 battery cells. In early electric vehicle applications, air cooling were used whereas it is rapidly being replaced by liquid cooling due to aforementioned high capacity cooling demands. As an example, a comparative CFD study conducted by Chen, Jiang, Yang and Pesaran (2016) shows that air cooling requires considerably more parasitic power than liquid cooling to keep the same average temperature of the same module under same operating conditions. A common application to increase heat transfer is to place liquid cold plate on one of the surfaces of battery modules and connect it to thin aluminum plates (cooling fin) situated between the battery cells. In that case, the liquid does not circulate through the thin plates. Thus, generated heat is transferred to the cold plate medium via conduction first, from the cell to the thin plate, then to the cold plate material and finally to the liquid. On the other hand, there are some examples that can provide more effective cooling by circulating the cooling liquid through the thin plates as well. However, this time complexity of the design increases that may bring potential leakage problems. In an experimental study conducted by Teng and Yeow (2012), two liquid cooling systems for electric vehicles, one with thin plates and one with liquid filled microchannels, are designed and compared to each other. They determined that the one with microchannels has several advantages such as more uniform temperature distribution and possibility better cooled

cell terminals if the microchannels are optimized for a particular cell. However, the drawback is indicated to be considerably higher cost for a low production volume. Teng, Ma, Yeow and Thelliez (2011) also studied air cooling and reported that if no plate is used and direct air cooling is applied, worse temperature uniformity is achieved since in cold plate case, the heat absorbed by the plate is easily distributed through the plate that can help redistribution of the temperature on the cell surface. Another possibility to provide uniform temperature distribution while keeping maximum temperature at low levels is to use dual cold plates. Yeow, Teng, Thelliez and Tan (2012) performed simulations by using both single and dual cold plates and stated that dual plate can be used for busbar and terminal cooling. Panchal, Mathewson, Fraser, Culham and Fowler (2015) claims non-uniform temperature distribution in spite of using dual cold plates with microchannels filled with liquid. Yeow and Teng (2013) experimented with new materials instead of thin aluminum plates between cells such as thermal pyrolytic graphite materials. This material is reported to have significantly higher conductivity than aluminum for the same density which results in much more uniform temperature distribution with lower temperature on cell surfaces.

The above-mentioned studies incorporate a wide range of cooling systems. If liquid cooling is chosen, whether thin plates between battery cells have microchannels or not, one of the major factors that influence cooling system performance is flow structure within cold plate. A low thermal resistance with low pressure drop cold plate is desired for maximum heat transfer with low external energy. Virtually infinite possible flow configurations can be designed, but in principle, series or parallel flow configurations are studied in open literature by taking channel cross section, shape, length etc. as working parameters (Datta and Majumdar, 1980; Solowitz and Mainka, 2011; Haifeng, Ze-Chang, Xuezhe and Shugiang, 2015; Jarret, 2011; Kandlikar and Hayner, 2009; Rahman, Rahman, Mahlia, and Sheng, 2016).

This study deals with the comparison of thermal and pressure drop performances of three liquid cold plates designed for an electric vehicle battery module. The battery modules' outer dimensions are fixed by design criteria and thus height, width and depth of the liquid cold plate remain constant. Total heat generated by cells inside the module for severe working conditions is applied as a boundary condition to the top surface of the cold plates for all the simulations. One series, one parallel and one series-parallel flow configurations through the liquid cold plate are designed. Detailed analyses are performed for design flowrate and the

simulations are extended to higher and lower flowrates to obtain full performance charts that would enable parametric studies.

**2. Numerical Procedure**

Numerical procedure consists of geometry creation, mesh creation, grid independency tests, preprocess and application of boundary conditions, solution process and post-process phases. Detailed information is provided in the following subsections of this paper.

**2.1 Geometry creation**

Cold plates are designed to keep li-ion battery cells in effective but safe temperature levels. Optimum temperature range of li-ion battery cells are stated between 15-35° C (Khan, Swierczynski and Kaer, 2017). Thus, cooling capacity of a cold plate geometry is vital for performance, cycle-life and safety of battery cells. In this study, a parallel flow configuration within the cold plate is considered as a baseline and several geometry changes has been made in order to obtain temperature distribution on the top surface (the surface adjacent to the heat source) as uniform as possible. These geometry modifications include the contraction and the expansion angles of the manifolds within the cold plate. Furthermore, the number and the width of the channels perpendicular to the manifolds are also modified for the same purpose. Finally, the geometry shown in Fig. 1, namely “Parallel” is obtained. Another well-known candidate is a “Series” channel configuration. This time, channel width is kept constant from inlet to outlet that is narrower compared to the parallel case. The reason of decreasing the width compared to the “Parallel” channel case is related to number of cycles of the channel within the cold plate that would be insufficient if the width of the channel was kept the same as the first “Parallel” case. Finally, a combination of series and parallel configuration shown again in Fig. 1 is a developed version of the perpendicular channels in “Parallel” case. These channels do not traverse directly to the exit manifold, but make small cycles as in “Series” configuration case.

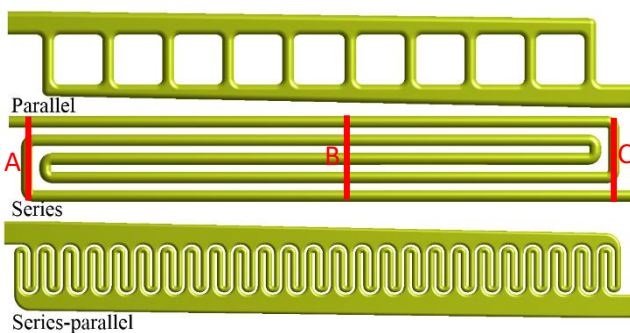


Figure 1. Designed geometries

**2.2 Mesh creation and grid independency**

The computational grid is created by using ANSYS Mesh; cutcell method supported by ANSYS Fluent is applied to obtain high quality hexahedral elements that enables better convergence characteristics. Besides, the cells can be generated rather rapidly using this method (ANSYS, 2011). A grid independency test is performed to make the solution independent of the cell size. The variation of the maximum temperature on the top surface of the cold plate in function of the total number of mesh elements is shown in Fig. 2.

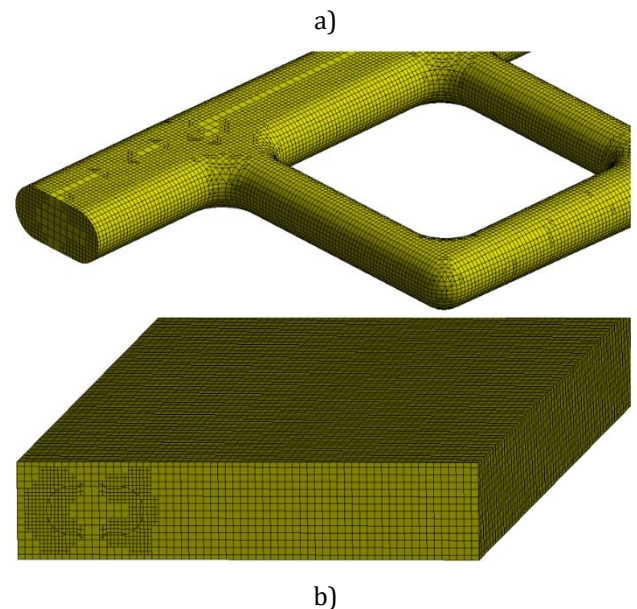
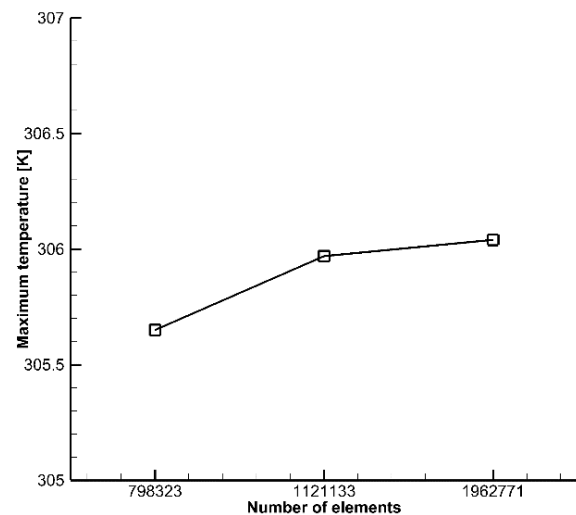


Figure 2. Grid independency study results: a) Maximum temperature variation, b) Generated mesh

Figure 2a shows that no significant change of maximum temperature can be seen from second grid to the third one. Thus, the grid with 1121133 elements is used for the rest of the calculations. The mesh created in that case is shown in Fig. 2b.

**2.3 Simulation setup**

The geometry consists of two volumes. The solid volume represents the aluminum cold plate block and the fluid volume represents the fluid circulating within the internal channels inside the block. All the simulations are performed for 3D and steady conditions by using commercial finite volume solver ANSYS Fluent. Water at 20°C is applied at the inlet of the cold plates as the working fluid. The calculation of the Reynolds number is based on the hydraulic diameter calculated by using both the inlet of the pipe and the micro channel diameter show that the flow is laminar. Thus, no turbulence model is needed to be used during any calculations. The governing equations are solved by pressure based coupled solver with double precision provided by the code. Second order upwind spatial discretization scheme is used to obtain the solutions of all the equations. Convergence criteria is set as  $10^{-5}$  for the residuals of all the transport equations. For all the three cases, the simulations are performed by applying exactly the same boundary and solver configurations.

**2.4 Boundary conditions**

The names of the fluid and the solid surfaces and the corresponding boundary conditions are shown in Fig. 3 and Table 1, respectively. For all the simulations, the gauge pressure at the outlet of the channel is set as 0 Pa but the mass flow at the inlet of the channel is varied to obtain the performances of the cold plates at different flowrates.

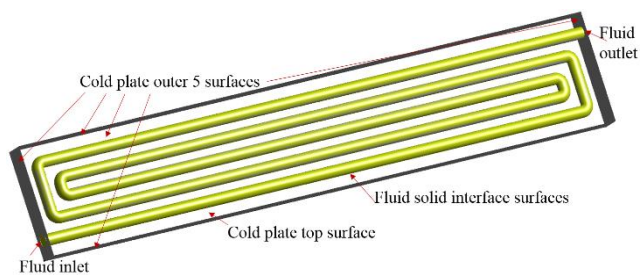


Figure 3. Boundary surfaces

On the other hand, the temperature of the fluid at the inlet is kept as 293 K for all the simulations. The interfaces that allows heat to pass between the fluid and the solid volumes are generated automatically by the code. The top surface of the cold plate is considered as the surface that absorbs heat created by the battery cells inside the module. Thus, a constant heat rate value of 100 W-considered as the maximum heat generated during the maximum permitted current flows through the cell- is distributed uniformly to that surface as a heat flux. This value is chosen by estimating the total heat generated by the cells inside the module. 3C continuous discharge is assumed to be the design condition and the module is designed to have 2 cold plates that means total heat generated inside the module is 200 W. In the end, the rate of the heat that should be absorbed from one cold plate is calculated as 100 W. The other five outer

surfaces of the cold plate are considered as insulated since the cold plate is covered by the casing of the module that may prevent the heat to be dissipated to the environment. The authors declare that research and publication ethics were followed in this study.

Table 1

| Boundary Surfaces               |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| Boundary Surface                | Boundary Condition |
| Fluid Inlet                     | Mass flow inlet    |
| Fluid Outlet                    | Pressure outlet    |
| Fluid-solid interface surfaces  | Coupled wall       |
| Cold plate top surface          | Uniform heat flux  |
| Cold plate other outer surfaces | Adiabatic          |

**3. Results and Discussion**

The simulations for all the three configurations are performed for several flowrates that help to build performance charts shown at the end of the following subsections. The detailed analysis of the flowfield and temperature field are only investigated for the design flowrate that is 0.0036 kg/s which corresponds approximately to 0.2 L/min.

**3.1 Flowfield investigation**

The flowfield corresponding to the three configurations obtained at a midsection of the cold plate for the design flowrate are shown in Fig. 4. The pressure contours show that the order of magnitude corresponding to the pressure loss is the same for parallel and series-parallel cases, while the series case has a 25 times larger pressure loss. This is an expected phenomenon since sum of pressure losses for parallel channels are counted as the same regardless of the number of the channels; that is already known from Bernoulli's principle. On the other hand, the width of the channel of the series configuration is narrower that causes higher velocity within the channel for the same flowrate. Again, it is known that pressure drop is directly proportional to the square of the velocity that is the first cause of the increase of the pressure loss.

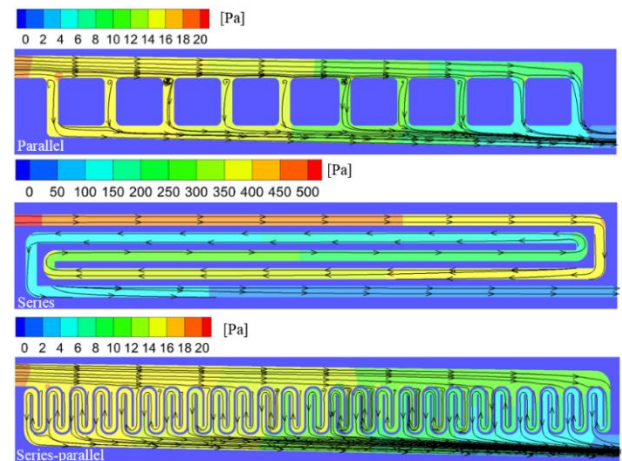


Figure 4. Mid surface pressure distribution (100W, 0.2 L/min)

The second reason is related to the configuration: For the “Series” case, the channel advances serially from the inlet to the outlet that results in cumulative pressure drop. The investigation of the pressure contours and the streamlines show that nearly the same flowrates within the cross channels has been achieved in “Series-parallel” case that has also positive influence on the low pressure loss. This uniformity is provided by changing shape of the inlet and exit manifolds and the width and number of the cross channels. On the other hand, uniform flow distribution is desired not only for low pressure drop but also to achieve uniform temperature distribution. Further investigations of the temperature field are made in the following subsection.

**3.2 Temperature distributions**

The temperature distribution corresponding to three configurations for the design flowrate obtained at the top surface adjacent to the heat source are shown in Fig. 5b. The contours show that the average, the minimum and the maximum temperature levels are higher in “Parallel” case. The exact values can be read from Table 2. Besides, Table 2 shows that the difference between maximum and minimum temperature is 6.60 K for “Parallel” case. This value is the highest one compared to the other two cases; and this is an unwanted situation that indicates non-uniformity. When Fig. 5 is examined further, one may expect to obtain the highest temperature region for each case at the lower right corner that is close to the exit of all the three channels. In that region, the cooling fluid is already heated up that is expected to decrease the cooling effect. This effect occurs for “Parallel and “Series-parallel” cases at low flowrates shown in Fig. 5a. Temperature contours for these cases show a gradual increase from left to the right since low temperature fluid enters to the domain from the left side. Isolines are almost vertical due to the relatively slower flow compared to the design flowrate, passing through vertical channels. On the other hand, “Series” case shows the maximum temperature at the central bottom region instead of the right side. This can be understood more easily by taking imaginary vertical cross sections at the left, centre and right sides of the cold plate in Fig. 1. The regions around left section (Section A) is already close to the inlet of the domain where the cooling fluid is still colder that helps better cooling. Also, due to the geometrical configuration, the working fluid in the vertical part of the channel corresponding to the Section C is not far away from the entrance thus it is also colder compared to the rest of the channel that makes spirals through the central regions. Besides, the left and the right sections (Section A and C) feels more mass flow due to the vertical passages of the channel around these positions, thus more cooling effect than central section plane (Section B). As a result, the temperature aggregates in the central section and the bottom of the Section B shows a higher temperature compared to other regions. For this “Series” case, the

same effect can be seen at the design flowrate as well (Fig. 5b). When it comes to “Parallel” and “Series-parallel” cases, the design flowrate provides the flow passing almost equally through the vertical channels, however relatively higher velocity compared to low flowrates causes increased mass flow at the last channels. This results in a similar behavior with the “Series” case. Lower right corner of the “Series-parallel” and “Parallel” cases exposes to a large manifold with an increasing height from left to the right. That large manifold at the lower right corner provides more mass flow and thus better cooling compared to the centre of the bottom region. Similar phenomenon occurs at the upper left manifold as well. Finally, for the reasons explained above, for the design flowrate, the maximum temperature for all the three configurations occurs at the bottom central position.

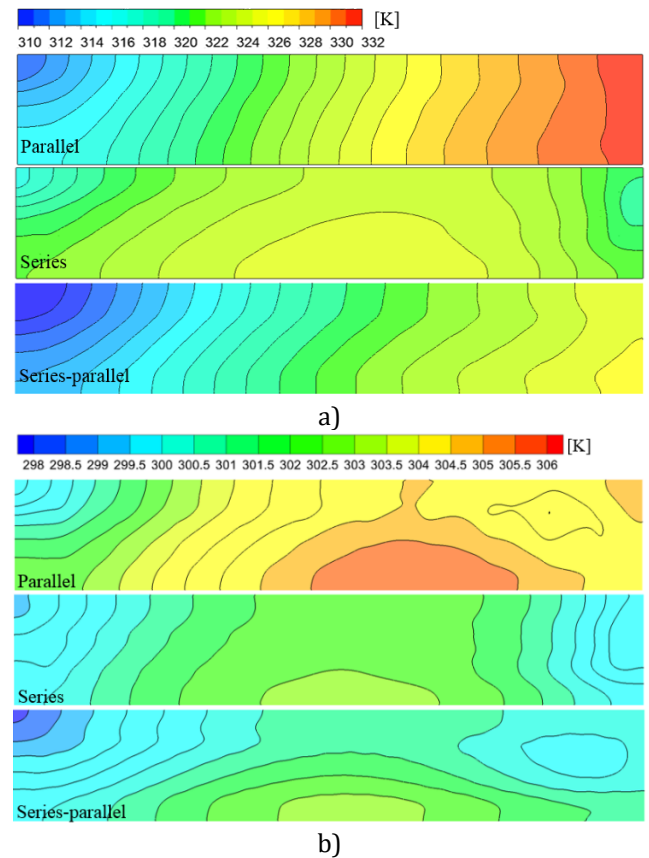


Figure 5. Top surface temperature distribution for a) low (100W, 0.05 L/min), b) design flowrate (100W, 0.2 L/min)

As explained before, a maximum value of 3-5 K is desired for battery cells. This goal is achieved for series case with 3.85 K and a small penalty nearly occurs in series-parallel case with 4.81 K. Though the values obtained in this study seems to reflect only the temperature distribution on the cold plate, one should keep in mind that higher uniformity of temperature in the cold plate results in higher uniformity of temperature inside the battery cell.

Table 2  
Top surface temperature values (100W, 0.2 L/min)

| Temperature (K)          | Parallel | Series | Series-Parallel |
|--------------------------|----------|--------|-----------------|
| Area Weighted Avg. Temp. | 304.06   | 301.44 | 300.99          |
| Surface Max. Temp.       | 305.97   | 302.69 | 302.69          |
| Surface Min. Temp.       | 299.37   | 298.84 | 297.88          |
| Surface ΔT               | 6.60     | 3.85   | 4.81            |

3.3 Performance charts

As mentioned before, for a better comparison of three cold plates, the simulations are extended to lower and higher flowrates. The performances of the cold plates are shown by thermal resistance and pressure drop vs. flowrate charts as these are the information generally provided in the literature and product catalogues. The corresponding charts are shown in Figure 6. Normalized thermal resistance that is preferred frequently by the manufacturers is used in the charts. This makes the resistance independent of the heat transfer area.

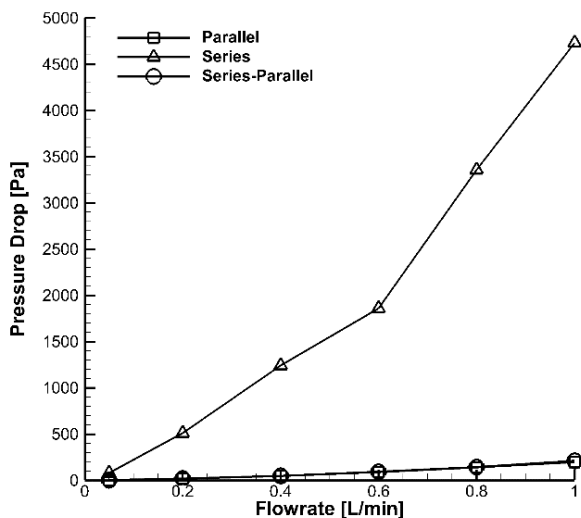
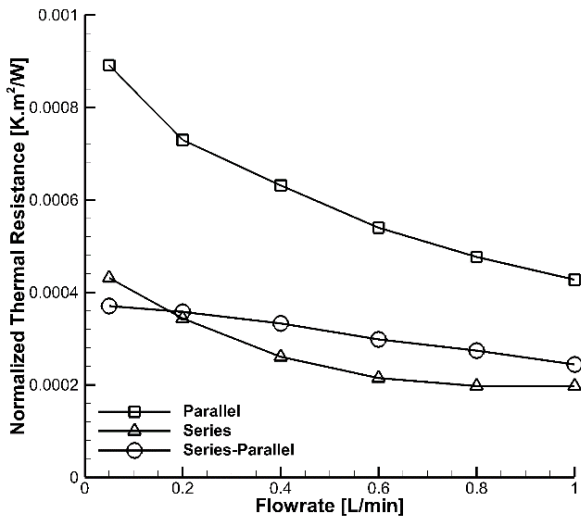


Figure 6. Normalized thermal resistance comparison and pressure drop comparisons

The formula used to calculate the normalized thermal resistance is shown in Equation (1).

$$R_n = (T_{top\_max} - T_{fluid\_out}) / \dot{Q}_{top} \quad (1)$$

Figure 6 shows that normalized resistance decreases when flowrate increases for all the configurations. The trend and the inclinations of the curves of the parallel and series cases are similar except that the one of the series-parallel case is being more flat. The normalized thermal resistance of the “Parallel” case is the highest and the one of the “Series” is the lowest for high flowrates but these values approaches to each other and the grading is reversed for “Series” and “Series-parallel” cases at lower flowrates. The variation of the maximum temperature on the cold plate with the flowrate is shown in Fig. 7. Top surface maximum temperature values are very close in series and “Series-parallel” cases and are lower than the one of “Parallel” case. One should emphasize that the maximum temperature decreases with the flowrate. Although the detailed analyses are performed for the design flowrate in this study, this phenomenon shows that one should take into consideration all the performance map if flowrate is a parameter during real conditions. On the other hand, Figure 6 shows that pressure drops of “Parallel” and “Series-parallel” cases seem to be still comparable for all flowrates while the one of the “Series” case diverges further at high flowrates. This may be expected since pressure drop increase is proportional to square of velocity already mentioned in Section 3.1. On the other hand, the slope of the curve is much lower for the “Series-parallel” and “Parallel” cases. This is also expected since distribution and recollection of the parallel channels result in the same pressure loss through all parallel channels. This causes a low pressure drop compared to a long serial channel. When flowrate increases, the pressure drop difference between “Series” and “Series-parallel” or “Parallel” case shows an obvious divergence between the curves shown in Fig. 6. One should note that when Fig. 1 is investigated, in “Parallel” case, flow enters from a large manifold and the flow is divided to 10 horizontal channels. On the other hand, for “Series-parallel” case, this number increases to 25 with some spirals inside. These spirals increase the blockage to some degree by extending the length of the channel that increase pressure drop. However, increasing the number of the vertical channels compared to “Parallel” case decreases the blockage in front of the flow that provides more flow passing through the channels to the lower manifold. This compromise provides keeping the pressure drop of the “Series-parallel” case at the same order of magnitude with the “Parallel” one. Besides, one should remind that several design attempts are performed by taking number of the channels and the radius of curvature at the inlet of the vertical channels to obtain a low pressure loss, already mentioned in Section 2.1.

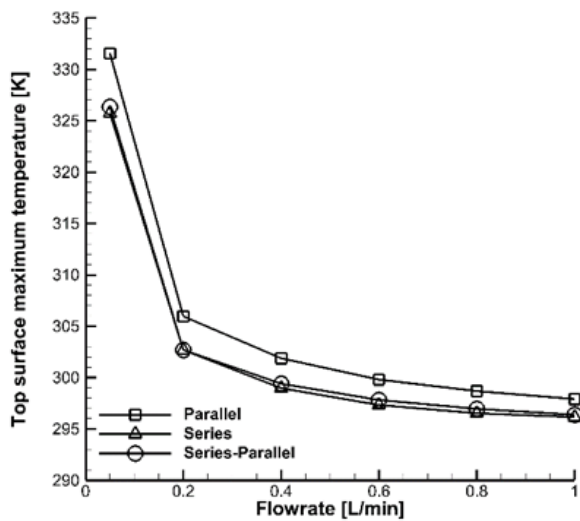


Figure 7. Comparison of top surface maximum temperature values

#### 4. Conclusions

Three liquid cold plates having same outer dimensions but different internal flow configurations are designed and their performances are compared by means of CFD simulations. The following conclusions are observed:

- 1) The “Series” flow configuration shows lowest thermal resistance for the design flowrate that leads to low temperature on the surface but the pressure drop is much larger than the other cases.
- 2) The “Parallel” flow arrangement has highest thermal resistance for the design flowrate that leads to high temperature on the surface but the pressure drop is considerably lower compared to “Series” configuration case.
- 3) The “Series-parallel” flow arrangement has both low thermal resistance and low pressure drop for the design flowrate.

Series-parallel flow configuration can be a suitable compromise between the pressure drop and the heat transfer. It is possible to introduce further enhancements by designing cold plates with different series-parallel configurations.

#### Acknowledgment

Authors would like to thank TUBITAK Rail Transport Technologies Institute (RUTE) for the infrastructure used for this study.

#### Authorship Contributions

In this study; Ayhan Nazmi ILIKAN contributed in the fields of literature review, methodology, simulations, writing; Ahmet YAYLI, contributed in the fields of preparation of CAD models and literature review.

#### Conflict of Interest

The author declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### Nomenclature

|           |  |
|-----------|--|
| $\dot{Q}$ | heat transfer rate, [W]  |
| $R_n$     | normalized thermal resistance, [ $\text{Km}^2\text{W}^{-1}$ ]                  |
| Re        | Reynolds number (=velocity x characteristic length / kinematic viscosity), [-] |
| T         | temperature, [K]   |

#### Subscripts

|           |  |
|-----------|--|
| N         | normalized   |
| To        | top surface of the cold plate (adjacent to heat source)                  |
| top-max   | maximum value at top surface of the cold plate (adjacent to heat source) |
| fluid-out | fluid property at outlet cross section from the cold plate               |

#### References

- ANSYS FLUENT User's Guide 14.0. (2011). Modelling flows using sliding and dynamic meshes, ANSYS, Inc., 11, 610-612. Retrieved from <https://www.afs.enea.it>.
- Chen, D., Jiang J., Kim, G., Yang, C., Pesaran, A. (2016). Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells, *Applied Thermal Engineering*, 94(1), 846-854. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.015>.
- Datta, A.B., Majumdar, A.K. (1980). Flow distribution in parallel and reverse flow manifolds, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2(4), 253-262. doi: [https://doi.org/10.1016/0142-727X\(80\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0142-727X(80)90019-3).
- Dincer, I., Hamut, H., Javani, N. (2017). Thermal management of electric vehicle battery systems, John Wiley and Sons Ltd., United Kingdom. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us>.
- Haifeng, D., Ze-Chang, S., Xuezhe, W., Shugiang, Y. (2015). Design and simulation of liquid-cooling plates for thermal management of ev batteries, EVS28, Kintex, Korea, 1, pp. 1-7. Retrieved from <https://www.evs28.org/>
- Jarrett, A. (2011). Multi-objective design optimization of electric vehicle battery cooling plates considering



- thermal and pressure objective functions, M. Sc. thesis, Queen's University, Ontario, Canada.
- Jung, H.G., Jang, M.V., Hassoun, J., Sun, Y.K., Scrosati, B. (2011). A high-rate long-life Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/Li[Ni<sub>0.45</sub>Co<sub>0.1</sub>Mn<sub>1.45</sub>]O<sub>4</sub> lithium-ion battery, *Nature Communications*, 2, 516-520. doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms1527>.
- Kandlikar, S.G., Hayner II, C.N. (2009). Liquid cooled cold plates for industrial high-power electronic devices—thermal design and manufacturing considerations, *Heat Transfer Engineering*, 30(12), 918-930. doi: <https://doi.org/10.1080/01457630902837343>.
- Khan, M.R., Swierczynski, M.J, Kaer, S.K. (2017). Towards an ultimate battery thermal management system: a review, *Batteries*, 3(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.3390/batteries3010009>.
- Panchal, S., Mathewson, S., Fraser, R., Culham, R., Fowler M. (2015). Thermal management of lithium-ion pouch cell with indirect liquid cooling using dual cold plates approach, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 4(2), 293-307. doi: <https://doi.org/10.4271/2015-01-1184>.
- Rahman, M.M., Rahman, H.Y., Mahlia, T.M.I., Sheng, J.L.Y. (2016). Liquid cooled plate heat exchanger for battery cooling of an electric vehicle (EV), ICARET 2016, Selangor, Malaysia, 1, 1-4. doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-315/32/1/012053>
- Schöner, H.P., Ogborn, L.L. (1987). Fast battery to battery charge, *Journal of Power Sources*, 21, 91-103. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(87\)80040-X](https://doi.org/10.1016/0378-7753(87)80040-X)
- Solovitz, S.A., Mainka, J. (2011). Manifold design for micro-channel cooling with uniform flow distribution, *ASME Journal of Fluids Engineering*, 133(5), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4004089>.
- Teng, H., Yeow, K. (2012). Design of direct and indirect liquid cooling systems for high- capacity, high-power lithium-ion battery packs, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 1(2), 525-536. doi: <https://doi.org/10.4271/2012-01-2017>.
- Teng, H., Ma, Y., Yeow, K., Thelliez, M. (2011). Thermal characterization of a li-ion battery module cooled through aluminum heat-sink plates, *SAE International Journal of Passenger Cars—Mechanical Systems*, 4(3), 1331-1342. doi: <https://doi.org/10.4271/2011-01-2248>.
- Warner, J. (2015). The handbook of lithium-ion battery pack design, chemistry, components, types and terminology, Elsevier, USA. Retrieved from <https://www.elsevier.com>.
- Yeow, K., Teng, H., Thelliez, M., Tan, E. (2012). Thermal analysis of a li-ion battery system with indirect liquid cooling using finite element analysis approach, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 1(1), 65-78. doi: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0331>.
- Yeow, K., Teng, H. (2013). Reducing temperature gradients in high-power, large-capacity lithium-ion cells through ultra-high thermal conductivity heat spreaders embedded in cooling plates for battery systems with indirect liquid cooling, *SAE World Congress & Exhibition, Detroit, USA, 2013*, 1(0234), 1-11. doi: <https://doi.org/10.4271/2013-01-0234>.

## TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİ İÇİN ÜRETİLMİŞ KOBALT ESASLI SÜPERALAŞIM BESLEME STOKLARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Eren GAYRETLİ <sup>1</sup>, Batuhan SORUŞBAY <sup>2</sup>, H. Özkan GÜLSOY <sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 34722, Türkiye,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-3054-2348>

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, 34722, Türkiye,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8108-1399>

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, 34722, Türkiye,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5366-5741>

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| <i>Toz Enjeksiyon Kalıplama, Kobalt esaslı süperalaşım, Reolojik özellikler</i> | <i>Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK) gelişmiş bir Toz Metalurjisi (TM) üretim tekniği olup karmaşık geometriye ve dar tolerans aralıklarına sahip parçaların seri üretiminde kullanılan modern bir üretim metodudur. TEK'te kullanılan besleme stoklarının reolojik özellikleri, başarılı kalıplama işlemi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu çalışmada, Co-212-C, Stellite-6 ve Fe50Co0,2Si kobalt esaslı süperalaşım tozları ve çeşitli polimerik bağlayıcılar kullanılarak üç farklı TEK besleme stoğu hazırlanmıştır. Kullanılan tozların besleme stoklarındaki kritik toz yükleme değerleri ve reolojik özellikler üzerindeki etkisi farklı sıcaklıklarda rotasyonel reometre cihazı kullanılarak incelenmiştir. Kullanılan tozların morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile analiz edilmiştir. Hacimce %2,5'lük artışla %57,5-65 toz yükleme aralığında elde edilen besleme stoklarının TEK tekniği için temel gereksinimlerden biri olan psödoplastik akış davranışı sergilediği görülmüştür. Ayrıca yüksek toz yüklemelerindeki besleme stoklarının sıcaklığa karşı yüksek hassasiyet gösterdiği, düşük toz yüklemesi ve yüksek kayma hızı kombinasyonunun ise düşük viskoziteye ve bunun sonucunda toz ve bağlayıcının ayrışmasına neden olacağından TEK için uygun olmadığı görülmüştür.</i> |

## INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF COBALT BASED SUPERALLOY FEEDSTOCKS MANUFACTURED FOR POWDER INJECTION MOLDING METHOD

| Keywords   | Abstract   |
|--|--|
| <i>Powder Injection Molding, Cobalt-based superalloy, Rheological properties</i> | <i>Powder Injection Molding (PIM) is an advanced Powder Metallurgy (PM) production technique, a modern production method used in the mass production of parts with complex geometry and narrow tolerance ranges. The rheological properties of the feedstock used in PIM have a direct impact on the successful molding process. In this study, three different powder injection molding (PIM) feedstocks were prepared by using Co-212-C, Stellite-6 and Fe50Co0.2Si cobalt-based superalloy powders and various polymeric binders. The effects of the powders used on the critical powder loading values and rheological properties in the feedstocks were investigated using a rotational rheometer device at different temperatures. The morphology of the powder was analyzed by scanning electron microscope (SEM). It has been observed that the feedstocks obtained in the powder loading range of 57.5-65% with an increase of 2.5% by volume exhibit pseudoplastic flow behavior, which is one of the main requirements for the PIM process. In addition, it has been observed that the feedstock at high powder loading is highly sensitive to temperature, and the combination of low powder loading and high shear rate is not suitable for PIM since it will cause low viscosity and as a result, the separation of powder and binder.</i> |

\* Sorumlu yazar; e-posta : ogulsoy@marmara.edu.tr



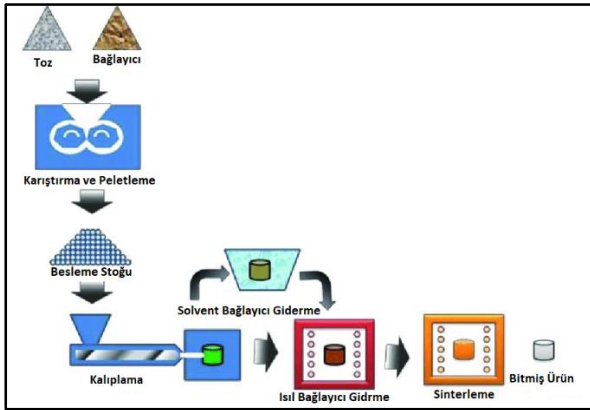
Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

|                    |              |                  |              |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi |              | Research Article |              |
| Başvuru Tarihi     | : 03.03.2022 | Submission Date  | : 03.03.2022 |
| Kabul Tarihi       | : 03.10.2022 | Accepted Date    | : 03.10.2022 |

## 1. Giriş

TEK üretim tekniği, yüksek hacimdeki küçük ve karmaşık şekilli metal veya seramik parçaların efektif bir biçimde üretilebilmesi için plastik enjeksiyon kalıplamadan türetilmiş olan bir TM yöntemidir. Diğer geleneksel TM yöntemleri ile karşılaştırıldığında talaşlı işleme ihtiyaç duyulmaması, daha düşük maliyetli oluşu ve yüksek sertlikteki malzemelerden üretilecek olan parçalar için oldukça hassas boyutsal tolerans sağlaması temel avantajlarıdır. TEK sırasıyla; toz karışımına termoplastik bağlayıcı karıştırılarak besleme stoğunun oluşturulması, istenilen şeklin elde edilmesi için besleme stoğunun basınç altında kalıba enjeksiyonu, sıcaklık veya çözücü kullanılarak yapılan bağlayıcı giderme ve son olarak numuneleri yoğunlaştırmak için yapılan sinterleme işlemleri olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (German, 1990; German ve Bose, 1997). TEK prosesinin genel akışı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. TEK Akış Diyagramı

TEK prosesinde kullanılacak besleme stoğunun yüksek toz yüklemeye oranına sahip olması arzu edilmektedir. Uygun reolojik özellik sergilemeyen besleme stokları sadece kalıplama aşamasında başarıyı sınırlamakla kalmayıp aynı zamanda bağlayıcı giderme ve sinterleme aşamalarında da önemli problemlerin oluşmasına neden olurlar. Yüksek miktarda bağlayıcı kullanımı, kalıplama sırasında bağlayıcıların tozlardan ayrışmasına ve homojen olmayan parçalara sebep olacağından istenmeyen bir durumdur. Ancak aşırı toz yüklemesi de yüksek besleme viskozitesi sebebiyle akışı kısıtlayarak enjeksiyon kalıplamanın başarısız olmasına neden olacaktır (German, 1990; German ve Bose, 1997; Gülsoy, Özbek ve Baykara, 2007; Gülsoy ve Karataş, 2007). Bu nedenle toz ve bağlayıcı hacim oranına bağlı olan akıcılık, kalıplama aşaması için kritik öneme sahiptir ve besleme stoğunun belirli reolojik davranış göstermesi gerekmektedir (Karataş, Koçer, Ünal ve

Sarıtaş, 2004). Besleme stoğunun viskozitesi, başarılı TEK prosesinde akış davranışını belirlemek için gerekli olan en önemli özelliktir.

Yaşlandırılabilir kobalt esaslı süperalaşım, iyi mekanik özellik, korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci kombinasyonlarını gerektiren havacılık ve diğer uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak zayıf işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik özellikleri karmaşık şekilli parçaların üretim sonrası şekillendirilebilmelerine olanak sağlamamaktadır. Co esaslı süperalaşımın özellikleri büyük ölçüde kimyasal bileşimleri tarafından belirlenir. Cr, W ve Mo gibi katı çözücü sertleştiricileri mukavemete katkı sağlarken temel mukavemet kazandırma mekanizmasını karbürler gerçekleştirir (Özgün, Gülsoy, Yılmaz ve Fındık, 2013a; Resende, Klein ve Prata, 2001). Karbürlerin tür, boyut ve şekilleri bu tip alaşımların özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Örneğin daha büyük boyutlu karbürler genellikle daha yüksek mukavemet elde edilmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikler üzerinde önemli etkileri bulunan karbürlerin oluşumu başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin türü ve miktarı, üretim yöntemi, sinterleme sıcaklığı ve soğuma hızı ve operasyonel parametrelerden etkilenmektedir. Co esaslı alaşımların döküm yöntemi ile üretiminde porozite, segregasyon, iri tane boyutu ve dendritler arası ötektik karbür ağı gibi problemlerin önlenmesi veya giderilebilmesi için önemli tedbirler veya ilave ısıl işlemler gerekmektedir. Yüksek karbon oranına sahip Co esaslı alaşımların şekillendirilmesi ise yüksek sıcaklıklarda bile zordur (Gülsoy, Özgün ve Bilketaş, 2016).

Literatürde yapılan çalışmalarda, geleneksel metal enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak kobalt esaslı süperalaşım tozunun teorik yoğunluğunun %92-97'si aralığında elde edilebileceği bildirilmiştir (Özgün ve diğ., 2013a; Gülsoy ve diğ., 2016; Özgün, Gülsoy, Yılmaz ve Fındık, 2013b). Ancak TEK yöntemi ile üretimleri literatürde çok az ilgi görmüştür. Geleneksel üretim metotları ile üretilebilen kobalt esaslı süperalaşımın özellikle hassas ısıl işlem şartları altında mühendislik özellikleri üst seviyelere çıkartılabilmektedir.

Bu çalışmada, kobalt esaslı süperalaşım tozlarının reolojik karakterizasyonunun yanı sıra besleme stoğunun hazırlanmasına da odaklanmıştır. Besleme stoğunun reolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için bağlayıcıların ısıl bozunma sıcaklığı, katı toz oranı ve karıştırma sıcaklığı tayinleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, katı oranı ile sıcaklık arasındaki ilişki deneysel değerlendirme için büyük önem taşımaktadır.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur, Sandvik Company'den bilgileri ile birlikte tedarik edilmiş kobalt esaslı Co-212-C, Stellite-6 ve Fe50Co0,2Si tozları kullanılmıştır. Tozların kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Co-212-C, Stellite-6 ve Fe50Co0,2Si tozlarının özgül yüzölçümü sırasıyla 0,724 m<sup>2</sup>/g, 0,599 m<sup>2</sup>/g ve 0,719 m<sup>2</sup>/g'dır. Ortalama tane boyutu dağılım ölçümleri Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile gerçekleştirilmiş olup Şekil 2'de SEM (FEI-Srion) fotoğrafları ile birlikte verilmiştir. Tozların D<sub>50</sub> ve D<sub>90</sub> değerleri sırasıyla 11,5 µm, 13,7 µm ve 11,1 µm ve 21,7 µm, 26,9 µm ve 21,8 µm olarak ölçülmüştür. Her üç tip tozun genel olarak küresel şekilli olduğu ve toz yüzeylerinde uydulaşma olsa da genel anlamda toz yüzey pürüzlülüğü oldukça düzdür.

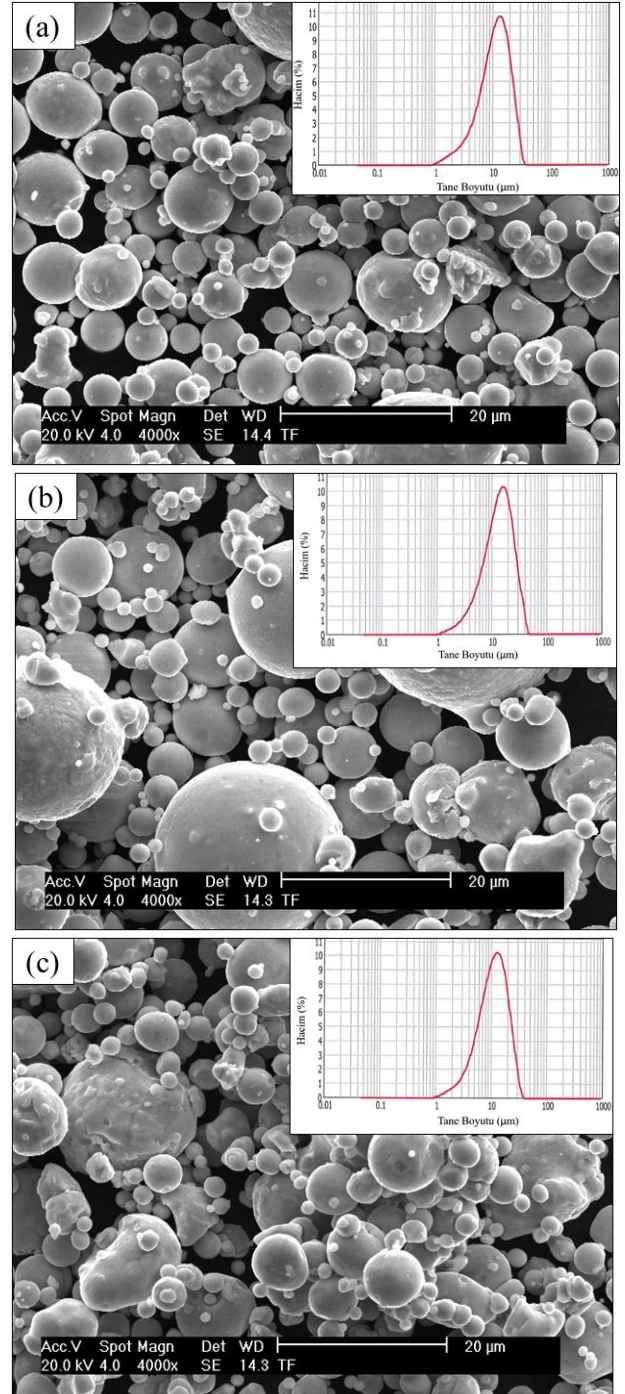
Tablo 1

Kullanılan Tozların Kimyasal Bileşimi (ağ.%)

| Toz | Co-212-C | Stellite-6 | Fe50Co0,2Si |
|-----|----------|------------|-------------|
| Co  | Kalan    | 50         | Kalan       |
| Fe  | 0,75     | Kalan      | -           |
| Cr  | 28       | 0,70       | 27-32       |
| C   | Eser     | -          | 0,90-1,40   |
| W   | -        | -          | 4-6         |
| Mo  | 6        | -          | -           |
| Mn  | 0,70     | 0,25       | -           |
| Ni  | 0,10     | 0,70       | -           |
| Si  | 0,70     | 0,25       | -           |

Çok bileşenli bağlayıcı sistemi, hacimce %69 parafin mum (PW), %20 carnauba mum (CW), %10 polipropilen (PP), ve %1 stearik asitten (SA) oluşmaktadır. SA ve belirli miktardaki süperalaşım tozları Turbula karıştırıcısında kuru halde 1 saat karıştırılmıştır. Bu işlem sonraki proses aşamaları için aktif toz yüzeyi oluşturmaktadır. Tablo 2'de kullanılan bağlayıcıların karakteristik özellikleri verilmiştir.

Bağlayıcı sisteminde en yüksek erime sıcaklığına sahip PP, 160°C üzerinde eridiğinden dolayı bağlayıcı sistemi 180-200°C'de 1 saat boyunca karıştırılarak eritilmiştir. %57,5, 60, 62,5 ve 65 hacim oranlarındaki tozlar bağlayıcı sistemi ile karıştırılarak besleme stokları elde edilmiştir. Bağlayıcıların ısıl bozunma sıcaklıklarının tespiti için SII 6300 TGA-DTA (SII Nanaotechnology Inc. Tokyo) markalı Termogravimetrik Analiz (TGA) cihazı ile oda sıcaklığından 600°C'ye kadar 10°C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Besleme stoğunun reolojik davranışları 10-1000 s<sup>-1</sup> kayma hızı ve 130-160°C sıcaklık aralığında Anton Paar Physica MCR51 markalı rotasyonel reometre cihazı ile analiz edilmiştir. Viskozite değeri, kayma gerilmesinin kayma hızına bölünmesiyle bulunmuştur. Elde edilen veriler literatür bilgileri ile karşılaştırılarak TEK için en uygun akış özelliklerini sergileyen besleme stokları tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kobalt Esaslı Tozların SEM Fotoğrafları ve Ortalama Boyutu Dağılımları: a) Co-212-C, b) Stellite-6, c) Fe50Co0,2Si

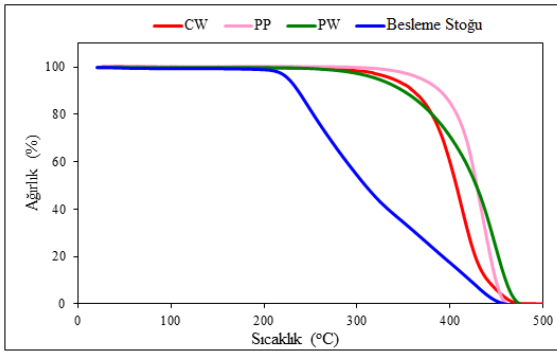
Tablo 2

Bağlayıcı Sistemindeki Bağlayıcı Bileşenlerinin Karakteristik Özellikleri

| Bağlayıcı     | Firma  | Şekil | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Erime Sıcaklığı (°C) | Molekül Ağırlığı (g/mol) |
|---------------|--------|-------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Parafin mumu  | MERC   | Tane  | 0,90                          | 60                   | 350-420                  |
| Carnauba mumu | MERC   | Pul   | 0,97                          | 82                   | 1300-1500                |
| Polipropilen  | PETKIM | Tane  | 0,89                          | 161                  | 43000                    |
| Stearik asit  | MERC   | Pul   | 0,85                          | 73                   | 285                      |

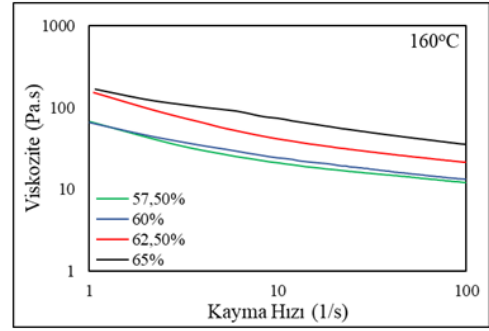
### 3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 3'de bağlayıcıların sıcaklığa bağlı ağırlık kaybı eğrilerini gösteren TGA grafiği verilmiştir. 200°C'ye kadar bağlayıcılarda herhangi bir bozunma gözlenmezken, 200°C üzerinde SA, 300°C'ye gelindiğinde ise diğer bağlayıcıların bozunmaya başladığı, 475°C üzerinde ise tüm bağlayıcıların tamamen bozulduğu görülmektedir. Bu durum bağlayıcı sistemindeki temel bir ayrışma mekanizmasıdır. Özellikle farklı polimerik bağlayıcılar kullanılarak bağlayıcıların sırasıyla bozunması ve bozunma sırasında kalıplanmış numunelerde herhangi bir hasara yol açmaması sinterleme öncesinde büyük önem arz etmektedir (German ve Bose, 1997). Artan sıcaklığa bağlı olarak bağlayıcı sistemini oluşturan bileşenlerin sırasıyla bozunmaları gerek bağlayıcı giderme gerekse de ön sinterleme sırasında kalıplanmış parçaların şekillerinin muhafazası için gereklidir (German ve Bose, 1997; Gülsoy ve diğ., 2016).

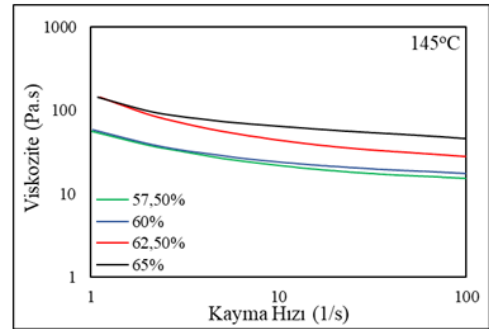


Şekil 3. Bağlayıcıların TGA Eğrileri

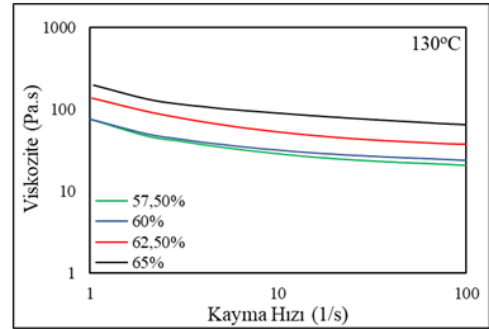
Besleme stoklarının farklı sıcaklık ve kayma hızlarında viskozite değişimleri Şekil 4-12'de verilmiştir. 130°C'de akış elde edilemediği için bu sıcaklık değerinin altı incelenmemiştir. Bazı durumlarda karışım 160°C üzerinde yüksek viskozite değerleri göstermiştir. Bu nedenle 160°C üzeri sıcaklıklar da çalışılmamıştır. Bununla birlikte bu çalışmada sadece 130, 145 ve 160°C sıcaklıklarındaki davranışlar açıklanmıştır. Tüm farklı toz besleme oranlarında, artan kayma hızına bağlı olarak besleme stoğu viskozite değerleri düşüş göstermiştir. Bu ise yüksek kayma hızlarında kalıplama işleminin daha kolay gerçekleşeceğinin bir göstergesidir. Genel olarak 100 Pa.s değerlerinin altındaki viskozite değerleri ideal kalıplama şartlarını işaret etmektedir (German, 1990; German ve Bose, 1997). Bağlayıcı ve toz karışımı uyum içinde olmalıdır. Aşırı bağlayıcı kullanımı toz ve bağlayıcı ayrışması, sinter problemleri ve sedimentasyon gibi sorunlara yol açmaktadır (German, 1990). Buna ek olarak aşırı toz kullanımında viskozitenin artışı ve kalıplama problemleri görülebilmektedir (German, 1990; German ve Bose, 1997).



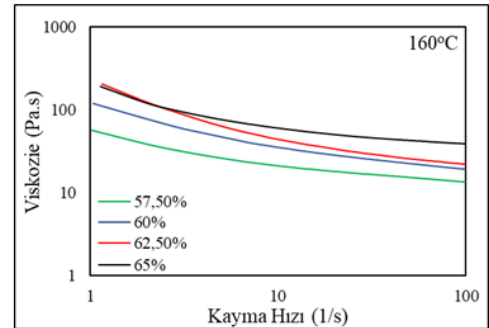
Şekil 4. Farklı Toz Oranlarındaki Co-212-C Besleme Stoklarının 160°C'deki Viskozite Değerleri



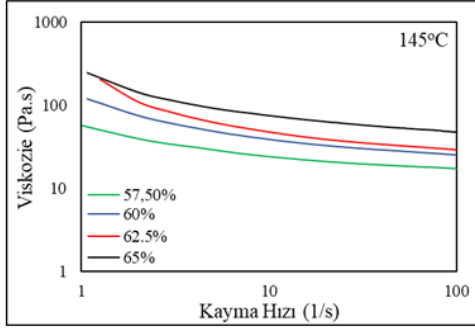
Şekil 5. Farklı Toz Oranlarındaki Co-212-C Besleme Stoklarının 145°C'deki Viskozite Değerleri



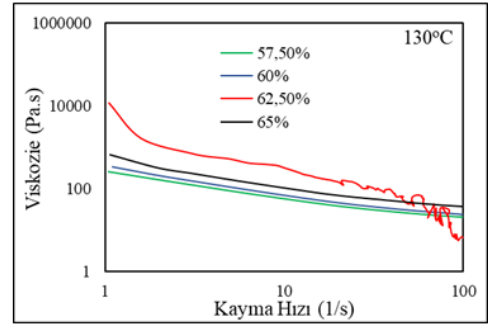
Şekil 6. Farklı Toz Oranlarındaki Co-212-C Besleme Stoklarının 130°C'deki Viskozite Değerleri



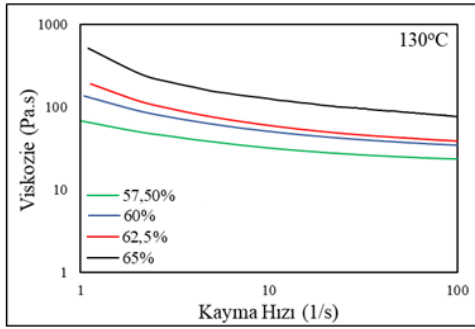
Şekil 7. Farklı Toz Oranlarındaki Stellite-6 Besleme Stoklarının 160°C'deki Viskozite Değerleri



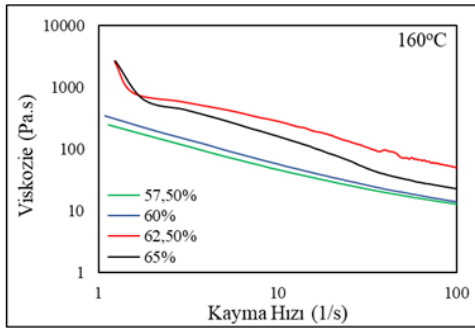
Şekil 8. Farklı Toz Oranlarındaki Stellite-6 Besleme Stoklarının 145°C'deki Viskozite Değerleri



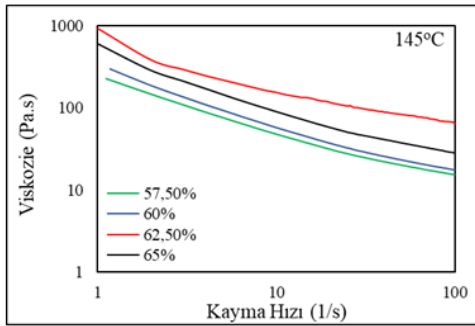
Şekil 12. Farklı Toz Oranlarındaki Fe50Co0,2Si Besleme Stoklarının 130°C'deki Viskozite Değerleri



Şekil 9. Farklı Toz Oranlarındaki Stellite-6 Besleme Stoklarının 130°C'deki Viskozite Değerleri



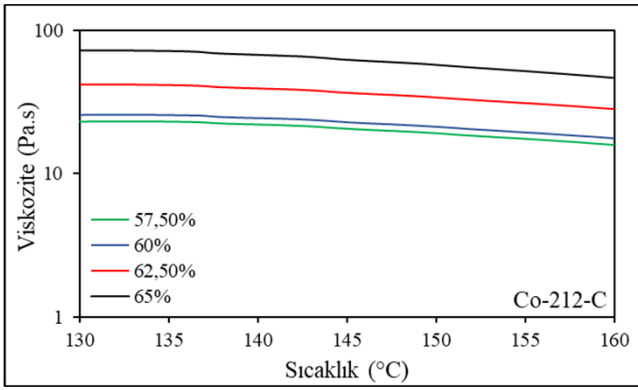
Şekil 10. Farklı Toz Oranlarındaki Fe50Co0,2Si Besleme Stoklarının 160°C'deki Viskozite Değerleri



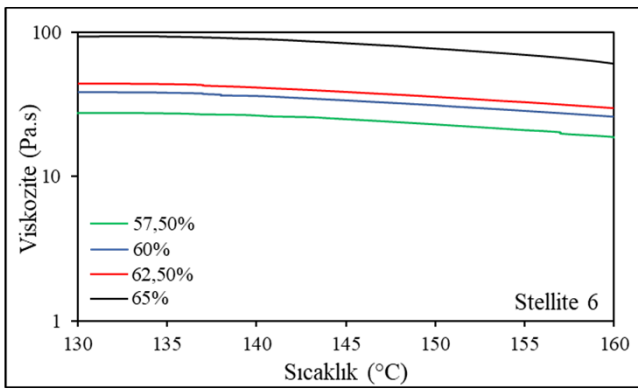
Şekil 11. Farklı Toz Oranlarındaki Fe50Co0,2Si Besleme Stoklarının 145°C'deki Viskozite Değerleri

TEK metodunda kalıplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kayma hızının 10-100 s<sup>-1</sup> aralığında, viskozitenin ise 100 Pa.s'den küçük olması; bağlayıcı ve tozun birbirinden ayrışmaması için ise psödoplastik akış göstermesi gerekmektedir (Resende ve diğ., 2001; Thavanayagam, Pickering, Swan ve Cao, 2015). Psödoplastik davranış, kaymanın artmasının düzgün parçacık dağılımını desteklediğini ve küçük parçacıkların büyük parçacıklar arasındaki boşluğa sığmasına izin verdiğini göstermektedir (Martin ve diğ., 2013). Düşük kayma hızlarında eriyik polimer içindeki kararlı parçacık ağ yapısı yüksek kayma hızlarında bozulmaktadır (Thavanayagam ve diğ., 2015). Besleme stoğunun reolojik özellikleri kalıplama prosesini etkilemektedir. Uygun olmayan reolojik davranış kalıpta short-shot, flash, çatlama, köpürme, çarpılma ve toz-bağlayıcı sisteminde ayrışmaya neden olabilir (Lin, Sanetnik, Cho, Chung, Kwon, Kate, Hausnerova, Atre ve Park, 2016).

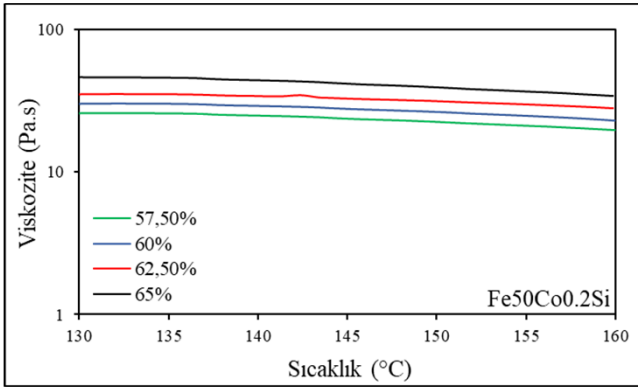
Şekil 13-15'de besleme stoklarının, sabit kayma hızında sıcaklığa bağlı viskozite değişiminin grafiği gösterilmektedir. Tüm yüzde hacim toz oranlarında besleme stoklarının viskoziteleri sıcaklığın artışıyla azalma göstererek psödoplastik akış davranışı sergilemektedir. Bu davranış, sıvı bağlayıcının serbest bırakılmasıyla parçacık yığınlarının kırılmasından kaynaklanmaktadır (German, 1990; German ve Bose, 1997). Artan toz yüklemesi ile hem viskozite değerlerinde hem de sabit bir viskozite değerindeki gerekli olan sıcaklıklarda da artma olmaktadır. Ayrıca minimum toz yükleme oranından yukarı çıkıldıkça besleme stoklarının katılma sıcaklıklarında artış gerçekleşmektedir.



Şekil 13. Sabit Kayma Hızında Artan Sıcaklıkla Co-212-C Toz İçerikli Besleme Stoğuna Ait Viskozite Değişimi



Şekil 14. Sabit Kayma Hızında Artan Sıcaklıkla Stellite-6 Toz İçerikli Besleme Stoğuna Ait Viskozite Değişimi



Şekil 15. Sabit Kayma Hızında Artan Sıcaklıkla Fe50Co0,2Si Toz İçerikli Besleme Stoğuna Ait Viskozite Değişimi

#### 4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, kobalt esaslı toz besleme stoklarının reolojik davranışları çeşitli kayma hızı, sıcaklık ve toz hacim oranlarında incelenmiş olup besleme stoklarının farklı sıcaklık ve toz yükleme oranlarında farklı reolojik özellikler gösterdikleri görülmüştür. Tüm besleme stoklarında, toz yükleme

oranının artışı viskoziteyi arttırırken, kayma hızının artışı viskoziteyi düşürmüştür. Fe50Co0,2Si besleme stoğunun tüm sıcaklık değerlerinde en yüksek viskoziteye sahip olduğu görülmüştür. Co-212-C tozundan elde edilen %57,5 ve 60 toz yükleme oranlarındaki besleme stoklarının tüm sıcaklık değerlerinde TEK kalıplama için uygun olduğu, %62,5 ve 65 toz yükleme oranlarının ise yüksek kayma hızlarında istenilen viskozite değerine yaklaştığı ancak yüksek kayma hızlarında kalıplama yapılmasının pek pratik olmaması nedeniyle TEK kalıplama için uygun olmadıklarını göstermektedir. Stellite 6 tozlarından elde edilmiş besleme stoklarında, %57,5 toz yükleme oranındaki besleme stoğunun tüm sıcaklık değerlerinde TEK kalıplama için uygun olduğu, %60 toz yükleme oranının 145°C üstündeki sıcaklarda uygun davranış gösterdiği, %62,5 ve %65 toz yükleme oranlarının ise yüksek viskozite nedeniyle uygun olmadığı tespit edilmiştir. Fe50Co0,2Si tozlarından elde edilmiş tüm besleme stoklarının düşük kayma hızlarında istenilen viskozite değerinin üstünde olduğu, 145 ve 160°C'de yapılmış olan incelemelerde kayma hızı artışıyla birlikte viskozitede hızlı düşüşün gerçekleştiği görülmüştür. %57,5 ve 60 toz oranları ile üretilmiş besleme stoklarının 145 ve 160°C sıcaklıkları için uygun olabileceği ancak kayma hızındaki artışının sebep olduğu viskozite düşüşünün kalıplama sırasında sorun oluşturabileceği göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak üç farklı toz kullanılarak üretilmiş kobalt esaslı besleme stoklarında %57,5 ve 60 toz yükleme oranlarının TEK prosesi için uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

FEN-C-YLP-120917-0550 proje nolu bu çalışmayı desteklemiş olan Marmara Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Eren GAYRETLİ, deneylerin gerçekleştirilmesinde, literatür araştırmasında, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımında, Batuhan SORUŞBAY, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve yazımında, H. Özkan GÜLSOY, deneylerin tasarlanması, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve yazımında katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Kaynaklar**

- German, R.M. (1990). *Powder Injection Molding*. NJ, USA: Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M. ve Bose, A. (1997). *Injection Molding of Metals and Ceramics*. Princeton, NJ: Metal Powder Industries Federation.
- Gulsoy, H.O. ve Karatas C. (2007). Development of poly(2-ethyl-2-oxaline) based water-soluble binder for injection molding of stainless steel powder. *Materials and Design*, 28 (9), 2488-2491. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.09.002>
- Gulsoy, H.O., Ozbek S. ve Baykara T. (2007). Microstructural and mechanical properties of injection moulded gas and water atomized 17-4 PH stainless steel powder. *Powder Metallurgy*, 50 (2), 120-126. doi: <https://doi.org/10.1179/174329007X153288>
- Gulsoy, H.O., Ozgun, O. ve Bilketaş, S. (2016). Powder injection molding of Stellite 6 powder: Sintering, microstructural and mechanical properties. *Materials Science and Engineering A*, 651, 914-924. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.11.058>
- Karatas, C., Kocer, A., Unal, H.I. ve Saritas, S. (2004). Rheological properties of feedstocks prepared with steatite powder polyethylene based thermoplastic binders. *Journal of Materials Processing Technology*, 152 (1), 77-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.03.009>
- Lin, D., Sanetnik, D., Cho, H., Chung, T.S., Kwon, Y.S., Kate, K.H., Hausnerova, B., Atre, S. ve Park, S.J. (2016). Rheological and thermal debinding properties of blended elemental Ti-6Al-4V powder injection molding feedstock. *Powder Metallurgy*, 311, 353-363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.071>
- Martin, R., Vick, M., Kelly, M. M., DeSouza, J.P., Ravi K. ve Atre, S. (2013). Metal injection moulding of titanium and titanium alloys: Challenges and recent development. *Journals of Material Research and Technology*, 319, 263-268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.06.053>
- Ozgun, O., Gulsoy, H.O., Yilmaz, R. ve Findik, F. (2013a). Microstructural and mechanical characterization of injection molded 718 superalloy powders. *Journal of Alloys and Compounds*, 576, 140-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.04.042>
- Ozgun, O., Gulsoy, H.O., Yilmaz, R. ve Findik, F. (2013b). Injection molding of nickel based 625 superalloy: Sintering, heat treatment, microstructure and mechanical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 546, 192-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.08.069>
- Resende, L.M., Klein, A.N. ve Prata, A.T. (2001). Rheological Properties of Granulometric Mixtures for Powder Injection Molding. *Key Engineering Materials*, 189-191, 598-603. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.189-191.598>
- Thavanayagam, G., Pickering, K.L., Swan, J.E. ve Cao, P. (2015). Analysis of rheological behaviour of titanium feedstocks formulated with a water-soluble binder system for powder injection moulding. *Powder Technology*, 269, 227-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.09.020>



## AHP, BULANIK AHP, LBWA VE COPRAS YÖNTEMLERİ İLE TEDARİKÇİ DEĞERLENDİRME: DEMİRYOLU SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Meryem ULUSKAN<sup>1\*</sup>, Dilşad TOPUZ<sup>2</sup>, Cansel ÇİMEN<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1287-8286>
- <sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2467-4889>
- <sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7037-7941>

| Anahtar Kelimeler   | Öz   |
|---|--|
| Tedarikçi değerlendirme, Düzey Temelli Ağırlık Değerlendirmesi (LBWA), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP), Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) | <i>Artan rekabet koşulları altında işletmelerin tedarikçilerine olan bağımlılığı her geçen gün artarak devam etmektedir. Tedarikçiler ile yapılan iş birliği sadece ürün bazında kalmamakla birlikte üretilen ürünlerin dağıtım, pazarlanması, dış yaptırımı ya da hizmet alımı şeklinde de olabilir. Bu sebeple tedarikçi seçimi sadece özel sektörde faaliyet gösteren işletmeler için değil, kamu işletmeleri için de büyük önem arz etmeye başlamıştır. Bu çalışmada, demiryolu sektöründe faaliyet gösteren bir kamu kurumu için tedarikçiler Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Düzey Temelli Ağırlık Değerlendirmesi (LBWA) yöntemleri ile kriterler ağırlıklandırılmış ve Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Uygulamada 61 tedarikçi, 4 ana kriter ve 9 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. AHP yöntemi, kriter ağırlıklandırma etkin çözümler vermesi ve diğer yöntemler ile birlikte kullanılabilir olması sebebi ile tercih edilmiştir. Çalışmada öznel kriterlerin sayısının fazla olması nedeni ile BAHP yöntemi kullanılarak belirsizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Böylece, AHP ve BAHP ikilisinin seçilmesindeki temel amaç, yöntemlerin problem üzerindeki etkinliğinin ve güvenilir sonuçlar verdiğinin birçok çalışma ile kanıtlanmış olmasıdır. Bu sayede LBWA yönteminin sonuç üzerindeki etkileri daha doğru gözlemlenebilmiştir. LBWA yöntemi ise literatürde yeni kullanılmaya başlanmış bir yöntem olması ve geniş kullanım alanına sahip olmaması sebebi ile çalışmaya dahil edilmiştir. Bu şekilde üç farklı kriter ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak bu yöntemlerin sıralama üzerindeki etkisi ile literatürde yeni bir yöntem olan LBWA yönteminin tedarikçi seçimi problemine uygulanabilirliği ve problem üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışma kamu kurumlarında tedarikçi seçim süreçlerinde kullanılabilecek kriterler açısından da literatüre katkı sağlamaktadır.</i> |

## SUPPLIER EVALUATION THROUGH AHP, FUZZY AHP, LBWA AND COPRAS METHODS: AN APPLICATION IN THE RAILWAY INDUSTRY

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| Supplier evaluation, Level Based Weight Assessment (LBWA), Analytical Hierarchy Process (AHP), | <i>With the increasing competition in the market, the dependence on suppliers continues to increase. Cooperation with suppliers is not only on product basis, but also in the form of distribution, marketing or service procurement of the manufactured products. Therefore, supplier selection has started to gain significant importance not only for companies operating in the private sector, but also for public sector. In this study, suppliers of a</i> |

\* Sorumlu yazar; e-posta : [muluskan@ogu.edu.tr](mailto:muluskan@ogu.edu.tr)



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP), Complex Proportional Assessment (COPRAS)*

*public institution operating in the railway industry were evaluated using Multi-Criteria Decision Making Methods (MCDM). Among these methods, the criteria were weighted through Analytical Hierarchy Process (AHP), Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) and Level Based Weight Assessment (LBWA) methods, whereas, the alternatives were ranked via Complex Proportional Evaluation (COPRAS) method. In the study, 61 suppliers were evaluated on 4 main criteria and 9 sub-criteria. The AHP method was utilized due to its effectiveness in criterion weighting and its usability with other methods. As there is a large number of subjective criteria in the study, the uncertainties were decided to be eliminated through FAHP method. Therefore, both the effectiveness and reliability are the main reasons for utilization of AHP and FAHP methods. In this way, the results attained through LBWA method could be observed more accurately. The LBWA method, on the other hand, was included in the study because it is a fairly new method in the literature and is not widely used in supplier evaluation studies. As a result, by comparing three different criteria weighting methods, the applicability of the LBWA method to the supplier selection problem was investigated. In addition, this study contributes to the literature regarding the criteria that can be used during the supplier selection processes in public institutions.*

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 04.02.2022

Kabul Tarihi

: 04.10.2022

Research Article

Submission Date

: 04.02.2022

Accepted Date

: 04.10.2022

## 1. Giriş

Son yıllarda artan rekabet koşulları ile birlikte işletmeler müşterilerinin isteklerini daha kısa sürede yerine getirebilmek için ürün ya da hizmet tedarik etme yoluna gitmektedir. Tedarik edilen ürün ya da hizmetlerin maliyeti, toplam maliyetin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bağlamda tedarikçiler ile yapılan iş birliği işletmeler açısından oldukça önemlidir. Tedarikçi seçimi, işletme içinde işletmenin hedeflerine ulaşmasında, rekabet düzeyinin korunmasında ve güçlendirilmesinde, maliyetlerin azaltılmasında; diğer yandan işletme dışında, müşterilerin isteklerine cevap verilebilmesinde ve ürün kalitesinin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır.

Tedarikçilerin seçim ve değerlendirilmesi, var olan tedarikçilerin birçok kriter kullanılarak karşılaştırılması ve en iyi tedarikçinin seçilmesi ile ilgilidir. Tedarikçi seçimi problemi ürün, tedarikçi sayısı, iş birliğinin süresi ve iş birliği yapısına göre çeşitli şekillerde ele alınmaktadır. Nesnel ve öznel kriterlerin varlığı ve kriterlerin birbiri ile çelişiyor olmasının yanı sıra fazla sayıda tedarikçinin de yer alması problemi karmaşıklştırmaktadır.

İşletmeler tedarikçilerini değerlendirirken maliyeti göz önünde bulundurarak bir değerlendirme yapıyorsa maliyete dayalı yaklaşımlardan, stokastik belirsizlikler mevcut ise istatistiki yöntemlerden, bir değerlendirme sistemi tasarlamak isteniliyorsa yapay zeka tabanlı yöntemlerden, birden fazla amaç ve kısıtı varsa matematiksel programlamadan ve birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda ise çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden yararlanabilir. Bununla birlikte

ÇKKV yöntemleri, karmaşık problemlerin çözümünde sıklıkla tercih edilir.

Bu sebeple çalışmada, demiryolu sektöründe faaliyet gösteren bir kamu kurumunda tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi problemi ÇKKV yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Problemin çözümünde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP), Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) ve Düzey Temelli Ağırlık Değerlendirmesi (LBWA) yöntemleri kullanılmıştır. AHP, BAHP ve LBWA yöntemleri ile kriterler ağırlıklandırılırken, COPRAS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır.

Tedarikçi seçimi problemi, özel sektörde uzun yıllar ve çokça çalışılmış bir konu olmakla birlikte kamu sektöründe çeşitli kısıtlamalar nedeniyle yeterince çalışılmadığı görülmüştür. Bu kısıtlamalardan biri, kamu sektöründe alımların kamu ihale kanununa göre yapılmasıdır. Kamu ihale kanunu, uygulamada kullanılacak kriterleri de sınırlamaktadır. Bu çalışma bir kamu kurumunda uygulanarak literatürde yer alan bu boşluğu hedeflemekte ve kamu kurumunda kullanılabilir kriterler konusunda literatüre katkı sağlamaktadır.

Uygulama açısından bakıldığında, bu çalışmada alternatiflerin sıralanması için tek bir yöntem kullanılırken, kriterlerin ağırlıklandırılmasında üç farklı yöntem, AHP, BAHP ve LBWA kullanılmıştır. Bu yöntemlerden AHP kriter ağırlıklandırmada sıklıkla kullanılması, etkin çözümler vermesi ve diğer yöntemler ile birlikte kullanılabilir olması sebebi ile tercih edilmiştir. Ağırlıklandırma açısından karşılaştırma yapabilmek için ve çalışmada öznel kriterlerin sayısının

fazla olması sebebi ile BAHP yöntemi uygulanarak belirsizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. AHP ve BAHP yöntemlerinin kriter ağırlıklandırma için seçilmesindeki temel amaç, problem üzerindeki etkinliğinin ve güvenilir sonuçlar verdiğinin birçok çalışma ile kanıtlanmış olmasıdır. Bu yöntemler çalışmaya eklenerek LBWA yönteminin etkilerinin daha doğru gözlemlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesinde doğru bir referans oluşturması hedeflenmiştir. Ayrıca, LBWA yöntemi, literatürde yeni kullanılmaya başlanmış bir yöntem olması ve tedarikçi seçimi problemlerindeki etkinliğinin var olan çalışmalarda yeterince ortaya konmaması sebebi ile çalışmaya dahil edilmiştir. Bu şekilde üç farklı yöntem kullanılarak, farklı kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sıralama üzerindeki etkisi ve literatüre yeni kazandırılan LBWA yönteminin tedarikçi seçimi problemi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır.

Diğer taraftan, alternatiflerin sıralanması COPRAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. COPRAS yöntemi, alternatif sayılarına değil kriter üstünlüklerine göre sıralama yapmaktadır. Sıralamanın kriter üstünlüğüne göre yapılması, sonuçların çalışmaya dahil edilen veya çalışmadan çıkarılan alternatiflerden etkilenmesinin önüne geçmektedir. Bu sebeple yöntem sıralama için tercih edilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde tedarikçi seçim problemi tanıtılmış ve problemin çözümünde tercih edilen yöntemlere değinilmiş, daha sonra çalışmanın amacı ile çalışmada kullanılan yöntemler ve tercih edilme sebepleri açıklanmıştır. İkinci bölümde tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılan ÇKKV yöntemleri üzerine bir literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Dördüncü bölüm uygulama aşaması olup uzman görüşü ile belirlenen kriterler kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre ağırlıklandırılmış, çalışmaya dahil edilen tedarikçiler belirlenen kriterlere göre sıralanmıştır. Son bölümde ise uygulamadan elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Tedarikçi değerlendirme ve seçme problemi ile ilgili bugüne kadar farklı sektörlerde birçok çalışma yapılmış ve matematiksel programlama, istatistiki yöntemler ve yapay zeka tabanlı yöntemler gibi çok farklı yöntemler kullanılmış olmakla birlikte, yapılan inceleme

sonucunda bu alanda basit kullanımı ve etkin çözümler sunmasından dolayı ÇKKV yöntemlerinin ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmektedir. Bu bölümde, tedarikçi seçiminde ÇKKV yöntemleriyle matematiksel programlamanın entegre edilerek kullanıldığı bazı çalışmalara değinilmiştir. Ek olarak, ÇKKV yöntemlerinin literatürdeki yeri ve çalışmamızın ana konusu olan tedarikçi seçimi ile LBWA, BAHP, AHP ve COPRAS yöntemlerinin literatürdeki yeri detaylı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen literatür incelemeleri ve gruplandırma Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tedarikçi seçimi alanında ilk çalışma Dickson (1966) tarafından yapılmış olup Benyoucef, Ding ve Xie (2003) tedarikçi seçimini iki farklı şekilde ele almıştır. Bunlardan ilki gerekli tedarikçi sayısının belirlenmesi iken, bir diğeri alternatif tedarikçiler arasından en uygununun seçilmesi şeklindedir. İzleyen yıllarda tedarikçi sayısının belirlenmesinden çok alternatif tedarikçiler arasından en uygun olanın seçilmesi problemine odaklanılmış olup problemin çözümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden doğrusal programlama AHP ile entegre edilerek, Ghodspour ve O'Brien (1998) tarafından kapasite kısıtlı bir modele uygulanmıştır. Bunun dışında tedarikçi seçiminde ÇKKV yöntemleri de sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan AHP yöntemini ilk olarak 1970'lerde Saaty (1971) geliştirmiştir. Bu yöntem literatürde sıkça kullanılmaktadır. AHP yöntemi ile ele alınan problem hiyerarşik yapıda tanımlanmaktadır. Bu hiyerarşik yapı, yöntemin sıklıkla tercih edilmesinin nedenlerinden biridir. Bir diğer neden ise herkes tarafından kolaylıkla uygulanabilir ve diğer yöntemlere entegre edilebilir olmasıdır. AHP'nin yer aldığı çalışmalar incelendiğinde, Dağdeviren ve Eren (2001) AHP ve 0-1 hedef programlama kullanmışlardır. AHP ile belirlenen kriterler, hedef programlamanın amaç fonksiyonu için girdi olarak kullanılmıştır. Ting ve Cho (2008) Tayvan'da ana kart üreten bir firma için tedarikçi seçiminde AHP yönteminin yanında çok amaçlı doğrusal programlama yöntemine yer vermiştir. Supçiller ve Çapraz (2011) ise yöntemi TOPSIS ile entegre etmiştir. AHP ile kullanılan yöntemlerden bir diğeri olan VIKOR, Kara ve Ecer (2016) tarafından tekstil sektöründe tedarikçi seçimi problemi üzerine kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ve geniş uygulama alanına sahip bir diğer yöntem ise BAHP yöntemidir. Bulanık mantık ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır.

Tablo 1

## Literatür Taraması Sonucu Oluşturulan Gruplandırma ve Özeti

| Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Matematiksel Programlama Kullanılan Çalışmalar                                    |   |   |
|--|---|---|
| KONU   | YAZARLAR  | YÖNTEM                                    |
| Tedarikçi seçimi ve Sipariş tahsisi  | Ghodsypour ve O'Brien (1998)                      | DP ve AHP                                 |
| Tedarikçi seçimi   | Dağdeviren ve Eren (2001)                         | 0-1 HP ve AHP                             |
| Tedarikçi seçimi ve Sipariş tahsisi  | Ting ve Cho (2008)                                | ÇADP ve AHP                               |
| Tedarikçi seçimi   | Kaya (2010)                                       | BHP, AHP                                  |
| Tedarikçi seçimi ve Sipariş tahsisi  | Karaatlı ve Davras (2014)                         | HP, AHP                                   |
| Tedarikçi seçimi   | Durmaz, Akgündüz ve Şahin (2017)                  | HP, MOORA                                 |
| Tedarikçi seçimi   | Özçelik ve Eryılmaz (2019)                        | HP, COPRAS, BAHP ve MOORA                 |
| Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılan Çalışmalar  |   |   |
| KONU   | YAZARLAR  | YÖNTEM                                    |
| Silah sistemlerinin değerlendirilmesi  | Cheng ve Mon (1994)                               | BAHP                                      |
| Tedarikçi seçimi   | Güner (2005)                                      | BAHP ve AHP                               |
| Dizüstü bilgisayar seçimi  | Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2010)                    | BAHP ve ELECTRE                           |
| Tedarikçi seçimi   | Supçiller ve Çapraz (2011)                        | AHP ve TOPSİS                             |
| İşe alımda uygun adayın belirlenmesi   | Akar ve Çakır (2016)                              | BAHP ve MOORA                             |
| Tedarikçi seçimi   | Kara ve Ecer (2016)                               | AHP ve VIKOR                              |
| Şirketlerin değerlendirilmesi  | Ömürbek ve Akçakaya (2018)                        | COPRAS, SAW, Entropi, MAUT ve BORDA Sayım |
| Tedarikçi seçimi   | Yıldırım ve Timor (2019)                          | COPRAS-F, Gri COPRAS ve BAHP              |
| Şirketlerin değerlendirilmesi  | Çınaroğlu (2019)                                  | COPRAS ve SWARA                           |
| Silahların yapısal elemanlarının belirlenmesi  | Božanić, Randelović, Radovanović ve Tešić (2020a) | LBWA ve IR-MAIRCA                         |
| Sağlık sistemlerinin yeniden düzenlenmesi  | Pamučar ve diğ. (2020a)                           | LBWA, MACBETH ve BRAFSI                   |
| Tesis yeri seçimi  | Biswas ve Pamučar (2020)                          | LBWA ve PIPRECIA                          |
| Kamp alanı seçimi  | Božanić, Jurišić ve Erkić (2020b)                 | LBWA ve Z-MAIRCA                          |
| Ulaşım modu seçimi   | Pamučar, Devci, Canitez ve Lukovac (2020b)        | LBWA, WASPAS, WHM ve WGHM                 |
| Mevcut enerji tüketimini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel ölçekte yayılım potansiyelinin değerlendirilmesi | Pamučar, Behzad, Božanić ve Behzad (2021)         | LBWA ve WASPAS                            |
| Uygun ateşleme pozisyonunun belirlenmesi   | Jokić, Božanić ve Pamučar (2021)                  | LBWA ve FMABAC                            |
| Tedarikçi seçimi   | Yazdani, Pamučar, Chatterjee ve Torkayesh (2021)  | LBWA-D, SWARA-D ve (MARCOS)-D             |
| Tedarikçi seçimi   | Torkayesh, Pamučar, Ecer ve Chatterjee (2021)     | LBWA, BWM ve CoCoSo                       |

Bulanık mantığın AHP yöntemiyle birlikte uygulanması ise ilk kez Saaty (1971) tarafından önerilmiştir. Üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık değerler ise ilk defa Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından bir üniversitenin profesör seçimi probleminde kullanılmıştır. Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde Cheng ve Mon (1994) BAHP yöntemini kullanarak ilk defa askeri alanda çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma yapılan alanlardan bir diğeri tedarikçi seçimidir. BAHP yöntemi tedarikçi seçiminde birçok yöntem ile birlikte kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri AHP olup Güner (2005) tarafından bir mermer-traverten işletmesinde uygulanmıştır. Birlikte kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise ELECTRE yöntemidir. Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2010) öznel yargıları BAHP yöntemiyle gidererek kriterleri ağırlıklandırmıştır. Akar ve Çakır (2016) ise lojistik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede BAHP ve MOORA yaklaşımlarını birlikte kullanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bir başka yöntem de LBWA yöntemidir. İkili karşılaştırmalar yaparak kriterleri ağırlıklandırmaya dayanan bu yöntem ilk olarak Žižović ve Pamučar (2019) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde çeşitli yöntemlerin artı ve eksileri değerlendirilmiştir. İkinci bölümünde modele ilişkin algoritma verilmiştir. Üçüncü bölümde, yöntem literatürde yer alan iki çalışma üzerinden test edilmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Božanić ve diğ. (2020a) tarafından yapılan çalışmada LBWA yöntemi silahların yapısal elemanlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Farklı bir alanda, Pamučar ve diğ. (2021) mevcut enerji tüketimini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel ölçekte yayılım potansiyelini değerlendirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Diğer taraftan Pamučar ve diğ. (2020a), Covid-19 koşullarından etkilenen sağlık sistemlerinin yeniden düzenlenmesi üzerine çalışmış, kriterlerin ağırlıklandırılmasında LBWA ve MACBETH yöntemlerini kullanmıştır. LBWA yöntemini kullanan diğer çalışmalar incelendiğinde, Biswas ve Pamučar (2020) işletme-yönetim okulları için tesis yeri seçimi problemini ele almış, Božanić ve diğ. (2020b) ise çalışmalarında bir ordu için kamp alanı seçimini konu almışlardır. Pamučar ve diğ. (2020b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise İstanbul Havaalanı için en iyi ulaşım modunu seçmek amaçlanmıştır. Jokić ve diğ. (2021) tarafından yayınlanan çalışmada ise LBWA yöntemi ilk kez MABAC Yöntemi ile birleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, LBWA ve MABAC yöntemleri birlikte uygulandığında tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. LBWA yöntemi, tedarikçi seçimini içeren çalışmalarda ise ilerleyen süreçte literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmalardan ilki Yazdani ve diğ. (2021) tarafından gıda sektöründe uygulanmıştır. Tedarikçi seçimi alanında yapılan bir diğer çalışma ise Torkayesh ve diğ. (2021) tarafından sağlık sektöründe uygulanmıştır. Seçilen yedi ülke için belirlenen kriterler,

LBWA ve BWM Yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır.

Bu çalışmada alternatifleri sıralamak için kullanılan COPRAS yöntemi, Zavadskas, Kaklauskas ve Sarka (1994) tarafından geliştirilmiştir. Karmaşık kriterleri ve çok sayıda alternatifi kolay bir şekilde çözümlemesi sebebi ile literatürde farklı alanlarda ve farklı yöntemler ile birlikte sıkça kullanılmaktadır. Diğer yöntemler ile birlikte kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, Ömürbek ve Akçakaya (2018) COPRAS yöntemini SAW, Entropi ve MAUT yöntemleri ile birlikte havacılık sektöründe faaliyet gösteren şirketleri sıralamada kullanmıştır. Özçelik ve Eryılmaz (2019) tarafından yapılmış olan bir diğer çalışmada ise COPRAS yöntemi BAHP, MOORA ve Hedef Programlama ile birlikte traktör imalatı gerçekleştiren bir firmanın tedarikçi seçiminde kullanılmıştır. COPRAS yönteminin diğer yöntemler ile birlikte kullanıldığı bir diğer çalışma ise Yıldırım ve Timor (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada iklimlendirme sektöründeki bir işletmenin tedarikçi seçimi COPRAS-F, Gri COPRAS ve BAHP yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Çınaroğlu (2019) ise çalışmasında COPRAS ile SWARA yöntemini entegre ederek otomotiv firmalarını değerlendirmiştir.

Literatür incelendiğinde, ÇKKV yöntemlerinin tedarikçi seçimi problemine sıkça uygulandığı görülmüştür. Özellikle kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP ve BAHP yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. COPRAS yönteminin ise son yıllarda tedarikçi seçimi problemleri de dahil olmak üzere kullanımı artmaktadır. Buna karşın LBWA yöntemi yeni bir yöntem olması sebebi ile literatürde geniş bir kullanım alanına sahip olmamakla birlikte daha çok yer seçimi problemlerine uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte, tedarikçi seçim problemine uygulandığı çalışmalar da literatürde yer almasına rağmen problem üzerindeki etkinliğinin yeterince değerlendirilmediği görülmektedir. Bu noktada, mevcut çalışma literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Literatür incelenirken dikkat çeken bir diğer nokta ise, kamu kurumlarında yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğudur. Kamu kurumlarında birlikte çalışılacak tedarikçilerin belirlenmesi çeşitli kanunlar ile düzenlenmekte ve bu şekilde süreç özel sektörden farklılaşmaktadır. Bu sebeple tedarikçi seçiminin kamu kurumlarında uygulamaları da çeşitli yönleriyle özel sektörde yapılan çalışmalardan ayrılmaktadır. Ayrıca tedarikçi seçim probleminin birçok farklı sektörde uygulamaları yer almakla birlikte literatürde özellikli olarak demiryolu sektöründe tedarikçi seçim problemi üzerinde çalışılmamıştır. Kısaca bu çalışma, tedarikçi değerlendirme ve seçimi çalışmalarında LBWA uygulamasının etkinliği ve LBWA yönteminin AHP ve bulanık AHP ile karşılaştırılması, problemin çözümünde kullanılan kriterlerin kamu kurumlarına uyarlanması ve farklı bir sektör olarak demiryolu sektöründe uygulanması konularında literatüre katkı sağlayacaktır.

### 3. Yöntem

İnsanlar gerek günlük yaşamlarında gerekse iş yaşamlarında sürekli olarak karar verme problemiyle karşılaşılır. Karar verme, istenen amaca ulaşmak için belirli kriterler doğrultusunda seçeneklerden bir ya da birkaçını seçmek olarak tanımlanabilir. ÇKKV, çok sayıda ve birbiriyle çelişen kriterlerin olduğu durumlarda alternatifler içinden seçim yapmayı ifade etmektedir. ÇKKV problemleri için literatürde birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler kriter ağırlıklandırma kullanılan yöntemler ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler olarak iki başlık altında toplanabilir.

Kriter ağırlıklandırma yöntemleri öznel ve nesnel ağırlıklandırma şeklinde sınıflandırılmaktadır. Öznel ağırlıklandırma yöntemlerine SWARA, SMART, AHP, Delphi, LBWA, BWM ve DEMATEL yöntemleri örnek olarak verilebilir. ENTROPY, TOPSIS, çoklu korelasyon yöntemi, temel bileşen analizi, çok amaçlı optimizasyon yöntemleri, LINMAP ve CRITIC ise nesnel ağırlıklandırma yöntemlerine örnek olarak verilebilir.

Kriterler ve ağırlıkları belirlendikten sonra alternatiflerin ilgili kriterler doğrultusunda değerlendirilmesi aşamasına geçilir. Bu aşamada sıklıkla kullanılan yöntemler VIKOR, ELECTRE, PROMETHEE, COPRAS ve ARAS şeklindedir.

İzleyen bölümlerde bu çalışmada kullanılan AHP, Bulanık AHP, LBWA ve COPRAS yöntemleri açıklanacaktır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Karar verme sürecinde nesnel ve öznel birçok kriter bulunmaktadır. Sayısal veriler ile ifade edilemeyen öznel kriterlerin de nesnel kriterler gibi sağlıklı bir şekilde sürece dahil edilmesi gerekmektedir. 1970'lerde Saaty tarafından geliştirilmiş olan yöntem, ikili karşılaştırmalar yaparak alternatifler arasında en iyi olanı seçebilmek için hiyerarşinin en alt seviyesindeki alternatifleri değerlendirmektedir (Saaty, 2008). AHP yönteminin adımları aşağıda verilmiştir (Saaty ve Niemira, 2006).

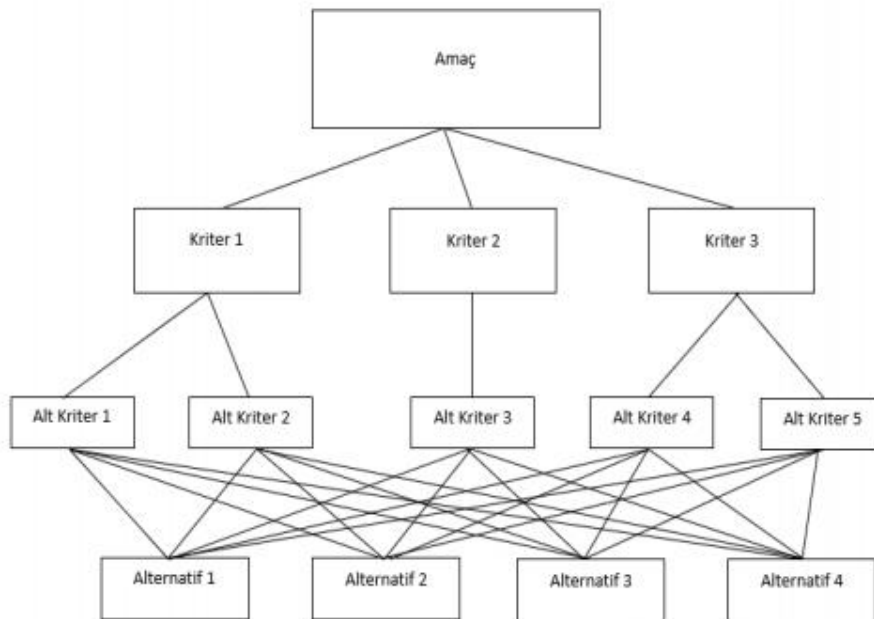
Adım 1: Problem tanımlanarak hiyerarşik yapı oluşturulur.

Amaç belirlenerek problemin çözümünde kullanılacak kriterler, alt kriterler ve alternatifleri içeren hiyerarşik yapı oluşturulur. Oluşturulan yapı Şekil 1'de verilmiştir.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Yöntemin temeli ikili karşılaştırma matrislerine dayanmaktadır. Karar vericiler tarafından alternatifler kriterlere göre karşılaştırılır ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Saaty, 2008). Bu aşamada her bir kriterin göreceli önem dereceleri karşılaştırılır.

Kriterler için oluşturulan genel ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 3'te ise kriterlerin birbiri üzerinde ne derece öneme sahip olduğunun tanımlanabilmesi için kullanılan önem derecesi ölçeği yer almaktadır.



Şekil 1. Hiyerarşik Yapının Genel Gösterimi (Saaty, 2008)

Tablo 2

İkili Karşılaştırma Matrisinin Gösterimi (Güner, 2005)

|          | Kriter 1  | Kriter 2  | . . | Kriter j  |
|----------|-----------|-----------|-----|-----------|
| Kriter 1 | 1         | $a_1/a_2$ | . . | $a_1/a_j$ |
| Kriter 2 | $a_2/a_1$ | 1         |     | $a_2/a_j$ |
| .        | .         | .         |     | .         |
| Kriter i | $a_i/a_1$ | $a_i/a_2$ | . . | 1         |

Tablo 3

AHP'de Kullanılan Önem Derecesi Ölçeği (Saaty, 1994)

| Önem Derecesi | Tanım  | Açıklama   |
|---------------|--|--|
| 1             | Eşit önemli  | İki kriter amaca eşit derecede katkı sağlar.   |
| 3             | Karşılaştırılan kriterler birbirine göre orta önemli | Bir kriter diğerine göre orta derecede tercih edilir.  |
| 5             | Bir kriter diğerine göre kuvvetli önemli             | Kriterlerden biri diğerine göre kuvvetli derecede tercih edilir.                                 |
| 7             | Bir kriter diğerine göre çok kuvvetli önemli         | Bir kriter diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir ve üstünlüğü uygulamada açıkça görülür. |
| 9             | Bir kriter diğerine göre aşırı önemli                | Bir kriterin diğer kriterlere tercih edilmesini sağlayan kanılar yüksek öneme sahip.             |
| 2, 4, 6, 8    | Ara önem dereceleri                                  | Kesin bir önem derecesi tanımlanamadığında kullanılacak değerlerdir.                             |

Adım 3: Görelî önem vektörü (öz vektör) belirlenir.

Karşılaştırma matrisleri referans alınarak, matristeki her bir kriterin diğer kriterlere göre önemini gösteren görelî önem vektörü (öz vektör) hesaplanır. Sonra birleştirme (sentez) aşamasına geçilir. Birleştirme adımında kullanılacak görelî önem vektörleri dört farklı yöntem ile elde edilebilir. Bu yöntemler; en basit, daha iyi, iyi ve en iyi yöntem şeklindedir (Güner, 2005).

Adım 4: Tutarlılık oranı (CR- Consistency Ratio) ikili karşılaştırma matrisleri için hesaplanır. Oran 0,1'den küçük ise değerlendirmenin iyi olduğunu gösterir. 0,1'den büyük ise, değerlendirmede tutarsızlık vardır ve karar verici tekrar değerlendirme yapmalıdır. Tutarlılık indeksi Denklem (1) ve (2) ile hesaplanmaktadır.

$CI$  = Tutarlılık indeksi

$\lambda_{max}$  = Matrisin en büyük özdeğeri

$n$  = Matris boyutu

$w_j$  = Görelî önem vektörünün j. elemanı

$a_{ij}$  = İkili karşılaştırma matrisinin (i, j)-inci değeri

$RI$  = Rastgele değer indeksi olmak üzere;

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right\} \quad (2)$$

şeklindedir.

Tutarlılık oranı (CR) Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Rastgele Değer İndeksi (RI) için Tablo 4'te verilen değerler kullanılmaktadır.

Tablo 4

RI Tablosu (Saaty ve Tran, 2007)

| N  | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Adım 5: Bileşik görelî önem vektörü hesaplanır.

Tutarlılıkları kontrol edilen karşılaştırma matrislerinden elde edilen görelî önem vektörleri birleştirilerek amaca ilişkin seçenekler belirlenir. Birleştirme işlemi, değerlendirilen kriterlerin görelî önemleri ile alternatiflerin kriterlere göre belirlenen görelî önemlerinin çarpılıp toplanması ile yapılır. Yapılan işlemler sonucunda en yüksek değeri veren alternatif seçilir.

### 3.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Problemler her zaman kesin doğru ya da kesin yanlış olarak değerlendirilemezler. Problemin yapısından kaynaklanan belirsizlikler olabilir. Böyle durumlarda kişiden kişiye değişen cevaplardaki belirsizliklerin giderilmesi için bulanık mantığa başvurulmaktadır. Bulanık mantığın AHP yöntemiyle birlikte uygulanması ilk kez Saaty (1971) tarafından önerilmiştir. Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Hiyerarşik AHP modeli oluşturulmalıdır.

Adım 2: Kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Tablo 5

Kriter Değerlendirme İçin Bulanık Sayılar Ölçeği (Prakash, 2003)

| Önem Yoğunluklarının Tanımı                                  | Önem Yoğunluğu | Üçgen Bulanık Ölçek | Önem Yoğunluğu Ters | Üçgen Bulanık Ölçeğin Ters |
|--|----------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Eşit önemli (E.Ö)  | 1              | (1,1,1)             | 1/1                 | (1/1,1/1,1/1)              |
| Bir kriter diğer kriterlere göre biraz üstün (D.G.Ü)         | 2              | (1,2,4)             | 1/2                 | (1/4,1/2,1/1)              |
| Bir kriter diğerinden hemen hemen önemli (H.Ö)               | 3              | (1,3,5)             | 1/3                 | (1/5,1/3,1/1)              |
| Bir kriter diğerinden güçlü derecede önemli (G.Ü)            | 5              | (3,5,7)             | 1/5                 | (1/7,1/5,1/3)              |
| Bir kriter diğerinden çok güçlü derecede önemli (Ç.G.Ö)      | 7              | (5,7,9)             | 1/7                 | (1/9,1/7,1/5)              |
| Bir kriter diğer kriterlere göre aşırı derecede önemli (A.Ö) | 9              | (7,9,11)            | 1/9                 | (1/11,1/9,1/7)             |

Adım 4: Bulanık ağırlıklar kullanılarak, alt kriterlerin global bulanık ağırlıkları hesaplanır.

Adım 5: Global bulanık ağırlık, kriterlerin bulanık ağırlıklarıyla alt kriterlerin bulanık ağırlığının çarpılmasıyla elde edilir. Belirlenen bulanık ağırlıklar alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılır ve her aday için bulanık öncelik değerleri hesaplanır.

Adım 6: Durulaştırma işlemi

Öncelikle alt sınır ve üst sınır değerleri hesaplanır. LB= Alt Sınır; UB= Üst Sınır; (l, m, u) bulanık sayılar ve l= Alt sınır; m= En olası bulanık sayı; u= Üst sınır ve an= Sabit sayı olmak üzere, Alt sınır (LB) Denklem (6) ve üst sınır (UB) Denklem (7) ile belirlenir.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken birbiri ile karşılaştırılan kriterler için önem yoğunluğu değeri, üçgensel bulanık sayıya Tablo 5'te yer alan bulanık sayılar ölçeği kullanılarak çevrilmektedir.

Adım 3: Kriter ve alt kriterler için bulanık ağırlıklar, bulanık geometrik ortalama yöntemiyle belirlenir. Bulanık ağırlık ve bulanık geometrik ortalamaya ait formüller Denklem (4) ve Denklem (5)'te verilmiştir.

$R_i$ : Bulanık ortalama

$W_i$ : Bulanık ağırlık olmak üzere;

$$R_i = (a_{i1} \otimes a_{i2} \otimes \dots \otimes a_{in})^{1/n} \quad (4)$$

$$W_i = R_i \otimes (R_1 \oplus R_2 \oplus \dots \oplus R_n)^{-1} \quad (5)$$

şeklinindedir.

Kriterler için geometrik ortalama her (l, m, u) üçgensel bulanık sayısı için ayrı olarak hesaplanmaktadır. Geometrik ortalamadan bulanık ağırlık hesabına geçiş yaparken tersi alınan değerler büyükten küçüğe sıralanmalıdır.

Alt Sınır (Lower Bound (LB)):

$$LB = \{[(m - l)x \alpha_n] + l\} \quad (6)$$

Üst Sınır (Upper Bound (UB)):

$$UB = \{u - [(u - m)x \alpha_n]\} \quad (7)$$

Sonra, birleştirilmiş Alt ve Üst Sınır değerleri için öncelikli değerler hesaplanır. Birleştirilmiş alt sınır için Denklem (8) ve birleştirilmiş üst sınır için Denklem (9) kullanılmaktadır.

$W_{KL}$  = k alternatifinin birleştirilmiş alt sınır önceliği olmak üzere;



$$W_{KL} = \frac{\sum_{l=1}^L \alpha_l (LB_k)_l}{\sum_{l=1}^L \alpha_l} \quad (8)$$

$W_{Ku} = k$  alternatifinin birleştirilmiş üst sınır önceliği olmak üzere;

$$W_{Ku} = \frac{\sum_{l=1}^L \alpha_l (UB_k)_l}{\sum_{l=1}^L \alpha_l} \quad (9)$$

şeklinde dir.

Son olarak  $k$  alternatifi için durulaştırılmış öncelik değeri ( $W_{dk}$ ) Denklem (10) ile hesaplanır.

$$W_{dk} = \lambda W_{k(UB)} + (1 - \lambda) W_{k(LB)} \quad \lambda \in [0,1] \quad (10)$$

$W_{dk} = k$  alternatifi için durulaştırılmış öncelik değeri

$\lambda =$  İyimserlik indeksi

$\lambda$  İyimserlik indeksi uygulamalarda  $\lambda = 1$  iyimser,  $\lambda = 0,5$  orta ve  $\lambda = 0$  kötümser görüşleri belirtmek için kullanılmaktadır.

Adım 7: Öncelik ağırlıkları normalleştirilir ve en yüksek önceliğe sahip alternatif seçilir. Normalleştirme işlemi Denklem (11) yardımıyla yapılır.

$$W_{nk} = \frac{W_{dk}}{\sum_{i=1}^k W_{dk}} \quad (11)$$

$W_{nk} = k$  alternatifi için normalleştirilmiş öncelik değeri

### 3.3. Düzey Temelli Ağırlık Değerlendirmesi (LBWA)

LBWA yöntemi Žižović ve Pamučar (2019) tarafından literatüre kazandırılmıştır. "n" kriterli bir problem için LBWA yönteminde n-1 karşılaştırma yapılmaktadır. Karşılaştırma sayısının az olması, kriter sayısındaki artışın problemi karmaşıklaştırmaması, uzman tercihlerindeki tutarsızlıkları dikkate alması gibi sebepler LBWA yönteminin bazı avantajlarıdır. Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir (Žižović ve Pamučar, 2019):

Adım 1: En önemli kriterin belirlenmesi

$S = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$  kriter kümesini oluşturmaktadır. Karar verici/vericiler küme içerisinden en önemli kriteri belirler.

Adım 2: Kriterleri gruplandırma

Kriterler önem düzeylerine göre karar verici tarafından gruplandırılır.

Seviye  $k$ ; en önemli kriter bu seviyede yer alan kriterlerden en az  $k$  katı ( $k$  dahil) en fazla  $k+1$  katı (tam  $k+1$  katı hariç) daha fazla öneme sahiptir.

Kriterlerin önemi  $S(C_j)$  ile gösterilirse  $j \in \{1,2, \dots, n\}$  ve  $S=S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_k$  yazılabilir ve her  $i \in \{1,2, \dots, k\}$  için;

$S_i = \{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}\} = \{C_j \in S: i \leq s(C_j) < i + 1\}$  geçerlidir.

Adım 3: Kriterlere değer atama

Her bir seviyedeki kriterlere kendi aralarında önem derecesine göre tamsayı ( $I_{ip} \in \{0, 1, \dots, r\}$ ) ataması yapılır. Seviye içindeki en önemli kriter "0", ikinci önemli kriter "1" şeklinde tamsayı ataması yapılır. En önemli kriter  $C_j$  için  $I_i=0$  olur ve eğer  $p$ . kriter  $g$ . kriterden daha önemliyse  $I_p < I_q$  olur. Yani seviye içindeki en az öneme sahip kriter en yüksek  $I$  değerine sahip olacaktır.  $r$  maksimum tamsayı ataması olmak üzere Denklem (12)'de verilen şekilde tanımlanmaktadır.

$$\text{maks}\{|S_1|, |S_2|, \dots, |S_k|\} \quad (12)$$

Adım 4: Esneklik katsayısının belirlenmesi

Bir önceki adımda tanımlanan  $r$  değeri baz alınarak bir esneklik katsayısı belirlenir.

$r_0$  ( $r_0 \in \mathbb{R}$ ) esneklik katsayısı olmak üzere  $r_0 > r$  olacak şekilde belirlenir.

Yöntemi literatüre kazandıran Žižović ve Pamučar (2019) tarafından en iyi sonucun  $r_0$  değerinin  $r$ 'den büyük en küçük tam sayı olması durumunda ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Adım 5: Etki fonksiyonlarının hesaplanması

i: Seviye Sırası

$r_0$ : Esneklik Katsayısı

$I_{ip}$ : Tamsayı ataması

olacak şekilde kriterlere ait etki fonksiyonları Denklem (13) ile hesaplanır.

$$f(C_{ip}) = \frac{r_0}{i \cdot r_0 + I_{ip}} \quad (13)$$

Adım 6: Kriter önem ağırlıklarının hesaplanması

Son adımda en önemli kriterin ağırlığı hesaplanır ve bu ağırlık değerinden faydalanarak diğer kriter ağırlıkları hesaplanır. En önemli kriter ağırlığı Denklem (14) ve diğer kriterler için önem ağırlıkları Denklem (15) ile hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{1}{f(C_1) + f(C_2) + \dots + f(C_i) + \dots + f(C_n)} \quad (14)$$

$$w_j = f(C_i) \cdot w_i \quad (15)$$

1. kriter en önemli kriter olarak belirlenirse kriterler için önem ağırlıkları;

$w_2 = f(C_2) \cdot w_1, w_3 = f(C_3) \cdot w_1, \dots, w_n = f(C_n) \cdot w_1$  şeklindedir.

### 3.4. Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS)

COPRAS, kriterlerin önem ve fayda derecelerine göre alternatiflerin sıralamasında kullanılmaktadır. Yöntem karmaşık kriterleri ve çok sayıda alternatifi kolay bir şekilde çözümlenmektedir.

COPRAS yönteminin işlem adımları şu şekildedir (Kaklauskas ve diğ., 2006):

Modelde kullanılan değişkenler şunlardır;

$A_i$ : i. Alternatif  $i=1,2,\dots,m$

$K_j$ : j. Değerlendirme kriteri  $j=1,2,\dots,n$

$w_j$ : j. Değerlendirme kriterinin ağırlığı  $j=1,2,\dots,n$

$x_{ij}$ : j. Değerlendirme kriteri açısından i. alternatifin değeri

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur.

Karar matrisi (D) Denklem (16)'da gösterildiği gibi oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \dots & X_{2n} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \dots & X_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{m3} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Adım 2: Normalize karar matrisi Denklem (17) kullanılarak oluşturulur.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (17)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur.

Kriterlerin ağırlık değerleri ( $w_j$ ) ile normalize edilmiş karar matrisi çarpılarak,  $D'$  ve  $d_{ij}$  ile simgelenen ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi Denklem (18) kullanılarak oluşturulur.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (18)$$

Adım 4:  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerlerinin hesaplanması

$S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri Denklem (19) ve (20) kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada  $S_i^+$  faydalı kriterleri temsil ederken,  $S_i^-$  faydasız kriterleri temsil etmektedir. Belirlenen amaç için, kriterlerin yüksek değer almasının daha iyi olduğu kabul ediliyor ise bu kriterler faydalı kriter, aksi durumdaki kriterler faydasız kriter olarak adlandırılmaktadır.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j=1,2,\dots, k \text{ faydalı kriterler} \quad (19)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j=k+1,k+2,\dots,n \text{ faydasız kriterler} \quad (20)$$

Adım 5: Göreceli önem değeri hesaplanır.

Alternatifler için  $Q_i$  olarak simgelenen göreceli önem değeri Denklem (21) ile hesaplanmaktadır.

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}} \quad (21)$$

En iyi alternatif, en yüksek göreceli önem değerine sahip alternatiftir.

Adım 6: En yüksek göreceli öncelik değeri yani Denklem (22)'de verilen  $Q_{max}$  belirlenir.

$$Q_{max} = \text{en büyük } \{Q_i\} \quad \forall j = 1,2,\dots,m \quad (22)$$

Adım 7: Performans indeksinin hesaplanması

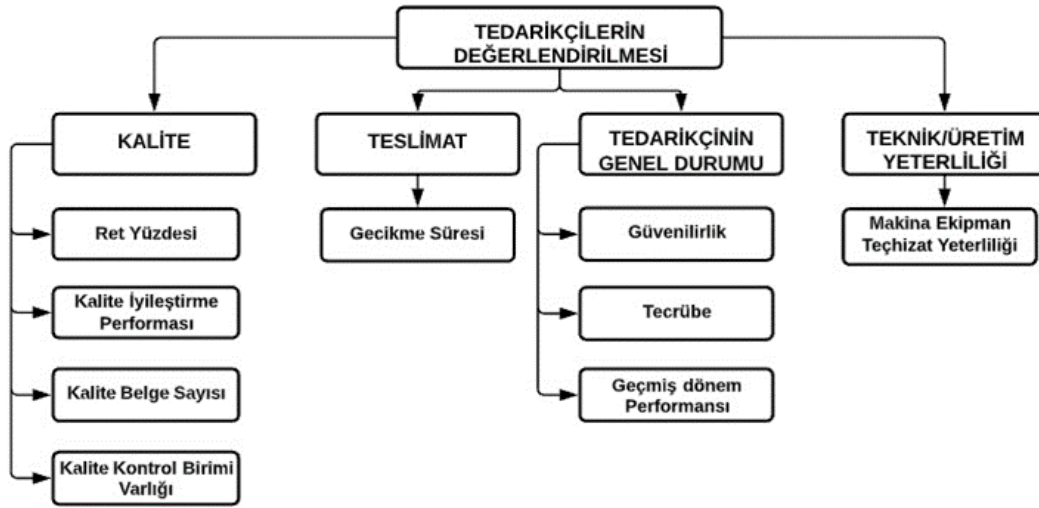
Alternatifler için performans indeksi ( $P_i$ ) Denklem (23) ile hesaplanmaktadır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (23)$$

Performans indeksi 100 olan alternatif en iyi alternatiftir. İndeks değerleri büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin sıraları elde edilir.

## 4. Bulgular

Çalışma, demiryolları sektöründe faaliyet gösteren bir kamu kurumunda gerçekleştirilmiştir. Uygulama iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kriterler AHP, BAHP ve LBWA yöntemleri ile ağırlıklandırılmış, ikinci aşamada ise alternatifler COPRAS yöntemi ile sıralanmıştır. İşletmenin tedarikçi listesinde yer alan 732 tedarikçiden uzman görüşü alınarak 61 tedarikçi çalışmaya dahil edilmiştir. Seçilen 61 tedarikçi, 4 ana kriter ve 9 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Alternatifler ve kriterler belirlenirken üç uzman görüşüne başvurulmuştur. Bu aşamada kalite kontrol birim müdürü ve iki kalite mühendisi çalışmaya katkı sağlamıştır. Kalite kontrol birim müdürü 48 yaşında ve 13 yıldır bu görevde bulunmaktadır. Mühendislerden biri 28 yaşında ve 4 yıldır bu görevde çalışmaktadır. Diğer mühendis ise 32 yaşında ve 7 yıldır bu görevde bulunmaktadır. Sektörün özellikleri de dikkate alınarak belirlenen kriterler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kriterlerin Hiyerarşik Yapısı

Kriterler belirlenirken, işletmede tutulan raporlar ve dokümanlar analiz edilmiş, elde edilen veriler ışığında nesnel kriterler belirlenmiştir. Sıra öznel kriterlerin seçimine geldiğinde ise kalite kontrol birim müdürü ile bir toplantı düzenlenmiş, liste üzerinden çalışmada kullanılacak kriterler birim müdürü tarafından belirlenmiştir. Ayrıca bahsedilen iki mühendisle görüşmeler yapılarak kriterlerin son şekli verilmiştir.

Çalışmada tek bir alt kritere sahip kriterlerden biri 'Teslimat' kriteridir. Literatür incelendiğinde 'Teslimat' ile ilgili; 'Zamanında Teslim Edilen Mal Yüzdesi', 'Taşımayı Gerçekleştiren Taraf', 'Doğru Miktarda Teslim' gibi alt kriterlerin yer aldığı görülmektedir. Çalışmanın yapıldığı kurumda ise ihale şartları gereğince tüm taşıma süreçlerinden ve zamanında ve doğru miktarda ürünü teslim etmekten tedarikçi firma sorumludur. Kurumda teslimat miktarı ile ilgili bir veri tutulmamaktadır ve teslimat kriteri ile ilgili ulaşılabilen tek veri gecikme süresi ile ilgili veridir. Bu nedenlerle çalışmanın gerçekleştirildiği kurumun özellikleri dikkate alındığında 'Teslimat' kriteri için başka bir alt kriter çalışmaya eklenememiştir.

Diğer taraftan tek bir alt kritere sahip bir diğer kriter ise 'Teknik/Üretim Yeterliliği' kriteridir. Bu kriter için, 'Makine, Ekipman, Teçhizat Yeterliliği' ve 'Personel Niteliği/Yeterliliği' alt kriterleri önerilmiştir. Uzman ile yapılan toplantı sonucunda ihaleye başvurulduğu sırada işletmelerden bu yeterlilikler ile ilgili belgelerin alındığı ve belgeleri tamamlayamayan işletmelerin ihaleye katılım sağlayamadığı belirtilmiştir. Uzman değerlendirmesi sonucunda işletmeleri makine, ekipman, teçhizat yeterlilikleri konusunda, halihazırda istenen asgari yeterliliği sağladıkları varsayımı altında, birbirleri ile kıyaslanarak çalışmaya eklenebileceği belirtilmiştir.

Bu nedenlerle yapılan araştırmalar sonucunda 'Teknik/Üretim Yeterliliği' kriteri için başka bir alt kriter eklemesi yapılamamıştır.

Çalışmada, sayısal puanlama yapılan kriterler için ortalama alınmış, dilsel kriterler ise ilk olarak sayısal ifade edilmiş, daha sonra ortalaması alınmış ve son olarak ortalamanın karşılık geldiği dilsel değişken uzman görüşünü temsil etmiştir.

#### 4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında üç farklı yöntem kullanılarak kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin sıralama üzerindeki etkisi incelenmiş ve literatüre yeni kazandırılan LBWA yönteminin tedarikçi seçimi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır.

AHP yöntemi, kriter ağırlıklandırma da sıklıkla kullanılması, etkin çözümler vermesi ve diğer yöntemler ile birlikte kullanılabilir olması sebebi ile çalışmada tercih edilmiştir. Diğer taraftan öznel kriterlerin sayısının fazla olması sebebi ile BAHF yöntemi çalışmaya dahil edilmiştir. LBWA yöntemi ise literatüre yeni kazandırılmış olması ve tedarikçi seçimi üzerindeki etkinliğinin değerlendirilmesi konusunda literatürdeki eksikliğin giderilmesi amacıyla ile çalışmaya dahil edilmiştir.

##### 4.1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Uygulama için belirlenen kriterler; işletme veri tabanından elde edilen nesnel veriler, uzman tarafından değerlendirilen öznel veriler ve tedarikçilerin kurumsal sayfalarından elde edilen verileri içermektedir. Her bir kriter Saaty'nin önem dereceleri ölçeğine göre uzman tarafından puanlanmıştır. Daha sonra ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılması yapılmış, geometrik ortalama yöntemi kullanılarak göreceli önem vektörleri

hesaplanmıştır. Denklem (1-3)'e göre tutarlılık testleri yapılmış ve tüm matrislerin tutarlı olduğu görülmüştür. Son olarak ana kriter ve alt kriterlerin görelî önem vektörleri çarpılarak bileşik görelî önem vektörü hesaplanmıştır. Görelî önem vektörleri ve bileşik görelî önem vektörleri Tablo 6'da verilmiştir.

Yöntem sonucunda en önemli kriter 'Gecikme Süresi' olarak belirlenmiş olup 2. sırada 'Ret Yüzdesi', 3. sırada ise 'Makine Ekipman Teçhizat Yeterliliği' kriteri bulunmuştur.

Tablo 6

Görelî ve Bileşik Görelî Önem Vektörleri

| Ana Kriterler   | GÖV    | Alt Kriterler                       | GÖV    | BGÖV   |
|-----------------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| Kalite          | 0,375  | Ret Yüzdesi                         | 0,4669 | 0,1751 |
|                 |        | Kalite İyileştirme Performansı      | 0,1603 | 0,0601 |
|                 |        | Kalite Belge Sayısı                 | 0,0953 | 0,0357 |
|                 |        | Kalite Kontrol Birimi Varlığı       | 0,2776 | 0,1041 |
| Teslimat        | 0,2917 | Gecikme Süresi                      | 0,2917 | 0,2917 |
| Genel Durum     | 0,2083 | Güvenilirlik                        | 0,4000 | 0,0833 |
|                 |        | Tecrübe                             | 0,2000 | 0,0417 |
|                 |        | Geçmiş Dönem Performansı            | 0,4000 | 0,0833 |
| T/Ü Yeterliliği | 0,1250 | Makine Ekipman Teçhizat Yeterliliği | 0,1250 | 0,1250 |

Tablo 7

Ana Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

|                 | Kalite        | Teslimat      | Genel Durum | T/Ü Yeterliliği |
|-----------------|---------------|---------------|-------------|-----------------|
| Kalite          | (1,1,2)       | (1,2,3)       | (2,3,4)     | (3,4,5)         |
| Teslimat        | (1/3,1/2,1)   | (1,1,2)       | (1,2,3)     | (2,3,4)         |
| Genel Durum     | (1/4,1/3,1/2) | (1/3,1/2,1)   | (1,1,2)     | (1,2,3)         |
| T/Ü Yeterliliği | (1/5,1/4,1/3) | (1/4,1/3,1/2) | (1/3,1/2,1) | (1,1,2)         |

Tablo 8

Ana Kriterlerin Bulanık Ağırlıkları

|             | Geometrik Ortalama |       |       | Bulanık Ağırlık |       |       | Ortalama | Normalizasyon |
|-------------|--------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|----------|---------------|
|             | l                  | m     | u     | l               | m     | u     | Mi       | Ni            |
| Kalite      | 1,565              | 2,213 | 3,309 | 0,206           | 0,467 | 0,985 | 0,553    | 0,448         |
| Teslimat    | 0,901              | 1,316 | 2,213 | 0,119           | 0,278 | 0,659 | 0,352    | 0,285         |
| Genel Durum | 0,536              | 0,758 | 1,316 | 0,071           | 0,160 | 0,392 | 0,207    | 0,168         |
| T/Ü Yet.    | 0,358              | 0,450 | 0,758 | 0,047           | 0,095 | 0,226 | 0,123    | 0,099         |

Son olarak ana ölçüt ve alt ölçütler için hesaplanan bulanık ağırlıklar birleştirilerek global bulanık ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Global puanların sıralanması ile nihai kriter sırası oluşturulmaktadır. Her bir kriter için global ağırlık puanları Tablo 9'da

#### 4.1.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Yöntemin ilk adımı Hiyerarşik AHP modelinin oluşturulmasıyla başlamaktadır. Hiyerarşik yapı Şekil 2'de belirtilmiştir. Uygulamanın devamında Klasik AHP'de oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri üçgensel bulanık sayı dönüştürme cetveli kullanılarak bulanık sayılara çevrilmiştir. Ana kriterlerin bulanık sayılar ile ifade edilmesi Tablo 7'de gösterilmiştir.

Elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri durulaştırılarak geometrik ortalamalar hesaplanmıştır. Geometrik ortalama Denklem (4) ve (5) yardımı ile her (l, m, u) üçgensel bulanık sayısı için hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

verilmektedir. Yöntem sonucunda en önemli kriter 'Gecikme Süresi' olarak belirlenmiş olup 2. sırada 'Ret Yüzdesi', 3. sırada ise 'Kalite Kontrol Birimi Varlığı' gelmektedir.

Tablo 9

## Global Bulanık Ağırlıklar

| Ana Kriterler   | Ana Kriter Ağırlıkları | Alt Kriterler                       | Alt Kriter Ağırlıkları | Global Ağırlık |
|-----------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------|
| Kalite          | 0,4478                 | Ret Yüzdesi                         | 0,4580                 | 0,2051         |
|                 |                        | Kalite İyileştirme Performansı      | 0,1490                 | 0,0667         |
|                 |                        | Kalite Belge Sayısı                 | 0,1016                 | 0,0455         |
|                 |                        | Kalite Kontrol Birimi Varlığı       | 0,2914                 | 0,1305         |
| Teslimat        | 0,2849                 | Gecikme Süresi                      | 0,2849                 | 0,2849         |
| Genel Durum     | 0,1680                 | Güvenilirlik                        | 0,4211                 | 0,0707         |
|                 |                        | Tecrübe                             | 0,2229                 | 0,0374         |
|                 |                        | Geçmiş Dönem Performansı            | 0,3560                 | 0,0598         |
| T/Ü Yeterliliği | 0,0993                 | Makine Ekipman Teçhizat Yeterliliği | 0,0993                 | 0,0993         |

#### 4.1.3 Düzey Temelli Ağırlık Değerlendirmesi (LBWA)

LBWA Yöntemi uygulanırken ilk olarak kriter kümesi oluşturulmaktadır. 9 kriterin yer aldığı uygulama için kriter kümesi  $S = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9\}$  (ret yüzdesi, kalite iyileştirme performansı, kalite belge sayısı, kalite kontrol biriminin varlığı, gecikme süresi, güvenilirlik, tecrübe, geçmiş dönem performansı, makina ekipman teçhizat yeterliliği) şeklindedir.

Uzman görüşü alınarak en önemli kriter  $C_1$  (ret yüzdesi) olarak belirlenmiştir. Her bir kriter en önemli kriter ile kıyaslanarak kriter seviyeleri oluşturulmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kriter seviyeleri oluşturulurken alt kriter puanları değil ana kriter puanları dikkate alınarak seviyelendirme yapılmasıdır. Bu yaklaşım ile AHP'deki hiyerarşik yapı korunmaktadır. Oluşturulan seviyeler; 1. seviye 'kalite ve teslimat' ana kriterleri altında yer alan  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  alt kriterleri, 2. seviye 'tedarikçinin genel durumu' ana kriteri altında yer alan  $C_6, C_7, C_8$  alt kriterleri ve 3. seviye 'teknik/üretim yeterliliği' ana kriteri altında yer alan  $C_9$  alt kriteridir.

Her bir kriter değeri ataması yapıldıktan sonra  $r$  değeri Denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır. Uygulamanın devamında sırasıyla; esneklik katsayısı ( $r_0$ ) belirlenmiş, etki fonksiyonu ( $f$ ) ve kriter önem ağırlıkları ( $w$ ) hesaplanmıştır.

Esneklik katsayısı,  $r_0 > r$  olacak şekilde belirlenmiştir. Farklı esneklik katsayılarının sıralama üzerinde etkisinin olup olmadığı duyarlılık analizi ile incelenmiş ve sıralamanın farklı esneklik katsayılarından etkilenmediği gözlemlenmiştir. Etki fonksiyonu, Denklem (13) kullanılarak hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları hesaplanırken iki farklı Denklem kullanılmaktadır. Denklem (14) en önemli kriter ağırlığının belirlenmesinde kullanılırken Denklem (15) diğer kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uygulamadan elde edilen etki fonksiyonları ve ağırlıklar Tablo 10'da verilmiştir. Yöntem sonucunda en önemli kriter 'Ret Yüzdesi' ve 'Gecikme Süresi' olup eşit ağırlıktadır. 2. sırada 'Kalite Kontrol Biriminin Varlığı', 3. sırada ise 'Kalite İyileştirme Performansı' gelmektedir.

Tablo 10

## Kriterler İçin Etki Fonksiyonları ve Ağırlıklar

| Kriter   | Atanan Değer | Etki Fonksiyonu | Kriter Ağırlığı |
|----------|--------------|-----------------|-----------------|
| Seviye 1 | I            | F               | w               |
| $C_1$    | 0            | 1,000           | 0,17834         |
| $C_2$    | 2            | 0,750           | 0,13376         |
| $C_3$    | 3            | 0,667           | 0,11890         |
| $C_4$    | 1            | 0,857           | 0,15287         |
| $C_5$    | 0            | 1,000           | 0,17834         |
| Seviye 2 |              |                 |                 |
| $C_6$    | 0            | 0,500           | 0,08917         |
| $C_7$    | 1            | 0,462           | 0,08231         |
| $C_8$    | 0            | 0,500           | 0,08917         |
| Seviye 3 |              |                 |                 |
| $C_9$    | 0            | 0,333           | 0,05945         |

## 4.2. Alternatiflerin Seçimi

### 4.2.1. Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS)

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan üç farklı yöntemin (AHP, BAHP ve LBWA) her biri COPRAS ile birleştirilerek alternatiflerin sırası belirlenmiştir. Öncelikle karar matrisi Denklem (17) kullanılarak normalize edilmiştir. Ardından, AHP yönteminde elde edilmiş olan ağırlıklar kullanılarak Denklem (18) yardımıyla ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Faydalı kriterler 'Kalite İyileştirme Performansı', 'Kalite Belge Sayısı', 'Kalite Kontrol Biriminin Varlığı', 'Güvenilirlik', 'Tecrübe', 'Geçmiş Dönem Performansı' ve 'Makine Ekipman Teçhizat Yeterliliği' olarak belirlenmiştir. Faydasız kriterler ise 'Ret Yüzdesi' ve 'Gecikme Süresi' olarak belirlenmiştir.  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri Denklem (19) ve Denklem (20) kullanılarak hesaplanmıştır.  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri

hesaplandıktan sonra alternatifler için göreceli önem vektörü ( $Q_i$ ) Denklem (21) kullanılarak hesaplanmıştır.

Son adımda alternatifler için performans indeksi ( $P_i$ ) Denklem (23)'ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Uygulama sonucu AHP yöntemi için elde edilen  $P_i$  değerleri Tablo 11'de verilmiştir. Elde edilen sıralamaya göre performans değeri en yüksek tedarikçi 100 puan ile Tdr48 olarak belirlenmiştir. İzleyen sırada 97,49 puan ile Tdr18 ve 85,73 puan ile Tdr21 gelmektedir.

BAHP ile elde edilen sıralamaya göre performans değeri en yüksek tedarikçi 100 puan ile Tdr48 olarak belirlenmiştir. İzleyen sırada 98,16 puan ile Tdr18 ve 85,87 puan ile Tdr21 gelmektedir (Tablo 11). LBWA ile elde edilen sıralamaya göre performans değeri en yüksek tedarikçi 100 puan ile Tdr18 olarak belirlenmiştir. İzleyen sırada 98,41 puan ile Tdr48 ve 86,50 puan ile Tdr21 gelmektedir. Tablo 11'de her bir yöntem için tüm alternatiflerin puanları verilmiştir.

Tablo 11

Her Bir Yöntem İçin Alternatiflerin  $P_i$  Puanları

| Alternatif | AHP   | BAHP  | LBWA   | Alternatif | AHP    | BAHP   | LBWA  |
|------------|-------|-------|--------|------------|--------|--------|-------|
| Tdr1       | 12,63 | 11,99 | 20,20  | Tdr32      | 13,07  | 11,95  | 16,94 |
| Tdr2       | 9,11  | 8,66  | 15,05  | Tdr33      | 4,97   | 4,40   | 9,20  |
| Tdr3       | 13,27 | 11,66 | 16,08  | Tdr34      | 8,11   | 7,84   | 13,55 |
| Tdr4       | 12,50 | 11,77 | 21,72  | Tdr35      | 3,67   | 3,03   | 5,81  |
| Tdr5       | 10,84 | 9,77  | 15,04  | Tdr36      | 5,22   | 5,45   | 9,31  |
| Tdr6       | 24,13 | 23,13 | 27,38  | Tdr37      | 2,67   | 2,49   | 5,62  |
| Tdr7       | 17,95 | 17,19 | 22,83  | Tdr38      | 4,82   | 3,91   | 6,31  |
| Tdr8       | 15,67 | 13,90 | 18,08  | Tdr39      | 9,66   | 9,18   | 15,47 |
| Tdr9       | 13,19 | 12,50 | 20,18  | Tdr40      | 11,09  | 10,23  | 15,87 |
| Tdr10      | 3,22  | 2,60  | 4,58   | Tdr41      | 10,47  | 9,83   | 17,15 |
| Tdr11      | 11,17 | 10,16 | 17,01  | Tdr42      | 8,17   | 6,69   | 11,45 |
| Tdr12      | 10,10 | 8,82  | 13,95  | Tdr43      | 11,63  | 10,62  | 14,92 |
| Tdr13      | 9,66  | 7,99  | 11,51  | Tdr44      | 32,06  | 31,48  | 38,17 |
| Tdr14      | 6,12  | 4,98  | 8,68   | Tdr45      | 5,81   | 4,84   | 8,52  |
| Tdr15      | 8,07  | 7,84  | 13,47  | Tdr46      | 11,76  | 11,09  | 19,63 |
| Tdr16      | 4,54  | 3,67  | 5,74   | Tdr47      | 14,99  | 14,11  | 21,17 |
| Tdr17      | 32,59 | 31,99 | 36,65  | Tdr48      | 100,00 | 100,00 | 98,41 |
| Tdr18      | 97,49 | 98,16 | 100,00 | Tdr49      | 8,25   | 7,24   | 8,54  |
| Tdr19      | 9,28  | 8,29  | 12,40  | Tdr50      | 7,54   | 7,14   | 11,48 |
| Tdr20      | 14,31 | 13,52 | 20,22  | Tdr51      | 12,65  | 11,81  | 19,00 |
| Tdr21      | 85,73 | 85,87 | 86,50  | Tdr52      | 13,04  | 12,43  | 19,92 |
| Tdr22      | 6,06  | 4,90  | 8,09   | Tdr53      | 17,19  | 15,44  | 20,42 |
| Tdr23      | 22,60 | 21,91 | 28,12  | Tdr54      | 21,88  | 20,23  | 20,36 |
| Tdr24      | 9,86  | 9,81  | 18,90  | Tdr55      | 2,80   | 2,45   | 5,25  |
| Tdr25      | 4,18  | 3,60  | 6,20   | Tdr56      | 9,37   | 9,03   | 16,44 |
| Tdr26      | 6,62  | 5,54  | 10,02  | Tdr57      | 7,78   | 7,29   | 11,84 |
| Tdr27      | 5,15  | 4,35  | 7,95   | Tdr58      | 13,20  | 12,73  | 24,65 |
| Tdr28      | 11,30 | 10,43 | 18,14  | Tdr59      | 10,42  | 10,10  | 17,52 |
| Tdr29      | 2,18  | 2,09  | 4,80   | Tdr60      | 3,36   | 2,86   | 5,89  |
| Tdr30      | 9,57  | 8,92  | 14,78  | Tdr61      | 16,44  | 15,61  | 21,76 |
| Tdr31      | 9,86  | 9,29  | 16,40  |            |        |        |       |

## 5. Sonuçlar

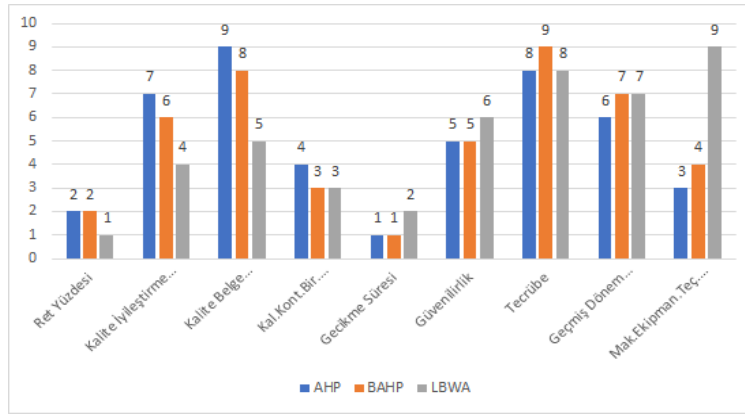
Çalışmada, demiryolları sektöründe faaliyet gösteren bir kamu kurumunda tedarikçi değerlendirme problemi ele alınmıştır. Kullanılan kriterler uzman görüşü ile belirlenmiş olup 9 kriter üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Kriterlerin ve alt kriterlerin seçimi aşamasında 4734 sayılı kamu ihale kanunu ile "Bulgular" bölümünde yapılan açıklamalar göz önünde bulundurulmuştur. İşletmenin tedarikçi listesinde yer alan 61 tedarikçi için değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada belirtilmesi gereken iki kısıt bulunmaktadır: Bu kısıtlardan ilki, çalışmanın kamu kurumunda gerçekleştirilmesi ve tedarikçiler ile yapılacak anlaşmaların Kamu İhale Kanunu'na göre belirleniyor olmasıdır. Bu durum çalışma üzerinde özellikle kriterlerin belirlenmesi konusunda sınırlayıcı olmuştur. Çalışmadaki bir diğer kısıt ise süre ile ilgilidir. Süre kısıtı nedeniyle çalışmanın kapsamı tek bir yılın verilerini içerecek şekilde sınırlandırılmıştır. Çalışmada farklı

kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin, alternatiflerin sırası üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak literatüre yeni kazandırılan LBWA yöntemi ile tedarikçi değerlendirme problemleri üzerindeki etkinliği kanıtlanmış olan AHP ve BAHP yöntemleri kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanmasında ise COPRAS yöntemi tercih edilmiştir.

Şekil 3'te bu çalışmada kullanılan her üç kriter ağırlıklandırma yöntemi - AHP, BAHP ve LBWA - ile elde edilen kriter sıralamaları verilmiştir. Sıralamalar incelendiğinde AHP ve BAHP yöntemlerinin kriterleri benzer şekilde sıraladığı, buna karşın LBWA ile elde edilen sıralamanın daha farklı olduğu görülmektedir.

Uzman görüşü ile belirlenen en önemli tedarikçi seçimi kriteri 'Kalite' ana kriteri olup LBWA yöntemi ile elde edilen sıralamada 'Kalite' alt kriterlerinin ağırlık puanlarının diğer yöntemlerden elde edilen puanlara göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.



Şekil 3. Yöntemlere Göre Kriter Sıraları

Tablo 12'de 61 tedarikçinin yöntemler temelinde sıraları verilmektedir. Buna göre Tdr6, Tdr17, Tdr18, Tdr21, Tdr23, Tdr44 ve Tdr48 en iyi yedi tedarikçi olup her üç yöntemde de benzer şekilde sıralanmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, öznel kriterlerin fazla olduğu durumlarda AHP yönteminin belirsizlikleri gidermede eksik kaldığı, bu sebeple BAHP yönteminin tercih edildiği gözlemlenmiştir. Buna karşın çalışmamızda öznel kriterler sayıca fazla olmasına rağmen sıralamada her iki yöntem de benzer sonuçlar vermiştir.

Uygulamanın amaçlarından biri de literatüre yeni kazandırılan LBWA yönteminin tedarikçi değerlendirme problemi üzerindeki etkinliğinin araştırılmasıdır. LBWA yönteminin etkinliği araştırılırken, hali hazırda tedarikçi değerlendirme problemleri üzerindeki etkinliği kanıtlanmış olan AHP ve BAHP yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ve uzman görüşü referans alınmıştır.

Elde edilen sıralamalar incelendiğinde ve uzman görüşüne de başvurulduğunda, firma için en iyi sıralamanın LBWA-COPRAS yönteminden elde edilen sıralama olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak LBWA yönteminin tedarikçi değerlendirme problemlerinde etkin sonuçlar verdiği görülmüştür. Yöntem tercih edilirken kriter ağırlıklarının uzman görüşünden etkilendiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Literatür incelendiğinde kamu sektöründe tedarikçi seçimi problemine yeterince yer verilmediği gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebi kamu sektöründe görülen çeşitli kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalardan biri, kamu sektöründe alımların kamu ihale kanununa göre yapılmasıdır. Kamu ihale kanunu, uygulamada kullanılacak kriterleri de sınırlamaktadır. Buna göre, mevcut çalışmanın bir kamu kurumunda uygulanarak literatürde yer alan bu boşluğu doldurması hedeflenmiştir. Bu şekilde kamu kurumunda

kullanılabilecek kriterler konusunda literatüre katkı sağlamaktadır.

## 6. Yönetmelik Bulgular ve Gelecek Çalışma Önerileri

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamada kullanılan kriterler birçok açıdan analiz edilerek kamu kurumları için uygun hale getirilmiştir. Bu sebeple, kamu kurumlarında tedarikçi seçim problemi üzerine çalışılmak istendiği takdirde çalışmada kullanılan kriterler referans alınabilir.

Çalışmanın sonucu LBWA-COPRAS yöntemi ile elde edilen sıralamanın en iyi sıralama olduğunu göstermektedir. LBWA yönteminin tedarikçi seçim

problemleri üzerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmekte olup tedarikçi seçimi konusunda yapılacak olan çalışmalarda LBWA yöntemi kullanılabilir.

Bu çalışmada LBWA yöntemi AHP ve BAHP yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda yöntem başka yöntemler ile karşılaştırılabilir. Ayrıca COPRAS dışında, alternatif sıralanmasında kullanılan diğer yöntemler ile entegre edilip edilemeyeceği araştırılabilir.

Kısaca, gelecek çalışmalarda kamu sektörüne uygun bir şekilde kriterler genişletilebilir. Ayrıca LBWA yönteminin diğer yöntemlerle başarılı bir şekilde entegre edilip edilemeyeceği incelenebilir ve bu entegre yöntemlerin tedarikçi seçimi problemi üzerindeki etkinliği araştırılabilir.

Tablo 12

Tedarikçilerin AHP, BAHP ve LBWA Yöntemleri Kullanılarak Elde Edilmiş Sıralamaları

| Alternatif | AHP | BAHP | LBWA | Alternatif | AHP | BAHP | LBWA |
|------------|-----|------|------|------------|-----|------|------|
| Tdr1       | 21  | 18   | 16   | Tdr32      | 18  | 19   | 27   |
| Tdr2       | 39  | 37   | 33   | Tdr33      | 52  | 51   | 47   |
| Tdr3       | 15  | 22   | 30   | Tdr34      | 42  | 40   | 38   |
| Tdr4       | 22  | 21   | 11   | Tdr35      | 56  | 56   | 56   |
| Tdr5       | 28  | 31   | 34   | Tdr36      | 50  | 47   | 46   |
| Tdr6       | 6   | 6    | 7    | Tdr37      | 60  | 59   | 58   |
| Tdr7       | 9   | 9    | 9    | Tdr38      | 53  | 53   | 53   |
| Tdr8       | 12  | 13   | 23   | Tdr39      | 34  | 33   | 32   |
| Tdr9       | 17  | 16   | 17   | Tdr40      | 27  | 26   | 31   |
| Tdr10      | 58  | 58   | 61   | Tdr41      | 29  | 29   | 25   |
| Tdr11      | 26  | 27   | 26   | Tdr42      | 41  | 45   | 44   |
| Tdr12      | 31  | 36   | 37   | Tdr43      | 24  | 24   | 35   |
| Tdr13      | 35  | 39   | 42   | Tdr44      | 5   | 5    | 4    |
| Tdr14      | 47  | 48   | 48   | Tdr45      | 49  | 50   | 50   |
| Tdr15      | 43  | 41   | 39   | Tdr46      | 23  | 23   | 19   |
| Tdr16      | 54  | 54   | 57   | Tdr47      | 13  | 12   | 12   |
| Tdr17      | 4   | 4    | 5    | Tdr48      | 1   | 1    | 2    |
| Tdr18      | 2   | 2    | 1    | Tdr49      | 40  | 43   | 49   |
| Tdr19      | 38  | 38   | 40   | Tdr50      | 45  | 44   | 43   |
| Tdr20      | 14  | 14   | 15   | Tdr51      | 20  | 20   | 20   |
| Tdr21      | 3   | 3    | 3    | Tdr52      | 19  | 17   | 18   |
| Tdr22      | 48  | 49   | 51   | Tdr53      | 10  | 11   | 13   |
| Tdr23      | 7   | 7    | 6    | Tdr54      | 8   | 8    | 14   |
| Tdr24      | 33  | 30   | 21   | Tdr55      | 59  | 60   | 59   |
| Tdr25      | 55  | 55   | 54   | Tdr56      | 37  | 34   | 28   |
| Tdr26      | 46  | 46   | 45   | Tdr57      | 44  | 42   | 41   |
| Tdr27      | 51  | 52   | 52   | Tdr58      | 16  | 15   | 8    |
| Tdr28      | 25  | 25   | 22   | Tdr59      | 30  | 28   | 24   |
| Tdr29      | 61  | 61   | 60   | Tdr60      | 57  | 57   | 55   |
| Tdr30      | 36  | 35   | 36   | Tdr61      | 11  | 10   | 10   |
| Tdr31      | 32  | 32   | 29   |            |     |      |      |



### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Meryem ULUSKAN, makale konusunun kararlaştırılması, yöntemlerin belirlenmesi, araştırma sonuçlarının incelenmesi, bilimsel yazın araştırması ve makalenin oluşturulması; Dilşad TOPUZ, makale konusunun kararlaştırılması, bilimsel yazın araştırması, veri derleme, yöntemlerin belirlenerek uygulanması ve makalenin oluşturulması; Cansel ÇİMEN, makale konusunun kararlaştırılması, bilimsel yazın araştırması, veri derleme, yöntemlerin belirlenerek uygulanması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Akar, G. S. ve Çakır, E. (2016). Lojistik sektöründe bütünleştirilmiş bulanık AHP-MOORA yaklaşımı ile personel seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(2), 185-199. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/203632>
- Benyoucef, L., Ding, H. & Xie, X. (2003). *Supplier selection problem: Selection criteria and methods (Report No. 4726)*. Unité de recherche INRIA Lorraine: HAL Open Science. Retrieved from <https://hal.inria.fr/inria-00071860>
- Biswas, S. & Pamučar, D. (2020). Facility location selection for b-schools in Indian context: A multi-criteria group decision based analysis. *Axioms*, 9(3), 77. doi: <https://doi.org/10.3390/axioms9030077>
- Božanić, D., Jurišić, D. & Erkić, D. (2020b). LBWA-Z-MAIRCA model supporting decision making in the army. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(2), 87-110. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta2003087b>
- Božanić, D., Ranđelović, A., Radovanović, M. & Tešić, D. (2020a). A hybrid LBWA-IR-MAIRCA multi-criteria decision-making model for determination of constructive elements of weapons. *Facta Universitatis Series Mechanical Engineering*, 18(3), 399-418. doi: <https://doi.org/10.22190/FUME200528033B>

Cheng, C. H. & Mon, D. L. (1994). Evaluating weapon system by analytical hierarchy process based on fuzzy scales. *Fuzzy Sets and Systems*, 63(1), 1-10. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(94\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0165-0114(94)90140-6)

Çınaroğlu, E. (2019). Fortune 500 listesinde yer alan otomotiv sektörü firmalarının SWARA destekli COPRAS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 593-611. doi: <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.548359>

Dağdeviren, M. ve Eren, T. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 16(2), 41-52. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76413>

Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5-17. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>

Durmaz, D. E., Akgündüz E. ve Şahin, R. (2017). Tedarikçi seçim probleminde Hedef Programlama ve Moora yöntemi: Uygulama çalışması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(3), 1021-1044. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/459758>

Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2010). ELECTRE ve bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(2), 23-45. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211043>

Ghodsypour, S. H. & O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56(57), 199-212. doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)

Güner, H. (2005). *Bulanık AHP ve bir işletme için tedarikçi seçim probleminde uygulanması* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli. Erişim adresi: <http://acikerisim.pau.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11499/1203/Hacer%20Güner.pdf>

- Jokić, Z., Božanić, D. & Pamučar, D. (2021). Selection of fire position of mortar units using LBWA and fuzzy MABAC model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(1), 115-135. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta20401156j>
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A. & Malinauskas, P. (2006). Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A lithuanian case. *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.005>
- Kara, İ. ve Ecer, F. (2016). AHP-VIKOR entegre yöntemi ile tedarikçi seçimi: Tekstil sektörü uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 255-272. doi: <https://doi.org/10.16953/deusbed.78956>
- Karaatlı, M. ve Davras, G. (2014). Tedarikçi seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama yöntemlerinin kombinasyonu: Otel işletmelerinde bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(24), 182-196. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/203336>
- Kaya, Ö. O. (2010). *Bulanık hedef programlama yaklaşımı ile tedarikçi seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programı, İstanbul. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/2389/0047363.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ömürbek, N. ve Akçakaya, E. (2018). Forbes 2000 listesinde yer alan havacılık sektöründeki şirketlerin ENTROPİ, MAUT, COPRAS ve SAW yöntemleri ile analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(1), 257-278. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/52998/703202>
- Özçelik, T. O. ve Eryılmaz, S. A. (2019). Traktör imalatında çok kriterli karar verme yöntemleri ile tedarikçi seçimi [Özel sayı]. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 498-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.590418>
- Pamučar D., Behzad M., Božanić D. & Behzad M. (2021). Decision making to support sustainable energy policies corresponding to agriculture sector: Case study in Iran's Caspian Sea coastline. *Journal of Cleaner Production*, 292, 125302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125302>
- Pamučar, D., Deveci, M., Canitez, F. & Lukovac, V. (2020b). Selecting an airport ground access mode using novel fuzzy LBWA-WASPAS-H decision making model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 93, 103703. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103703>
- Pamučar, D., Žižović, M., Marinković, D., Doljanica, D., Jovanović, S.V. & Brzaković, P. (2020a). Development of a multi-criteria model for sustainable reorganization of a healthcare system in an emergency situation caused by the Covid-19 pandemic. *Sustainability*, 12(18), 7504. doi: <https://doi.org/10.3390/su12187504>
- Prakash T. N. (2003). Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multi-criteria decision making approach. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede*, 1(68), 61-84. Retrieved from [http://www.iirs.gov.in/iirs/sites/default/files/StudentThesis/final\\_thesis\\_prakash.pdf](http://www.iirs.gov.in/iirs/sites/default/files/StudentThesis/final_thesis_prakash.pdf)
- Saaty, T. L. (1971). On polynomials and crossing numbers of complete graphs. *Journal of Combinatorial Theory Series A*, 10(2), 183-184. doi: [https://doi.org/10.1016/0097-3165\(71\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0097-3165(71)90024-0)
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 24(6), 19-43. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saaty, T. L. & Niemira, M. P. (2006). A framework for making a better decision. *Research Review*, 13(1), 1-4. Retrieved from [https://www.who.int/immunization/sage/2\\_Framework\\_Better\\_decision\\_Saaty.pdf](https://www.who.int/immunization/sage/2_Framework_Better_decision_Saaty.pdf)
- Saaty, T. L. & Tran, L. T. (2007). On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 962-975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.022>
- Supçiller, A. A. ve Çapraz O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması [Özel

- sayı]. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 0(13), 1-22. Erişim adresi:  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuekois/issue/8980/112036>
- Ting, S. C. & Cho, D. I. (2008). An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 116-127. doi:  
<https://doi.org/10.1108/13598540810860958>
- Torkayesh, A. E., Pamučar, D., Ecer, F. & Chatterjee, P. (2021). An integrated BWM-LBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe. *Socio-Economic Planning Sciences*, 78, 101052. doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101052>
- Van Laarhoven, P. J. & Pedrycz, W. (1983). A Fuzzy Extension of saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11 (1-3), 229-241. doi:  
[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80082-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7)
- Yazdani, M., Pamučar, D., Chatterjee, P. & Torkayesh, A. E. (2021). A multi-tier sustainable food supplier selection model under uncertainty. *Operations Management Research*. 15(1), 116-145. doi:  
<https://doi.org/10.1007/s12063-021-00186-z>
- Yıldırım, B. F. ve Timor, M. (2019). Bulanık ve gri COPRAS yöntemleri kullanılarak tedarikçi seçim modeli geliştirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(2), 283-310. doi:  
<https://doi.org/10.17541/optimum.548505>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy algorithms. *Information and Control*, 12(2), 94-102. doi:  
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(68\)90211-8](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(68)90211-8)
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A. & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological And Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139. Retrieved from  
<https://www.researchgate.net/publication/285902199>
- Žižović, M. & Pamučar, D. (2019). New model for determining criteria weights: Level based weight assessment (LBWA) model, *Decision Making. Applications in Management and Engineering*, 2(2), 2620-0104. Retrieved from  
<https://doi.org/10.31181/dmame1902102z>

## POLİMER KOMPOZİT VE ÇELİK DİSKE KARŞI CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİ-ETER-ETER-KETON (PEEK) KOMPOZİTİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ

Hüseyin ÜNAL<sup>1\*</sup>, Salih Hakan YETGİN<sup>2</sup>, Veysel Furkan ÜNAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, SAKARYA,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0521-6647>

<sup>2</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/MERSİN.

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6068-9204>

<sup>3</sup> Johannes Kepler University, Faculty of Engineering, Dept. of Polymer Engineering, Linz, AUSTRIA.

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6639-0393>

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| PEEK<br>Cam Elyaf<br>Aşınma<br>Sürtünme<br>Termoset poliester | <i>Bu çalışmada, ağırlıkça %30 cam elyaf (CE) katkılı poli-eter-eter-keton (PEEK) polimerinin termoset poliester kompozit ve AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı kuru ortam şartları altında sürtünme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Sürtünme ve aşınma çalışmaları pim-disk aşınma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma ve sürtünme testleri 1000 m kayma mesafesinde, 0.5 m/s kayma hızında ve 20, 40 ve 60 N yük altında yapılmıştır. Çalışma sonucunda, her iki disk için uygulanan yükün artması ile PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı artmıştır. En düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı, sırasıyla 0.24 ve <math>3.31 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}</math> değerleri ile 20 N yük altında AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanıldığında elde edilmiştir.</i> |

## WEAR BEHAVIOURS OF GLASS FIBER REINFORCED POLY-ETHER-ETHER-KETONE COMPOSITE (PEEK) VERSUS POLYMER COMPOSITE AND STEEL COUNTERPARTS

| Keywords  | Abstract  |
|---|---|
| PEEK<br>Glass fiber<br>Wear<br>Friction<br>Thermoset polyester. | <i>In this study, the friction and wear behaviors of 30wt.% glass fiber reinforced poly-ether-ether-ketone (PEEK) have been studied versus thermoset polyester composite and AISI 316L steel counterparts under dry sliding conditions. Friction and wear studies were carried out using a pin-on-disc wear test rig. Friction and wear tests were run at 1000 m sliding distance, 0.5 m/s sliding speed and under the applied load of 20, 40 and 60 N. The results show that the coefficient of friction and specific wear rate of glass fiber reinforced PEEK composites increased with increasing applied load for both of discs. The lowest coefficient of friction and specific wear rate were obtained when using AISI 316L steel disc under 20 N load with a value of 0.24 and <math>3.31 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}</math>, respectively.</i> |

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Araştırma Makalesi          | Research Article             |
| Başvuru Tarihi : 10.03.2022 | Submission Date : 10.03.2022 |
| Kabul Tarihi : 04.10.2022   | Accepted Date : 04.10.2022   |

### 1. Giriş

Geleneksel malzemelerin yerini alan polimer malzemelerin uygulama alanları sürekli artmaktadır. Poli-eter-eter-keton (PEEK) polimeri yarı-kristalli yüksek performanslı termoplastik polimerlerinden birisidir. Oldukça yüksek termal direnç (camsı geçiş sıcaklığı,  $T_g \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , ergime sıcaklığı  $T_m \sim 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

kullanım sıcaklığı  $T_k \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bozunma sıcaklığı  $T_b \sim 580 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Kemmiş, 2010; Zhang, Wetzel ve Wang, 2015), kimyasal direnç ve olağanüstü mekanik özelliklere sahip PEEK polimeri bilimsel çalışmaların merkezi haline gelmiş ve mühendislik, havacılık, uzay ve özellikle sağlık/biomedikal uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur. Yüksek sıcaklıklarda termal kararlılık

\* Sorumlu yazar; e-posta : unal@sakarya.edu.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

gerektiren bu uygulamalar nedeniyle PEEK polimeri, poli-fenilen-sülfür (PPS), poli-benzimidazol (PBI) ve poli-imid (PI) gibi metaller ile karşılaştırılabilen birkaç polimerden birisidir. Buna ek olarak, PEEK polimeri yüksek dayanım ve modül, mükemmel tokluk ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri nedeniyle tribolojik ve mekanik uygulamalar için bu gruptaki en uygun polimer türüdür. PEEK polimerinin gerek mekanik gerekse tribolojik özelliklerini geliştirmek için en başarılı yöntemlerden bir tanesi cam elyaf ve karbon elyaf gibi fiberlerin üretim esnasında ilave edilmesidir (En-Zhong, Bin-Shi, Hai-Dou ve Wei-Ling, 2013; Ganesh ve Dhamejani, 2016; Haofei, Xujing, Kai, Yazhuo ve Wenjun, 2019; Hüseyin, Abdullah ve Ahmet, 2017; Kumar ve Rajmohan, 2019; Laux, Jean, Sue, Bremner ve Wong, 2016; Mir ve Charoo, 2019; Nevin, Sadi ve Taner, 2016; Song, Liu, Wang, Liao ve Liu, 2015; Zhang ve diğ., 2015).

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

PEEK polimerinin sürtünme katsayısının ve aşınma oranının belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. PEEK polimeri ile ilgili yapılan çalışmalarda elyaf miktarının, ortam şartlarının (kuru/sulu), uygulanan yükün, kayma hızının, sıcaklığın ve disk yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir. Kumar ve Rajmohan (2019) çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) katkılı PEEK kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, kuru ortam şartları altında, pim-disk sistemi kullanılarak uygulanan yükün (10-50 N), kayma hızının (0.63-3.0 m/s) ve ortam sıcaklığının (75-120 °C) sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Artan yük ve ortam sıcaklığının sürtünme katsayısını artırdığı belirtilmiştir. PEEK polimerine ilave edilen ÇDKNT katkının aşınma direncini geliştirdiği belirtilmiştir. Düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci 1.6 m/s kayma hızında, 42 N yük altında, 80 °C ortam sıcaklığında ve %0.8ÇDKNT içeriğinde elde edildiği belirtilmiştir. Ganesh ve Dhamejani (2016) uygulanan kuvvet (2-8kg) ve ortam sıcaklığının (50-100-150 °C) PEEK ve ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK kompozitin kuru ortam şartları altındaki tribolojik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK kompozitin 150 °C sıcaklık altında PEEK polimerine göre aşınma direncini %75 oranında geliştirdiği belirtilmiştir. Ayrıca, 80 N yükte ve kuru kayma şartlarında PEEK kompozitin aşınma direncinin geliştiği belirtilmiştir. Uygulanan yükün artması ise aşınma oranını azaltmıştır. Özel, Abdullah ve Hüseyin (2015) farklı oranlarda (%20-30) cam elyaf ve karbon elyaf katkılı PEEK, PTFE, PA66 ve PA46 kompozitlerinin 20-60 N yük aralıklarında, kuru ortam şartları altında ve pim-disk sistemini kullanarak tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda artan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığı belirlenmiştir. En düşük aşınma oranının ağırlıkça %20 cam elyaf katkılı PTFE kompozitinde elde edildiği

belirtilmiştir. Li, Guo, Wang, Xu ve Liu (2013) PEEK ve ağırlıkça %30 kısa cam elyaf katkılı PEEK kompozitin oda sıcaklığında bilye-disk sistemi kullanılarak aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, uygulanan yük (100-400 N) ve kayma süresinin (30-120 dak.) sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı üzerine etkisi de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan yük ve kayma süresi ile sürtünme katsayısının ve ağırlık kaybının başlangıçta hızlı bir şekilde arttığı daha sonrasında ise sabit kaldığı belirtilmiştir. Cam elyaf katkılı PEEK kompozitin aşınma direncinin geliştiği belirtilmiştir. Lind, Lindholm, Qin ve Kassman (2015) karbon fiber, PTFE ve yağlayıcı katkılı PEEK kompozitlerin bilye-disk sistemi ile kuru ortamda aşınma davranışlarını izlemişlerdir. Çalışmada ayrıca uygulanan yük (5-15 N) ve ortam sıcaklığının (23-80-120-150 °C) etkileri de incelenmiştir. 120 °C sıcaklık altında sürtünme katsayısının 0.03 ile 0.3 arasında değiştiği belirtilmiştir. Karbon fiber ve PTFE ilave edilmesi ile hem sürtünme katsayısının hem de aşınma direncinin geliştiği belirtilmiştir. Artan ortam sıcaklığı ile PEEK kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmıştır. En düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı 150 °C sıcaklık altında PTFE katkılı PEEK kompozitinde elde edilmiştir.

Bununla birlikte, sulu ortamlarda çalışan polimerlerin sürtünme ve aşınma davranışlarının kuru sürtünme durumundan çok farklı olduğu bilinmektedir. Suyun emilmesi ve polimer yüzeylerinin plastikleşmesi polimerin sürtünme ve aşınma özelliklerini etkilemektedir. Ünal ve Mimaroglu (2006) karbon fiber katkılı PEEK kompozitlerin sulu ortam şartları altında tribolojik performanslarını incelemişlerdir ve sürtünme katsayısının sulu ortam şartları altında kuru ortama göre çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, Zeng, He ve Yang (1987) takviyeli polimerlerin sürtünme ve aşınma özelliklerine suyun hem yararlı hem de zararlı etkisi olabileceğini belirtmiştir. Suyun, transfer film tabakasının oluşumunu engelleyeceği, elyaf-matris arayüzeyine penetre olup korozif etki yapabileceğini belirtmiştir. Diğer yandan, suyun temas noktasındaki sürtünme ısısını azaltıp temas sıcaklığını azaltacağı ve böylelikle polimerin sertlik ve yorulma ömrü gibi özelliklerinin korunacağı belirtilmiştir. Suyun diğer bir yararlı etkisinin ise sürtünme bölgesinde aşınma kaynaklı partiküllerin uzaklaştırılarak abrasif etkinin azaltılması olarak belirtilmiştir. En-Zhong ve diğ. (2013), uygulanan yük ve kayma hızı gibi parametrelerin kısa cam fiber katkılı PEEK kompozitlerinin kuru ve sulu ortam şartları altında tribolojik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sulu ortam şartları altında cam elyaf katkılı kompozitlerin yüksek aşınma özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir. Yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısının yüksek yüklerde ve sulu ortam şartları altında elde edildiği belirtilmiştir. Sulu ortamın temas noktasında yağlayıcılık etkisi nedeniyle cam elyaf takviyeli PEEK kompozitin ergimesinin engellendiği ve

tribolojik özelliklerin geliştiği belirtilmiştir. Zhong, Xie, Sui ve Yang (2011) kısa karbon elyaf (KE) ve nano-zirkonyum dioksit (ZrO<sub>2</sub>) katkılı PEEK kompozitlerinin farklı yükler kullanarak (2-8 MPa), pim-disk sistemi ile sulu ortam şartları altında tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda özellikle yüksek yüklerde KE ve ZrO<sub>2</sub> katkılarının PEEK kompozitin aşınma direncini geliştirdiği belirtilmiştir. Karbon elyafın aşınma süreci süresince yükün büyük bir çoğunluğunu karşıladığı ve matrisin aşınmasını engellediği belirtilmiştir. Uygulanan yükün artması ile hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının azaldığı belirtilmiştir. Zhang ve diğ. (2015) blok-halka aşınma sistemini kullanarak PEEK polimerinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar, hem kuru ortamda hem de dizel gibi yağlayıcı ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kuru ortam şartları altında 0.45 civarında sürtünme katsayısı elde edilirken dizel ortamında sürtünme katsayısı 0.1 civarında elde edilmiştir. Thiago, Helio ve Amilton (2019) pim-disk sistemi ile şanzıman yağı kullanarak PEEK polimerinin tribolojik özelliklerini incelemiştir.

Aşınma direncinin artırılıp sürtünme katsayısının azaltılmasının en önemli yöntemlerinden birisi de uygun polimer-metal veya polimer-polimer malzeme kombinasyonunun seçilmesidir. Dolayısıyla tribolojik testlerde, ortam şartlarının, yükün, hızın ve sıcaklığın yanında karşı disk malzemesinin de polimer malzeme ile uyumlu olması gerekmektedir. Song ve diğ. (2015) cam elyaf katkılı PEEK polimerinin bilye-disk sistemi kullanarak hem kuru hem de yenidoğan buzağı serumu (newborn calf serum) (NCS) ortamında çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) ve poli-tetra-flor-etilen (PTFE) polimer disklere karşı tribolojik özelliklerini çalışmışlardır. Hüseyin ve diğ. (2017) ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK kompozitlerin kuru ortam şartları altında pim-disk sistemi kullanarak tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Karşı disk malzemesi olarak ağırlıkça %10 PTFE katkılı PEEK polimeri ile ağırlıkça %40 cam elyaf katkılı PPS polimeri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, artan yük ile birlikte PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığı belirlenmiştir. PEEK/30CE kompozitin, PEI/10%PTFE disk ile çalıştığı en iyi tribolojik performansı gösterdiği belirlenmiştir. Brockett ve diğ. (2012) kalça protezi için karbon fiber katkılı PEEK kompozitin seramik üzerindeki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, PEEK polimerinin biotribolojik performansının elyaf takviyesi ile geliştirilebileceği belirtilmiş ve kullanılan polimer-seramik sürtünme yatağının klinik ihtiyaçları karşılayabileceği belirtilmiştir. Elektriksel uygulamalarda kullanılan bazı parçalarda hem elektriksel yalıtıcılık, hem mekanik performans hem de yüksek aşınma direnci istenmektedir. Bu sebeple bu çalışmada ağırlıkça %30 oranında cam elyaf takviyeli poli-eter-eter-keton (%30CE/PEEK) polimer kompoziti seçilmiştir. Aynı

zamanda aşınmanın meydana geldiği çalışma ortamında karşı temas malzemesinden de hem yalıtıcılık hem de belirli bir mukavemet değeri beklenmektedir. Bu sebeple karşı disk malzeme olarak termoset esaslı kompozit malzeme seçilmiştir. Geleneksel olarak triboloji deneylerinde yaygın olarak kullanılan çelik malzeme de kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Yani, ağırlıkça %30 oranında cam elyaf takviyeli poli-eter-eter-keton (%30CE/PEEK) polimer kompozitin, AISI 316L paslanmaz çelik ile termoset poliester kompozit disklere karşı kuru kayma çalışma ortamındaki aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Elektriksel uygulamalarda kullanılabilirliği hakkında fikir oluşturulmuştur. Deneyler disk üzerinde pim düzeneği bulunan bir aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik testler, 0.5 m/s kayma hızında 20, 40 ve 60 N yük altında gerçekleştirilmiştir.

### 3. Yöntem

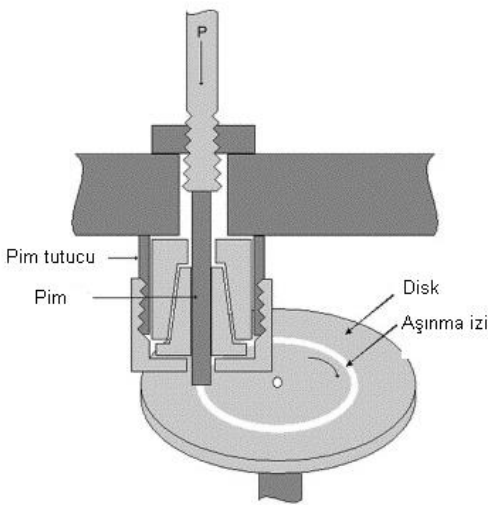
Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimer kompozit çubuk formunda ekstrüzyonla üretilmiş olup Ketron GF30 PEEK ticari adı ile Quadrant Plastics firmasından temin edilmiştir. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimer kompozitin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Aşınma deneyleri, ASTM G99 standardına uygun olarak pim-disk aşınma cihazında ve kuru ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan termoplastik pim malzemeler (PEEK+%30CE), özel olarak imal edilmiş enjeksiyon kalıpları kullanarak ERAT marka bir enjeksiyon makinasında 250-280 °C ısıtıcı sıcaklık aralığında ve 100 bar enjeksiyon basıncında 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda olacak şekilde kalıplanmıştır. Enjeksiyonla kalıplama işleminden önce matris malzemesi 80 °C fırın ortamında 4 saat süresince kurutulmuştur. Tribolojik testlerde, karşı disk malzeme olarak ağırlık olarak %25 oranında uzun cam elyaf takviyeli ve %40 oranında kalsiyum karbonat katkılı doymamış polyester termoset kompozit malzemesi ve AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deneylerden önce, pim ve disk yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Her test öncesinde hem disk yüzeyleri hem de pim yüzeyleri asetonla temizlenip kurutulmuştur. Şekil 1'de tribolojik testlerin gerçekleştirildiği pim-disk aşınma cihazının şematik resmi verilmiştir. Pim-disk test makinası, makinanın ana gövdesi üzerine monte edilmiş bir elektrik motoru, bir yük kolu, bir elektronik yük hücresi ve verilerin gönderildiği bir bilgisayardan meydana gelmektedir. Aşınma cihazının ana gövdesinde dönen bir disk vardır. Bu disk aşınma cihazına bağlı olan 2 kW gücünde bir elektrik motoru sayesinde dönmektedir. Diskin üzerine deneylerde kullanılan çelik ve termoset poliester kompozit disk malzemeleri bir vida yardımıyla bağlanır. Kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile 6 mm çapındaki polimer pim kola bağlanmıştır. Makine çalıştırıldığında, pim numunesinin diske sürtünmesiyle pim numunesinin bağlı olduğu kol aparatı da disk

dönme yönüne hareket etmek istemektedir. Bu ileriye doğru olan hareket yanal kuvveti vermektedir. Bu yanal kuvvet ise bir yük hücresi (Load-cell) ile ölçülmüştür. Alınan veriler aynı zamanda direk bilgisayarda Excel programında depolanmıştır. Deneylerde dakikada 1000 yanal yük verisi alınmış aynı zamanda deneylerde kullanılan yüke bölünerek Excel programında grafik haline getirilmiştir. Deneylerde kullanılan termoplastik esaslı polimerlerinin tribolojik deneyleri proses şartları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1

### Deneylerde Kullanılan PEEK/30CE Polimer Kompozitin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri.

| Özellikler                         | Birimi               | Standart     | PEEK+%30CE |
|------------------------------------|----------------------|--------------|------------|
| Yoğunluk                           | (g/cm <sup>3</sup> ) | ISO1183/-1   | 1.51       |
| Çekme mukavemeti                   | (MPa)                | ISO527-1/-2  | 80         |
| Kopmadaki uzama                    | %                    | ISO527-1/-2  | 3.5        |
| Elastiklik modülü                  | (MPa)                | ISO527-1/-2  | 7000       |
| Charpy çentik darbe mukavemeti     | (kJ/m <sup>2</sup> ) | ISI179-1/1eA | 3          |
| Ergime sıcaklığı                   | (°C)                 | ISO11357-1/3 | 340        |
| Isıl deformasyon sıcaklığı, 1.8MPa | (°C)                 | ISO575-1/-2  | 230        |
| 24 saatte su emme (23 °C)          | (%)                  | ISO62        | 0.05       |
| Doymada su emme (23 °C)            | %                    | -            | 0,35       |
| Sertlik                            | Shore D              | ISO868       | 87         |
| Sürekli çalışma sıcaklığı          | (°C)                 | -            | 250        |
| Minimum çalışma sıcaklığı          | (°C)                 | -            | -20        |
| Yanmazlık sınıfı, 3 mm             |                      | UL94         | V-0        |
| Pim PEEK polimer kompozit          |                      |              |            |



Şekil 1. Pim-Disk Aşınma Test Cihazı Şematik Gösterimi

Tablo 2

### Pim-Disk Aşınma Testi İçin Deney Şartları

| Parametreler               | Deney şartları |
|----------------------------|----------------|
| Yük (N)                    | 20, 40, 60     |
| Kayma hızı (m/s)           | 0.50           |
| Sıcaklık (°C)              | 22±2           |
| Nem (%)                    | 57±2           |
| Kayma mesafesi (m)         | 1000           |
| Yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) | 0.35-0.40      |

Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin, normal uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilir ve Eşitlik 1 ile hesaplanır. Burada,  $\mu$ : Sürtünme katsayısını,  $F_S$ : Yanal sürtünme kuvveti (N) ve  $F_N$  ise Normal kuvveti (N) ifade eder.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (1)$$

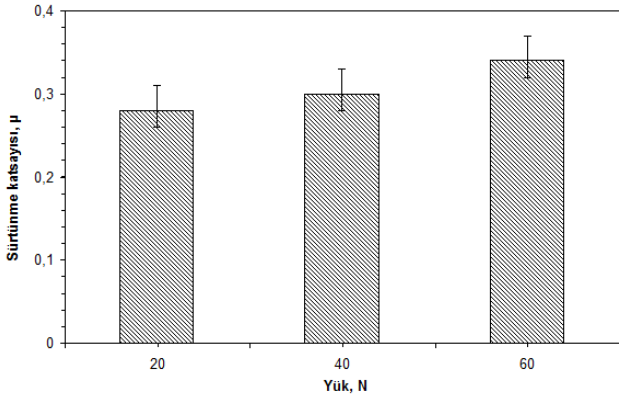
Her bir aşınma testinden önce ve sonra PEEK esaslı kompozit pimlerin ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) tespit edilmiştir. Eşitlik 2’de verilen formül kullanılarak, aşınma test numunelerinin spesifik aşınma hızları ( $K_o$ ) hesaplanmıştır. Burada;  $\Delta m$ : ağırlık kaybı (g),  $L$ : kayma mesafesi (m),  $\rho$ : malzemenin yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>),  $F$ : uygulanan yük (N). Her bir aşınma testi en az üç kez tekrarlanmış olup ortalama değerler verilmiştir.

$$K_o = \frac{\Delta m}{L * \rho * F} \quad (2)$$

Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## 4. Bulgular

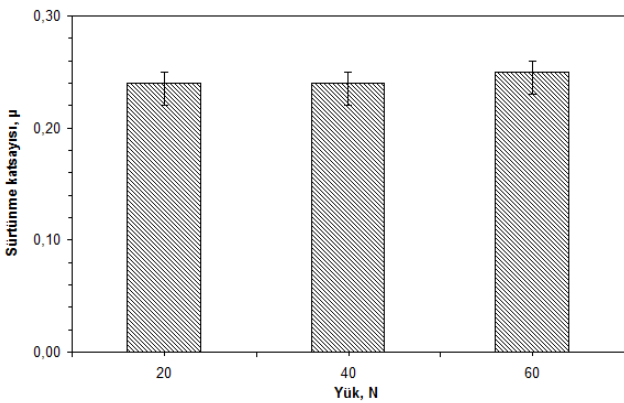
Şekil 2’de ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK polimerinin 0.5 m/s kayma hızında 20-40-60 N yük aralıklarında termoset poliester kompozit diske karşı sürtünme katsayısı sonuçları verilmiştir. 20 N yük altında PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısı 0.28 iken, 40 N yük altında 0.30 ve 60 N yük altında ise 0.34 olarak elde edilmiştir. Uygulanan yükün 20 N’den 60 N’a artırılması ile PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısı %21.4 oranında artmıştır. En-Zhong ve diğ. (2013) uygulanan yükün %200 oranında artırılması ile sürtünme katsayısının %14 oranında artarak 0.28’den 0.32’ye arttığını, uygulanan yükün daha da artırılması ile sürtünme katsayısı değerinin 0.36’ya ulaştığını belirtmişlerdir.



Şekil 2. PEEK/30CE Polimer Kompozitin Termoset Poliester Kompozit Diske Karşı Sürtünme Katsayısı-Yük Grafiği

Şekil 3'te ise ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK polimerin AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı sürtünme katsayısı sonuçları verilmiştir. Uygulanan yüke bağlı olarak PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısının değişmediği belirlenmiştir. 20-60 N yük aralıklarında PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısı 0.24-0.25 elde edilmiştir. Bilindiği gibi PEEK polimeri viskoelastik bir malzemedir ve uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim Eşitlik 3 ile açıklanmaktadır. Bu denkleme göre artan yük ile birlikte sürtünme katsayısı azalmaktadır. Ancak uygulanan yük, PEEK/30CE kompozitlerin limit değerlerine ulaştığında, hem sürtünme katsayısı hem de aşınma oranı artmaktadır. Bunun sebebi ise sürtünme ısısının temas noktasındaki sıcaklığı artırarak polimer zincirlerinin yumuşamasına sebep olmasıdır (En-Zhong ve diğ., 2013). Burada,  $\mu$ : sürtünme katsayısı, N: uygulanan yük, K ve n ise malzeme ile ilgili sabitlerdir ve "n" değeri  $2/3 < n < 1$  arasındadır.

$$\mu: KN^{(n-1)} \quad (3)$$



Şekil 3. PEEK/30CE Kompozitin AISI 316L Paslanmaz Çelik Diske Karşı Sürtünme Katsayısı-Yük Grafiği

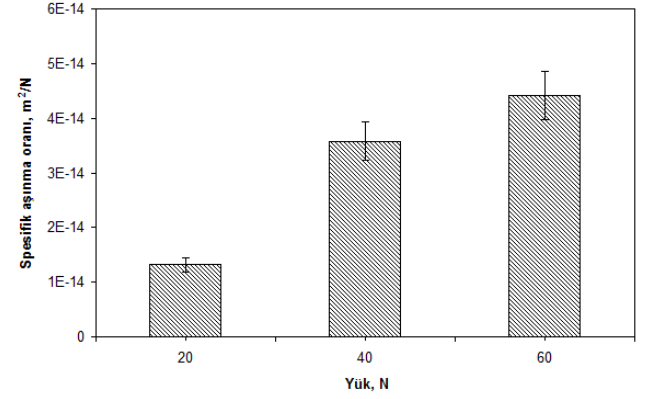
Kuru sürtünme durumunda, sürtünme kaynaklı sıcaklığın, sürtünme katsayısı üzerinde güçlü bir etkisi olduğu Song ve diğ. (2015) tarafından da bildirilmiştir. Uygulanan sıcaklığın camsı geçiş sıcaklığı (143 °C) altında olduğu durumlarda, PEEK polimerinin sürtünme katsayısının düşük olduğu, camsı geçiş sıcaklığında (143 °C-152 °C) sürtünme katsayısının aniden arttığı ve 180 °C üzerindeki sıcaklıklarda sürtünme katsayısının çok yüksek değerlerde elde edildiği belirtilmiştir. Sabit 60 N yük altında, termoset poliester kompozit disk ve paslanmaz çelik diskin PEEK/30CE kompozitin sürtünme katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde, termoset poliester kompozit diskin paslanmaz çelik diske göre sürtünme katsayısının %36 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ise paslanmaz disk yüzeyinden oluşan ve disk ile polimer arasındaki teması azaltan ince bir transfer film tabakasının oluşumudur. Oluşan bu transfer film tabakası, aşınma prosesi devam ettiğinde kararlı hal aşamasında daha düşük sürtünme katsayısı elde edilmesine sebep olmuştur. Bilindiği gibi, aşınma prosesi süresince, metal-metal, polimer-metal ve polimer-polimer arasında meydana gelen malzeme transferi aşınma ve sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Birçok pratik sistemde, iki malzemenin uyumsuzluğu ve metalik malzemenin ısı transfer özellikleri nedeniyle metal-polimer teması tercih edilmektedir. Bazı durumlarda, iki farklı polimer arasında da temas durumu mevcuttur. Polimer-metal temasında transfer polimerden metale doğru gerçekleşirken polimer-polimer sistemlerinde bu durum çok net değildir. Kayma hızı, yük, atmosfer, sıcaklık, polimer türü, kristallik, mekanik özellikler, yüzey pürüzlülüğü ve karşı diskin kimyasal bileşimi gibi birçok parametre transfer film tabakasının oluşumunu etkilemektedir (Bahadur, 2000). Jain ve Bahadur (1978) polietilen (PE) film ile politetrafloretillen (PTFE), polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP) ve polimetilmetakrilat (PMMA) diskler ile polietilenteraftalat (PET) film ile PE ve PVC disklerin aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, malzeme transferinin her zaman düşük enerji yoğunluğuna sahip polimerden yüksek enerji yoğunluğuna sahip polimere gerçekleştiğini belirtmiştir. Ayrıca, transfer film tabakası kalınlığının tribolojik özellikler üzerine etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Ancak, Abdulaziz, Wen ve Li (2019) ise TiO<sub>2</sub> katkılı PEEK polimerlerinin çelik diske karşı aşınma özelliklerini inceledikleri çalışmada, PEEK polimerinin karşı disk yüzeyinde düzensiz ve ince bir film tabakası oluşturduğunu, TiO<sub>2</sub> katkılı PEEK kompozitlerin ise daha düzenli ve daha kalın bir transfer tabakası oluşturduğunu belirtmiştir. Yapılan bu çalışmada da, artan yük ile birlikte, PEEK/30CE kompozitin çelik disk ile çalıştığı durumda, PEEK polimerinden kırılarak ayrılan cam elyafların aşınma yüzeyinde homojen olarak şekillendiği ve oluşan transfer film tabakası ile düşük sürtünme katsayısı ve



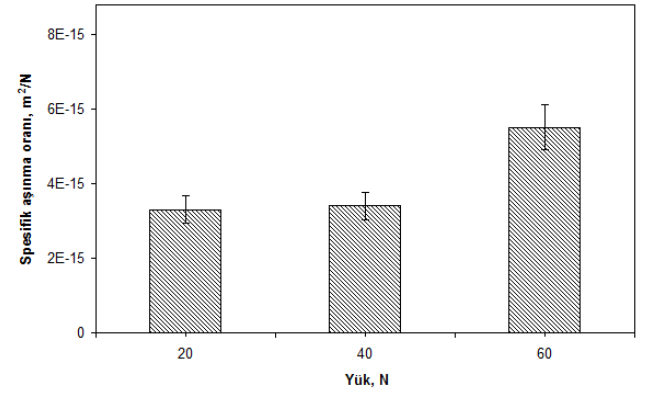
aşınma oranının elde edildiği belirlenmiştir. Benzer bir sonuç You, Du-Xin, Gao, Ruo ve Xin (2016) tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir. Uygulanan yük aralıkları içinde düşük sürtünme katsayısı 20 N yük altında 0.24 değeri ile paslanmaz çelik disk kullanıldığında elde edilmiştir.

Şekil 4 ve 5'te uygulanan yüke bağlı olarak sırasıyla termoset poliester kompozit disk ve AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimerinin kuru kayma şartları altındaki spesifik aşınma oranı verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi termoset poliester kompozit diskteki aşınma oranı  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N civarında iken AISI 316L paslanmaz çelikteki aşınma oranı  $10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N civarında elde edilmiştir. PEEK/30CE polimerinin aşınma oranı hem uygulanan yükten hem de karşı disk malzemesinden etkilenmiştir. Artan temas basıncı ile aşınma oranı artmıştır. Yükün %200 oranında artmasıyla termoset poliester kompozit diske karşı çalışan PEEK/30CE polimerinin aşınma oranı  $1.32 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N'dan  $4.41 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N'a artmıştır. Benzer şekilde uygulanan yükün 20 N'dan 60 N'a artırılması ile AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı çalışan PEEK/30CE polimerinin aşınma oranı  $3.31 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N'dan  $5.51 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N'a artmıştır. Şayet kompozitteki fiber ve matris arasında zayıf bir bağlanma mevcut ise fiberler, aşınma süresince kolaylıkla kırılacaktır. Kırılan fiberler, matris tarafından desteklenemediği için (fiber ve matris arasındaki zayıf bağlanma nedeni ile) uygulanan yükü taşıyamazlar ve aşınmayı önlemek yerine matristen kolaylıkla sıyrılırlar. Buna bağlı olarak, bu durum aşınma oranının artması ile sonuçlanmaktadır. Diğer yandan eğer fiber-matris arasında kuvvetli bir bağlanma mevcut ise fiberler matris tarafından desteklenecektir ve uygulanan yükü karşılayacaktır. Sonuç olarak, fiberlerin matristen sıyrılması yerine fiber aşınması, incilmesi ve kırılması meydana gelecektir. Bu durumda ise aşınma miktarı azalır aşınma direnci artacaktır (En-Zhong ve diğ., 2013; Nevin ve diğ., 2016). Zhong ve diğ. (2011) ise uygulanan yükün aşınma özelliklerini farklı yollar ile etkilediğini belirtmiştir. Malzemeler arasındaki sürtünme nedeniyle ısı oluşumunun meydana geleceğini ve temas yüzeylerinde sıcaklığın artacağını belirtmiştir. Artan yük ile birlikte kuru kayma şartları altında temas yüzeylerindeki sıcaklığın daha da artacağı, böylelikle, polimer yüzeyinin yumuşayacağı ve yük taşıma kapasitesinin azalarak şiddetli aşınmaya sebep olacağı belirtilmiştir.

60 N yük altında PEEK/30CE polimerinin kullanılan diske göre aşınma oranları değerlendirildiğinde AISI 316L paslanmaz çelik disk, termoset poliester kompozit diske göre aşınma oranını %700 oranında azaltmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi zayıf bağlanma nedeni ile kırılan fiberler karşı diske transfer olacaktır. Bu proses nedeniyle metal karşı disk ile çalışan polimer malzeme, transfer film tabakası oluşturacaktır. Kuru aşınma şartlarında, polimerin aşınma davranışı karşı disk



Şekil 4. PEEK/30CE Kompozitin Termoset Polyester Kompozit Diske Karşı Aşınma Oranı-Yük Grafiği

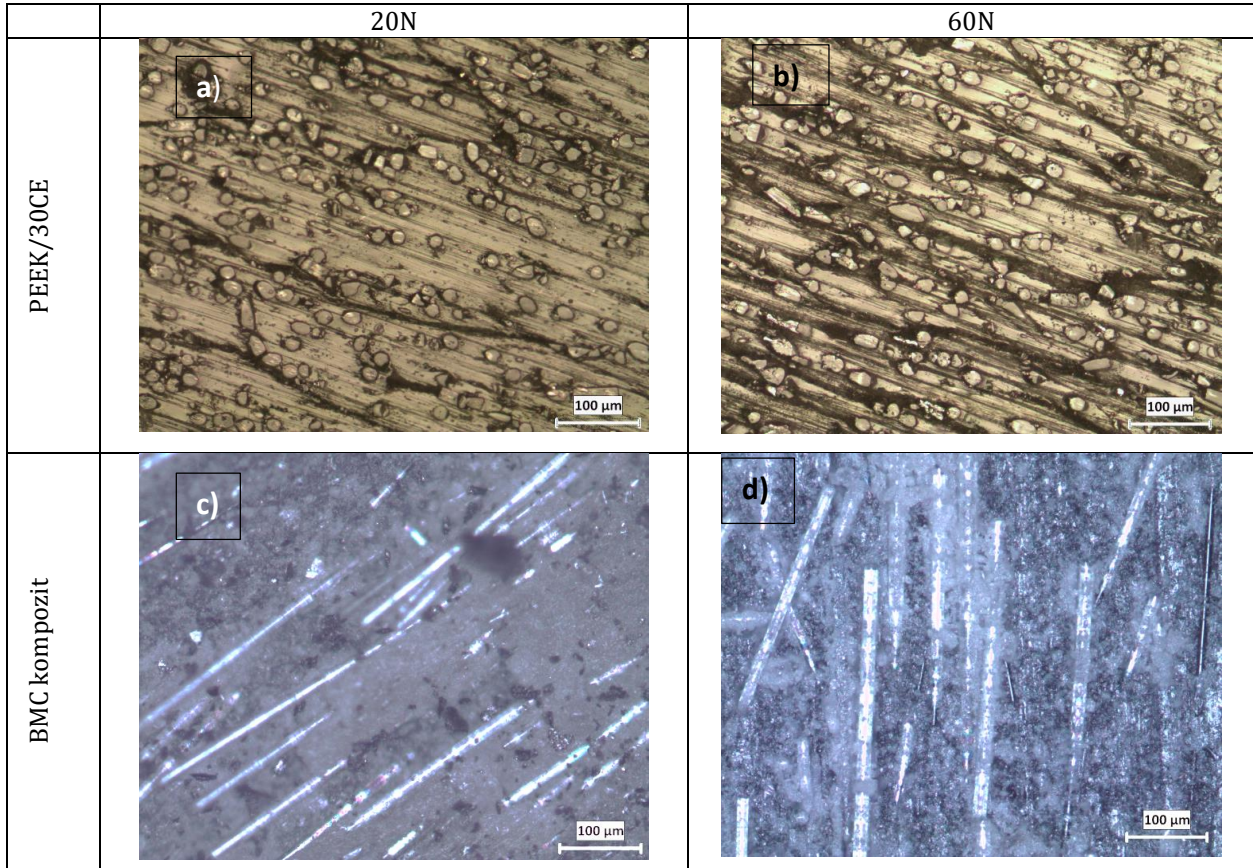


Şekil 5. PEEK/30CE Kompozitin AISI 316L Paslanmaz Diske Karşı Aşınma Oranı-Yük Grafiği

yüzeyinde şekillenen transfer film tabakasının şekline bağlıdır. Dolayısıyla temas halindeki yüzeyler arasındaki arayüzeyin kimyasal ve mekanik özellikleri aşınma direncinin kontrolünde önemli rol oynamaktadır (Nevin ve diğ., 2016). Benzer bir açıklama Kumar ve Rajmohan (2019) tarafından yapılan çalışmada da belirtilmiştir. Azalan spesifik aşınma oranının sebebinin karşı çelik disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakası olduğu belirtilmiştir. Uygulanan 20-60 N yük aralıklarında en yüksek aşınma oranı 60 N yük altında  $4.41 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile termoset polyester kompozit disk kullanıldığında elde edilirken en düşük aşınma oranı 20 N yük altında  $3.31 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanıldığında elde edilmiştir. Sonuç olarak, ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimeri ile AISI 316L paslanmaz çelik disk malzemesi en iyi tribolojik özellikleri göstermiştir. 20 N ve 60 N yüklere maruz kalan PEEK/30CE kompozit pim ve BMC termoset polyester kompozit disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri Şekil 6 (a-d)'de verilmiştir. Bilindiği gibi karşı disk malzeme bünyesinde ağırlık olarak %25 oranında uzun cam elyaf ve %40 oranında kalsiyum karbonat katkı bulunmaktadır. PEEK

polimeri bünyesinde de %30 oranında kısa elyaf bulunmaktadır. 20N yük altında gerçekleştirilen aşınma testi sonucunda hem PEEK kompoziti hem de BMC kompozit yüzeylerinde az sayıda derin ve geniş olmayan aşınma izleri gözlenmiştir (Şekil 6 a ve c). 60 N yük altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda Şekil 6b'de görülen PEEK kompoziti aşınma yüzeyi mikroyapı incelemelerinde aşınma yüzeylerinde daha derin ve geniş aşınma izleri görülmüştür. BMC kompozit disk

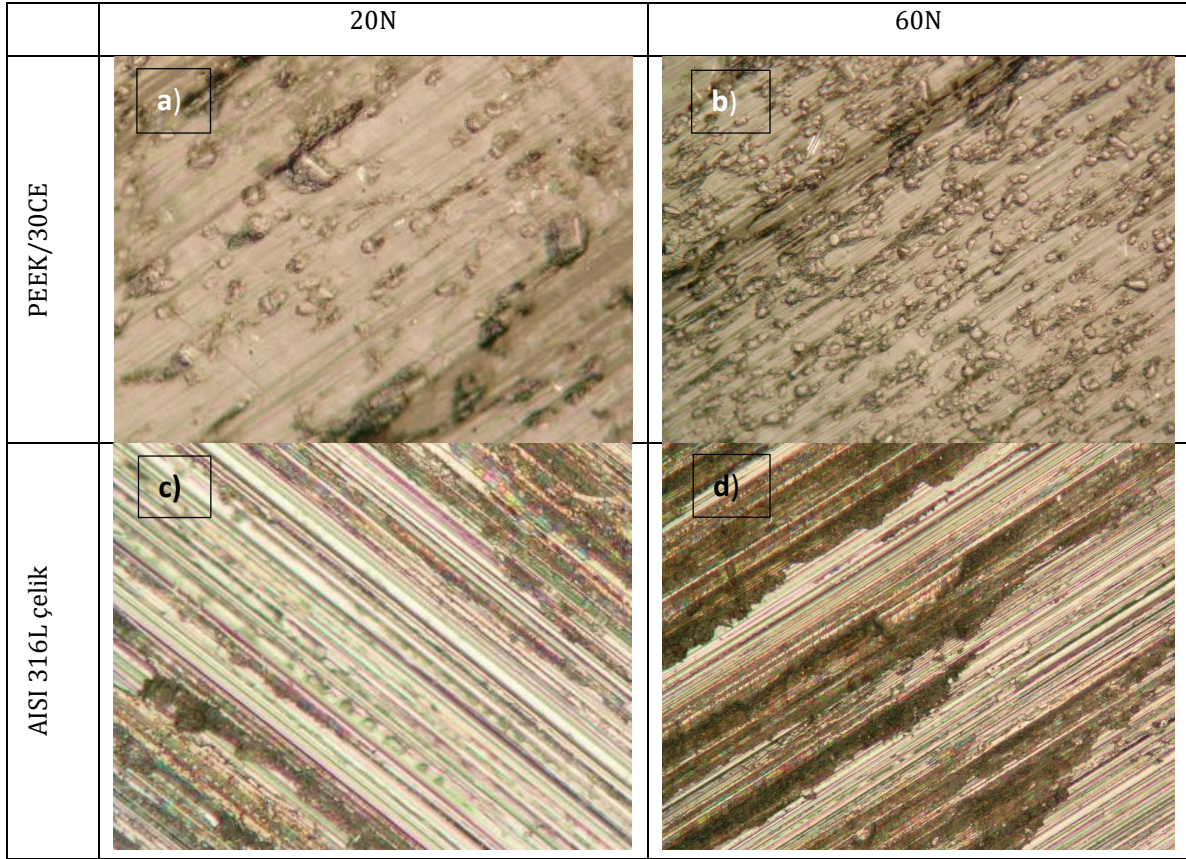
bünyesindeki cam elyaflar aşınmaya karşı direnç gösterirken kalsiyum karbonat katkı ise disk yüzeyinde daha fazla aşınmanın olmasına sebep olmuştur. Oluşan partiküller de disk yüzeyinde Şekil 6(d)'de görülmektedir. Yükün yüksek olması (60 N) PEEK kompozit/BMC kompozit diski çiftinde hem sürtünme katsayısı hem de aşınma oranının artmasına sebep olmuştur (Şekil 2 ve Şekil 4). Bu aşınma çiftinde genel olarak abrazif aşınma mekanizması gözlenmiştir.



Şekil 6. PEEK/30CE Kompozit Pim ve BMC Termoset Polyester Kompozit Disk Aşınma Yüzeyi Mikroyapı Görüntüleri

Şekil 7 (a-d) PEEK/30CE kompozit pim malzemenin 20 N ve 60 N yükler altındaki AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı çalışması durumundaki aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Çelik diske karşı cam elyaf takviyeli PEEK kompozitin çalışmasında hem abrazif hem de adhezif aşınma mekanizması gözlenmiştir. PEEK bünyesindeki cam elyaflar çelik disk yüzeyinde zımparalama görevi yaparken aynı zamanda matrisin aşınarak çelik disk yüzeyine yapıştığı görülmektedir (Şekil 7c ve d). PEEK kompozitin aşınma

yüzey görüntüleri incelendiğinde ve BMC çelik disk görüntüleri ile karşılaştırıldığında PEEK kompozitin aşınma yüzeylerinin daha düzgün olduğu gözlenmiştir. Çelik disk yüzeyindeki pürüzlülüklerin PEEK bünyesindeki cam elyaflar ile zımparalamaya benzer aşınma yaparak azaltılması ve çelik disk yüzeyinde ince bir film tabakasının oluşması PEEK kompozit/çelik disk çiftinin hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının azalmasına sebep olmuştur (Şekil 3 ve Şekil 5).



Şekil 7. PEEK/30CE Kompozit Pim ve AISI 316L Paslanmaz Çelik Disk Aşınma Yüzeyi Mikroyapı Görüntüleri

## 5. Sonuçlar

PEEK/30CE polimerinin kuru ortam şartları altında termoset poliester kompozit disk ve AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı aşınma özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Uygulanan yüke bağlı olarak PEEK/30CE polimerinin sürtünme katsayısı kullanılan diske göre farklılık göstermiştir. termoset poliester kompozit disk kullanıldığında sürtünme katsayısı artarken AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanıldığında değişmemiştir. Yüknün 20 N'dan 60 N'a artırılması ile aşınma oranı artmıştır. termoset poliester kompozit diskteki aşınma oranı  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N civarında iken AISI 316L paslanmaz çelikteki aşınma oranı  $10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N civarında elde edilmiştir. AISI 316L paslanmaz çelik disk, termoset poliester kompozit diske göre aşınma oranını %700 oranında azaltmıştır. Uygulanan 20-60 N yük aralıklarında ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimeri ile AISI 316L paslanmaz disk malzemesi en iyi tribolojik özellikleri göstermiştir.

Sonuç olarak, yüksek mukavemet ve modül, mükemmel tokluk, termal kararlılık ve kimyasal inertlik gibi özelliklere sahip PEEK/30CE polimeri yalıtkan özellikleri ile elektriksel uygulamalarda yüksek aşınma direnci istenen uygulamalarda ve termoset polyster

kompozitin vazgeçilmez olduğu uygulamalarda ve kuru çalışma ortam şartları altında kullanılabilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Hüseyin ÜNAL, deneysel tasarım, makalenin organizasyonu, deneysel sonuçların irdelenmesi; Salih Hakan YETGİN, deneylerin yapılması, deneysel sonuçların irdelenmesi; Veysel Furkan ÜNAL, deneylerin yapılması, deneysel sonuçların irdelenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Abdulaziz K., Wen H.K., Li C. (2019). Tribological behaviour of high performance polymers and polymer composites at elevated temperature, *Tribology International*, 130, 94-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.09.010>

- Bahadur S., (2000). The development of transfer layers and their role in polymer tribology, *Wear*, 245, 92-99. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(00\)00469-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00469-5)
- Brockett C.L., John G., Williams S., Jin Z., Isaac G.H., Fisher J. (2012). Wear of ceramic-on carbon fiber-reinforced poly-ether ether ketone hip replacements, *Journal of Biomedical Materials Research Part B*, 100B, 1459-1465. doi: <https://doi.org/10.1002/jbm.b.32664>
- En-Zhong L., Bin-Shi X., Hai-Dou W., Wei-Ling G. (2013). The tribological behavior of glass fiber-reinforced polyetheretherketone composite under dry sliding and water lubrication, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32 (5), 318-329. doi: <https://doi.org/10.1177/0731684412469135>
- Ganesh K.G., Dr. Dhamejani C. L. (2016). Investigation of tribological behavior of PEEK composite with glass fiber filled under harsh operating condition, *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 2 (1), 271-279.
- Haofei S., Xujing Y., Kai W., Yazhuo W., Wenjun F. (2019). Non-isothermal crystallization kinetics of continuous glass fiber reinforced poly(ether ether ketone) composites, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 369-378. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08245-1>
- Hüseyin U., Abdullah M., Ahmet O. (2017). Friction and wear performance of glass fiber reinforced poly-ether-ether-ketone composite against different polymer counterparts, *MOJ Polymer Science*, 1 (5), 188-190. doi: [10.15406/mojps.2017.01.00030](https://doi.org/10.15406/mojps.2017.01.00030)
- Jain V.K., Bahadur, S. (1978). Material transfer in polymer-polymer sliding, *Wear*, 46 (1), 177-188. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(78\)90119-9](https://doi.org/10.1016/0043-1648(78)90119-9)
- Kemmish D. (2010). Update on the Technology and applications of Polyaryletherketones, ISmithers Rapra Technology.
- Kumar D., Rajmohan T. (2019). Experimental investigation of wear of multiwalled carbon nanotube particles filled poly-ether-ether-ketone matrix composites under dry sliding, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 32 (4), 521-543. doi: <https://doi.org/10.1177/0892705718772869>
- Laux K.A., Jean F.A., Sue H.J., Bremner T., Wong J.S.S. (2016). The influence of surface properties on sliding contact temperature and friction for polyetheretherketone (PEEK), *Polymer*, 103, 397-404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2016.09.064>
- Li E.Z., Guo W.L., Wang H.D., Xu B.S., Liu X.T. (2013). Research on tribological behavior of PEEK and glass fiber reinforced PEEK composite, *Physics Procedia*, 50, 453-460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2013.11.071>
- Lind J., Lindholm P., Qin J., Kassman R.A. (2015). Friction and wear studies of some PEEK materials. *TRIBOLOGIA - Finnish Journal of Tribology*, 2 (33), 20-28.
- Mir A.H., Charoo M.S. (2019). Friction and wear characteristics of polyetheretherketone (PEEK): A review, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 561, 012051. doi: [10.1088/1757-899X/561/1/012051](https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012051)
- Nevin G.K., Sadi D., Taner Y. (2016). Thermal aging and reinforcement type effects on the tribological, thermal, thermomechanical, physical and morphological properties of poly(ether ether ketone) composites, *Composites Part B*, 88, 253-263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.11.013>
- Ozel A., Abdullah M., Hüseyin U. (2015). Tribological performance of polymer composites in use in electrical insulation Applications, *Journal of Industrial Engineering Research*, 1 (11), 20-24.
- Song J., Liu Y.H., Wang S., Liao Z.H., Liu W.Q. (2015). Study on the wettability and tribological behaviors of glass fiber reinforced poly(ether-ether-ketone) against different polymers as bearing materials for artificial cervical disc, *Biotribology*, 4, 18-29. doi: [10.1016/j.biotri.2015.10.001](https://doi.org/10.1016/j.biotri.2015.10.001)
- Thiago F. de A., Helio W., Amilton S. (2019). Tribology of natural Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) under transmission oil lubrication, *Polímeros*, 29 (2), 1-9. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.14416>
- Ünal H., Mimaroglu A., (2006). Friction and wear characteristics of PEEK and its composites under water lubrication, *Journal of Reinforced Plastics*

*Composites*, 16, 1659-1667. doi:  
<https://doi.org/10.1177/0731684406068406>

You Y.L., Du-Xin L., Gao J.S., Ruo Y.L., Xin D. (2016). Improvement in the tribological properties of polyamide 6: Talc, glass fiber, graphite, and ultrahigh-molecular-weight polyethylene, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 29 (4), 494-507. doi: <https://doi.org/10.1177/0892705713519120>

Zeng H., He G., Yang G. (1987). Friction and wear of poly(phenylene sulphide) and its carbon fibre composites: I unlubricated, *Wear*, 116 (1), 59-68. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(87\)90268-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(87)90268-7)

Zhang G., Wetzal B., Wang Q. (2015). Tribological behavior of PEEK-based materials under mixed and boundary lubrication conditions, *Tribology International*, 88, 153-161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.03.021>

Zhong Y.J., Xie G.Y., Sui G.X., Yang R. (2011). Poly(ether ether ketone) composites reinforced by short carbon fibers and zirconium dioxide nanoparticles: Mechanical properties and sliding wear behavior with water lubrication, *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 1711-1720. doi: <https://doi.org/10.1002/app.32847>

**INVESTIGATION OF POLYPS IN ENDOSCOPY IMAGES BY USING DEEP LEARNING ALGORITHM**Emine CENGİZ<sup>1</sup>, Faik YAYLAK<sup>2</sup>, Eyyup GULBANDILAR<sup>3\*</sup><sup>1</sup> Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Merkez Campus, Cınarcık Street, Yalova, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6695-9500><sup>2</sup> Kutahya Health Sciences University, Faculty of Medicine, Department of General Surgery, Evliya Celebi Campus, Kutahya, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1216-0429><sup>3</sup> Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Meselik Campus, Odunpazarı, Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0297-4864>**Keywords***Deep learning, Activation function, Optimization method, Polyp, Endoscopy***Abstract**

Recent advances in machine learning, particularly with regard to deep learning, help to recognize and classify objects in medical images. In this study, endoscopy images were examined and deep learning method was used to classify healthy and polyp cells. For the proposed system, a database was created from the archives of General Surgery Department Endoscopy Unit in Kutahya Evliya Celebi Training and Research Hospital. The database contains 93 polyps and 216 normal images from 54 archive records. For image multiplexing, a total of 1236 images were obtained by rotating each image 90 degrees around its axis. K-fold Cross Validation method was used to reduce the variability of performance results. In this study, 48 different models were created by using different activation and optimization functions to find the best classification model in deep learning. According to the experimental results, it was observed that accuracy of the models depends on the selected parameters; the best model with the accuracy rate of 91% was obtained with 64 neurons in the hidden layer, ReLU activation function and RmsProp optimization method whereas the worst model with the accuracy rate of 76% was obtained with 32 neurons in the hidden layer, Tanh activation and RMSprop optimization functions. Accordingly, classification performance of polyp images can be optimized by utilizing different activation and optimization methods during the design of deep learning models.

**DERİN ÖĞRENME ALGORİTMASI KULLANILARAK ENDOSKOPİ GÖRÜNTÜLERİNDE POLİPLERİN ARAŞTIRILMASI****Anahtar Kelimeler***Derin öğrenme, Aktivasyon fonksiyonu, Optimizasyon metodu, Polip, Endoskopi***Öz**

Makine öğrenimindeki, özellikle derin öğrenmeyle ilgili son gelişmeler, tıbbi görüntülerdeki nesnelere tanımayı ve sınıflandırmaya yardımcı olur. Bu çalışmada endoskopi görüntüleri incelenmiş, sağlıklı ve polipli hücrelerini sınıflandırılması için derin öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Önerilen sistem için Kutahya Evliya Çelebi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Genel Cerrahi Anabilim Dalı Endoskopi Ünitesi arşivlerinden bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı 54 arşiv kaydından; 93 polip ve 216 normal görüntü içermektedir. Görüntü çoğaltma için her görüntü kendi ekseninde 90 derece döndürülerek toplam 1236 görüntü elde edilmiştir. Performans sonuçlarının değişkenliğini azaltmak için K-kat Çapraz Doğrulama yöntemi kullanıldı. Bu çalışmada, derin öğrenmede en iyi sınıflandırma modelini bulmak için farklı aktivasyon ve optimizasyon fonksiyonları kullanılarak 48 farklı model oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlara göre, modellerin doğruluğunun seçilen parametrelere bağlı olduğu; %91 doğruluk oranı ile en iyi model gizli katmandaki 64 nöron, ReLU aktivasyon fonksiyonu

\* Corresponding Author; e-mail : egulbandilar@ogu.edu.tr

*ve RmsProp optimizasyon yöntemi ile elde edilirken, en kötü model %76 doğruluk oranı ile gizli katmandaki 32 nöron, Tanh aktivasyonu, RMSprop optimizasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Buna göre, derin öğrenme modellerinin tasarımı sırasında farklı aktivasyon ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak polip görüntülerinin sınıflandırma performansı optimize edilebilir.*

|                    |              |                  |              |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi |              | Research Article |              |
| Başvuru Tarihi     | : 28.05.2022 | Submission Date  | : 28.05.2022 |
| Kabul Tarihi       | : 13.10.2022 | Accepted Date    | : 13.10.2022 |

## 1. Introduction

The success of machine learning algorithms on image recognition in recent years coincides with the time when electronic medical records and diagnostic imaging have increased significantly. This highlights Convolutional Neural Networks (CNNs) that focus on machine learning algorithms applied to medical image analysis and emphasizes the clinical aspects of the field. Machine learning techniques cannot process unprocessed information without expert assistance and pre-processing. Unlike machine learning, in deep learning, the learning process takes place on raw data and the necessary information for this is obtained with the model created in different layers.

Medical image interpretation is mostly done by experts such as radiologists or doctors. Meanwhile, given the wide variety in pathology and the potential fatigue of experts, researchers and physicians have started to benefit from computer aids. Although the rate of progress in medical image analysis is not as fast as in medical imaging technology, this is improving thanks to machine learning techniques (Shen, Guoron and Heung-Il, 2017).

Endoscopy is considered a standard method for screening stomach polyps. Stomach polyps are rare lesions found incidentally during endoscopy procedures performed for different reasons. These lesions can be treated if detected early (Rustam et al., 2021). The use of endoscopy process with high resolution devices has increased the studies on the use of smart systems in this field.

The health sector is a high priority sector, completely different from other sectors. People expect the highest level of care and service regardless of cost. Therefore, it seems that deep learning in real world applications produces exciting, accurate solutions for medical imaging and is an important method for future applications in the healthcare industry (Yixuan and Meng, 2017).

This study aimed that reveals the design of the support system for physicians by classifying the polyp and normal images in endoscopy images using the CNN method, which is one of the deep learning algorithms that has been popular in the field of engineering in recent years.

## 2. Literature Review

The use of deep learning algorithms, a sub-branch of machine learning, is increasing rapidly and enhancing performance in various medical applications.

Deep learning is used in applications such as the detection of anatomical and cellular structures, tissue segmentation, computer-aided disease diagnosis.

Pannu, Ahuja, Dang, Soni and Malhi (2020) in their study described a CNN augmented supervised learning ensemble to detect bleeding symptoms in Wireless Capsule Endoscopy images. RGB pixel densities and data distribution are studied to illustrate the complexity of the classification problem. Color palette reduction using minimum variance quantization is used for back propagation in CNN. As a result of the study, an accuracy of 0.95 in the general endoscopy dataset and 0.93 in the real video dataset was obtained.

Ozawa et al. (2020) used DCNN architecture called Single Shot MultiBox Detector for the detection of colorectal polyps. This architecture has been used as both polyp detection and polyp classification method. In the study, 7077 colonoscopy images, including 1172 colorectal polyp images, were used. As a result of the study, a sensitivity of 92% and a positive predictive value (PPV) of 86% were obtained.

Byrne et al. (2019) studied a DCNN model for real-time polyp classification on endoscopic video images of colorectal polyps. The generated model was tested in a separate series of 125 videos with polyps. As a result of the study, 98% sensitivity, 83% specificity, 94% accuracy were obtained.

Tulum et al. (2019) aimed to develop the CNN classifier system for automatic detection of polyp structures. Polyp/false positive classification was performed with CNN using 1543 candidate polyp projection images obtained after colon segmentation, candidate region identification, and false positive reduction in images obtained from 30 different patients. The developed classification system performs with a sensitivity of 91.89% and a false positive rate of 0 per data set.

Shin and Balasingham (2017) took the shape and colour properties of the images and compared these two classification methods using Support Vector Machines

(SVM) and CNN. Three convolution layers and adamax optimization function were used for this study. In addition, the learning rate was 0.002 and the number of revolutions was 200. Since there were similar pictures in the same data set and so exaggerated results could be obtained, CVC-Clinic, ETIS-Larib and Asu-Maya data sets were used. 612 images in the CVC-Clinic dataset were used for training, while 196 images in ETIS-Larib and 170 images in Asu-Maya dataset were used for testing. At the end of the study, 84% accuracy was obtained with SVM and 91% accuracy with CNN.

Ribeiro, Uhl and Hafner (2016) studied on polyp classification using the CNN deep learning algorithm. For this, they obtained 25 healthy images from 18 patients and abnormal images from 56 patients. Since the increase in the number of data would improve the training, they obtained a total of 800 pictures by rotating the shapes and changing the size. In this study, different architectures were tested to evaluate the effect of filter size and number, and the number of output units in the fully connected layer in the classification.

Zou et al. (2015) examined the classification problem of digestive organs in capsule endoscopy images using the Deep Convolutional Neural Network (DCNN) model. One million images were used for this study. 60 thousand images for training and 15 thousand images for testing were randomly selected. There were 20 thousand pictures for the stomach, small intestine and colon in the training and five thousand pictures for each class's test. The learning rate was determined as 0.01. In Scholastic Gradient Descent (SGD), fully connected layers each had 64 neurons to train the system. An accuracy of 90.31% was obtained with the SVM method and 95.52% with CNN.

Sarraf and Tofghi (2016) used a deep learning method, CNN, to differentiate the Alzheimer's brain from a normal and healthy brain. In this study, images of 28 Alzheimer's patients and 15 healthy individuals, consisting of 24 women and 19 men, were selected from the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative database. The data was divided into three parts. 60% for training, 20% for verification and 20% for testing. Using this method, the classification accuracy rate was found to be 96.85%.

Suzuki et al. (2016) used Deep Convolutional Neural Networks (DCNN), one of the deep learning methods, to identify masses in mammography. In the study, they formed eight weighted layers. Five of these layers were convolution layers and three were fully connected layers. The study was carried out on a total of 198 mammography images, 99 with a mass and 99 healthy images. Mass classification accuracy was 89.90%.

Yang et al. (2016) made a performance comparison of SVM and DCNN in their study. For this purpose, they used 300×300 pixel-images of 243 normal cells and 334 tumors in the kidney. To increase the number of data, 577 images were cropped or rotated, resulting in a total

of 21,349 images. 14,233 samples of this data set were reserved for training, 3,558 samples for validation and 3,558 samples for testing. In the DCNN classification, the number of intermediate layers was tested in two ways as five and seven. The following accuracy rates were found: 85% for SVM, 97.37% for DCNN-5 and 97.91% for DCNN-7.

Ortac and Ozcan (2021) studied by multidimensional deep learning method such as Convolutional Neural Network (CNN) on hyperspectral images. In this study, they are evaluated one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional convolution model approaches that can present efficient classification performance. As a result, their studies have presented to have achieved higher classification rates compared three-dimensional Convolutional Neural Networks with a state of art models.

### 3. Material and Method

#### 3.1. Convolutional Neural Networks

Convolutional neural networks (CNN) are one of the deep learning algorithms to be used in vision and image processing, especially on computers, inspired by the brain's technique for processing visual information (Bengio, 2008). CNN is a specialized version of Artificial Neural Networks (ANN) in training pictures and videos, but how CNN works is slightly different from the standard ANN. In CNN, each neuron in a layer dense only on a small part of the image. While a neuron in one layer of the network is focused on some features of the image in the study, other neurons in the layer focus on the other features of the same image. CNNs use convolution in one or more of the layers instead of the general matrix multiplication.

A CNN model has two important advantages. The first is to reduce the weights of filters that are important to learn. This eliminates many problems that may occur due to the need for too many neurons and the large number of weights for these neurons to learn. The second advantage is weight sharing. The parameters learned with CNN can be shared as input to the next layer. Therefore, the same weights are used again in the layer and so there is no need to learn again. Thus, more layers learn more complex features and patterns.

CNN generally consists of three layers: convolution, pooling and fully connected layers. CNN design for endoscopy polyp classification Figure. 1 shows the general structure of CNN.



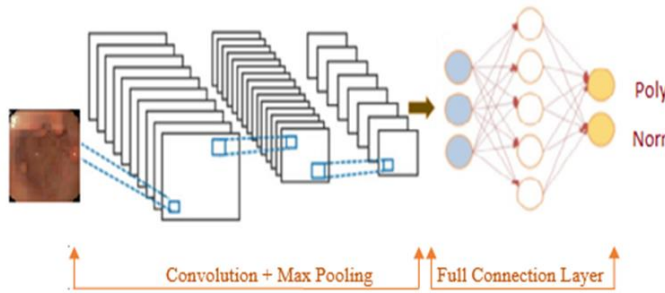


Figure .1. CNN for endoscopy polyp

### 3.1.1 Convolutional Layer

The convolution layer is the first hidden layer of CNN. In this layer, an image becomes a batch of filtered images. The convolution layer reduces the number of weights in the network, allowing the system to be trained faster. Filters are processed with the input image to generate a smaller data set and pass it to the next layer.

In the convolution process, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 size filters are used on the image matrix. The specified filters circulate over the entire image matrix, highlighting the features in the image and a new image matrix in image size is obtained (Liu, Shen and Van den Hengel, 2015). However, as the size of the used filter increases, the size of the output image will decrease, so information will be lost. That is why the smallest filter size, 3x3, is usually used.

At first, the filter is placed in the upper left corner of the image. The image and filter indices are multiplied by each other and the results are summed, and the result is stored in the output matrix. Then the filter is moved one pixel to the right and the process is repeated. After the first line ends in the input image, the process is repeated in the second line. After all operations are completed, the output matrix is obtained.

### 3.1.2 Pooling Layer

Pooling layer is a layer that usually takes place after the convolution process (Castelluccio, Poggi, Sansone, and Verdoliva, 2015). It is the layer applied to gradually reduce the spatial size of the image to reduce the number of parameters and calculations in the network, and thus control overfitting. This layer operates independently in each depth slice of the input, so the depth dimension remains unchanged because the depth dimension represents the coloured part of the picture.

Filters are used in the pooling layer just as in the convolution layer. These filters can be realized by

shifting the image according to a certain step-by-step value, taking the maximum value of the pixels in the image (max pooling), taking the smallest value (min pooling), and taking the average of the values (mean pooling).

### 3.1.3. Fully Connected Layer

It is the layer that follows the convolution and pooling layers and is called "dense". The classification of the model from the features obtained from the previous layers takes place in this layer. The fully connected layer takes the feature map from the previous layer and process it for the desired number of classes. Since the values to be obtained at the output of the network will be numbers, after processing with multi-dimensional data (matrices), the data obtained from the feature map is made unidimensional by reducing the dimension in this layer.

### 3.1.4. Dropout Layer

The dropout layer is a technique used to avoid the problem of memorizing data in artificial neural networks (Srivastava, Hinton, Krizhevsky, Sutskever and Salakhutdinov, 2014). The dropout technique is generally used later in fully connected layers. The bonds in the fully connected layer are broken using dropout. Although the dropout value varies according to the problem and the data set, it is generally taken as 0.5.

### 3.1.5. Classification Layer

After the fully connected layer, the classification layer is used. The number of objects to be classified and the output value of the classification layer must be the same. Different classifiers are used in this layer. Softmax classifier is mostly preferred because of its success. Softmax is a generalization of the sigmoid activation function for multiple classifications.

## 3.2. Data Enhancement

The success rate of the training is increased by applying various deformation and transformation processes to the data to be included in the training. It is possible to perform these operations in real time with the ImageDataGenerator class. Using ImageDataGenerator positively affects the educational success but extends the training period. Table 1 shows the data enhancement techniques used for this study.

Table 1

Data enhancement techniques

| Data enhancement method | Explanation  | Value  |
|-------------------------|--|--------|
| Rescale                 | It is the rescaling value. Its default value is set to 'None'. If the value is None or 0, no rescaling is applied. Otherwise, the input data is multiplied by the given value before all operations. | 1./255 |
| Shear_range             | The shear angle, in degrees, applied counter clockwise.  | 0.2    |
| Zoom_range              | It is the random approximation range.  | 0.2    |
| Horizontal_flip         | flips inputs horizontal  | True   |
| Vertical_flip           | flips inputs vertically  | True   |

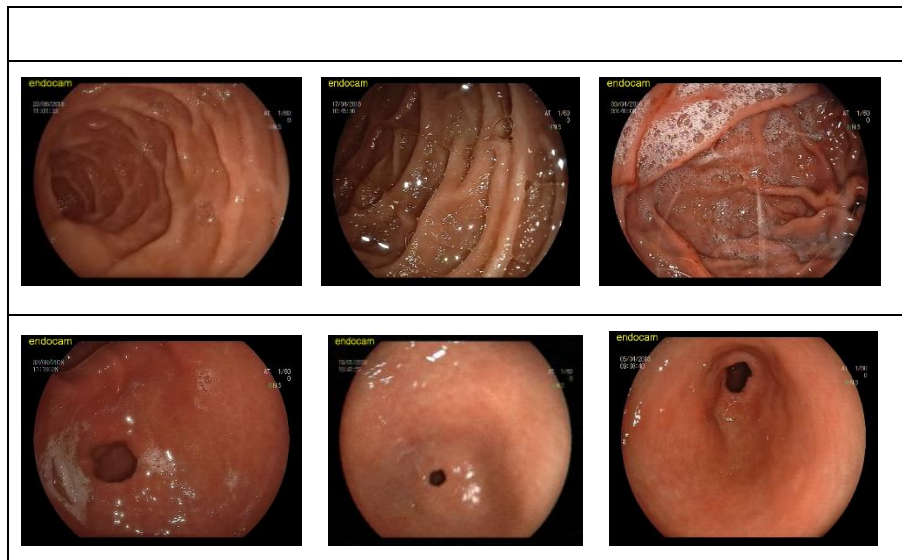


Figure 2. Normal images

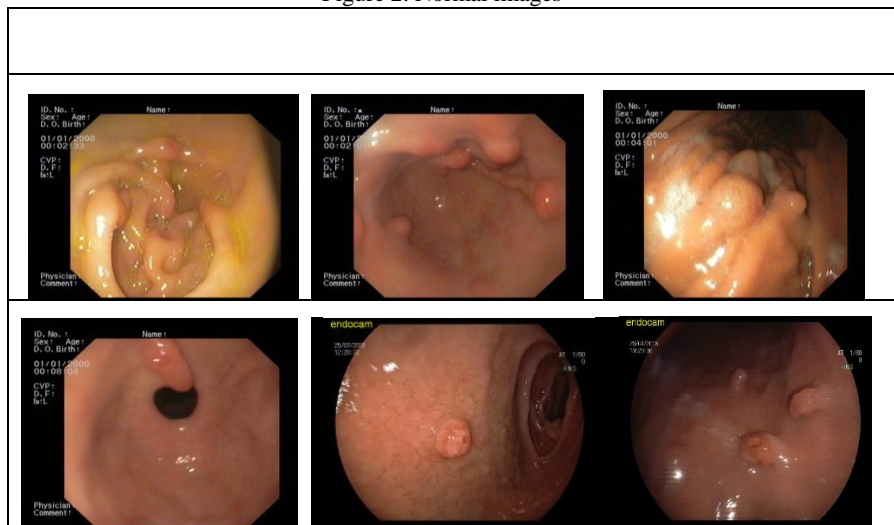


Figure 3. Polyp images

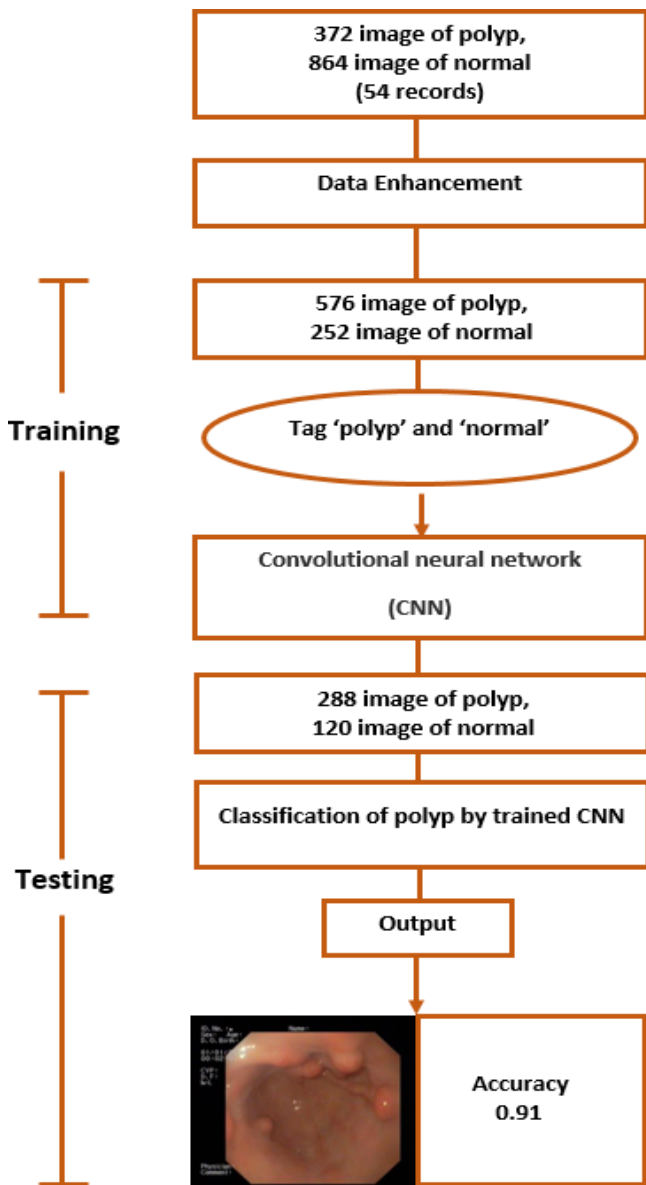


Figure 4. Flowchart of the study design

### 3.3. Dataset

In this study, a database was created by taking polyps and normal images from the 2018 archive records of Kütahya Health Sciences University General Surgery Department, Kutahya Evliya Celebi Training and Research Hospital Endoscopy Unit. This study was carried out in accordance with the Research and Publication Ethics. This study was approved by Kutahya Health Sciences University Ethic Committee on Non-Invasive Studies on date 17 July 2019 with approval number E.5269. In this database, there were 93 polyp and 216 normal images from 54 records. In order to increase the number of images in the data set, a total of 1236 images were obtained by rotating each image 90 degrees around its axis. Examples for normal images are given Figure 2 and polyp images are given in Figure 3.

For this study, a retrospective medical endoscopy image archive (of Kutahya Health Sciences University Surgical Endoscopy Unit) was used with permission of Evliya Celebi Research and Training Hospital. Data usage was permitted based on the frame of study protocol. In this frame all available data source was anonymized before image files were made available for the studies. This anonymization included the removal of all meta data, text reports, any ID numbers, names, and age or gender features which may be indicated in the whole endoscopy record. This anonymization procedure was performed in the endoscopy suite and then this framed data was ready to be transferred to the researchers. Thus, the image data used in this study was original with it's origin, but retrospective thus an informed consent case by case was not needed and available. After manager permission, ethic committee approval was available from Kutahya Health Sceinces University Ethic Committee on Non-Invasive Studies. After this permission and approval procedures image data for the study were transferred to the researchers. Figure 4 shows the flowchart of the study design (Cengiz, 2020).

### 3.4. Hyper Parameters

The performances of the models were evaluated according to the accuracy, precision, recall and f1-score of the test data.

*Accuracy:* The number of correct predictions over all predictions.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (1)$$

*Precision:* Precision is the ratio of correctly predicted positive observations to the total predicted positive observations.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

*Recall:* Recall is a measure of how many of the positive cases the classifier correctly predicted, over all the positive cases in the data.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

*F1 score:* F1 Score is the weighted average of precision and recall.

$$F_1 = 2 * \frac{precision*recall}{precision+recall} \quad (4)$$

In the study, 48 different models were created using the neuron numbers, epoch numbers, activation functions and optimization methods given in Table 2.

Table 2

Hyper parameters belonging to the models created in the study.

| Parameters used in the models | Parameter Value |
|-------------------------------|-----------------|
| Numbers of Neurons            | 32              |
|                               | 64              |
| Epoch Numbers                 | 5               |
|                               | 10              |
|                               | 15              |
| Activation Functions          | Relu            |
|                               | Tanh            |
| Optimization Methods          | Sgd             |
|                               | Adagrad         |
|                               | Adam            |
|                               | RMSprop         |

**3.4.1 Activation methods**

One of the activation functions is applied after the convolution layer. If the activation function is not implemented, the neural network becomes a linear function with limited learning abilities. In order to obtain results for nonlinear operations, the activation function is mostly a nonlinear function. Figure 5 shows x input, w weight and f(x) activation process sent to the output of the network. The result is either an output or an input to another layer. Sigmoid, Tanh and ReLU are generally used as activation functions.

**3.4.2 Optimization methods**

In ANN, the weight values must be updated at each step until optimum learning is achieved and this process takes place within certain methods. In weight updating, "Gradient Descent" is one of the widely used methods (Yazan and Talu, 2017). Different gradient-based optimization algorithms are used to update the weights in ANN. These algorithms have advantages and disadvantages compared to each other (Ruder, 2016). Optimization algorithms such as Adam, Stochastic Gradient Descent, Adagrad, Adamax are commonly used in ANN to update the weight coefficients.

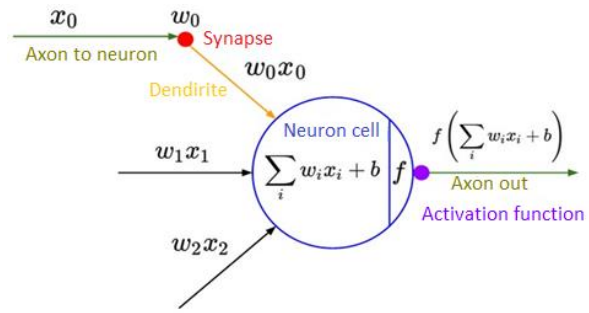


Figure 5. Activation function

**4. Experimental Results**

Network models prepared with hyper parameters given in Chapter 3.4 were applied to the training process with 5, 10 and 15 epoch numbers and sample data set with 50 iterations in each epoch. The accuracy, precision, recall and f1-score values of the models are shown in Table 3. K-Fold Cross Validation method was used to reduce the variability of performance results due to the random generation of training and test data. The K value was chosen as 10 (Cengiz, 2020).

According to Table 3, Model 24 is the most successful classification model with 64 neurons in its hidden layer, Relu activation function, 15 epoch number, and 91.1% accuracy using RmsProp optimization technique. Model 28 is classified with 76.3% accuracy and the lowest success rate among 48 models. The accuracy values of the test data show that the classification range of the models varies between 0.76 and 0.91. Table 3 also shows that the models with the highest and lowest success were created by Adam and Rmsprop optimization methods.

Figure. 6 shows the performance metrics of the top five models and Figure. 7 shows the performance metrics the least successful five models.

Table 3, 4 and 5 show that more successful results are obtained when RmsProp optimization technique is used with ReLu activation.

When the RmsProp optimization algorithm is used together with the Relu activation function, it has been observed that the success rate is increased when the epoch number is increased in the 64-neuron algorithm. (91.1% > 90.5 ; model 24, model 16).

Similarly, the model created with the RmsProp optimization algorithm with 32 neurons and Relu activation function was observed to be more successful than the models created with the Adam optimization algorithm. (90.6% > 90.5% ; model 12, model 3)

In addition, when the model 28 is compared with the model 40, and the model 36 with the model 48, it is observed that the success rate increases when the number of neurons is increased.

In this study, endoscopic images were examined, and the models created with different activation and optimization methods were compared for the classification of normal and polyp images. According to the data obtained, it was observed that the results of the models differed according to the parameters.

**5. Conclusions**

In order to find the best classification model in deep learning, different activation and optimization methods, different numbers of neurons and epochs were used. The results of the models differed according to the parameters.

Using optimization methods, activation functions, neuron and epoch numbers, 48 different deep neural network models were created. The most successful models were created with Rmsprop optimization methods. The results of the study are examined, it is seen that while the Relu activation function generally showed more successful results than the Tanh activation function.

It is known that, in studies with deep neural networks, the performance of the models varies according to the structure, size, optimization methods and activation functions of the data set used. In addition, the performance of optimization algorithms varies depending on the choice of parameters and how the neural network will be created.

Although the selection criteria of optimization algorithms in deep learning applications are not known exactly, the algorithms show different performances depending on the structure of the problem and the parameters. Therefore, if different combinations of optimization algorithms, activation functions, neuron and epoch numbers are created while modelling in deep learning applications, a more suitable architecture for the data set will be obtained.

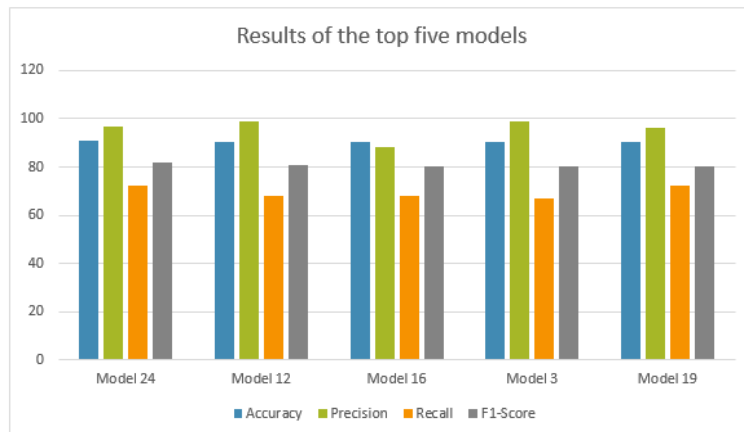


Figure 6. Performance metrics of the top five models.

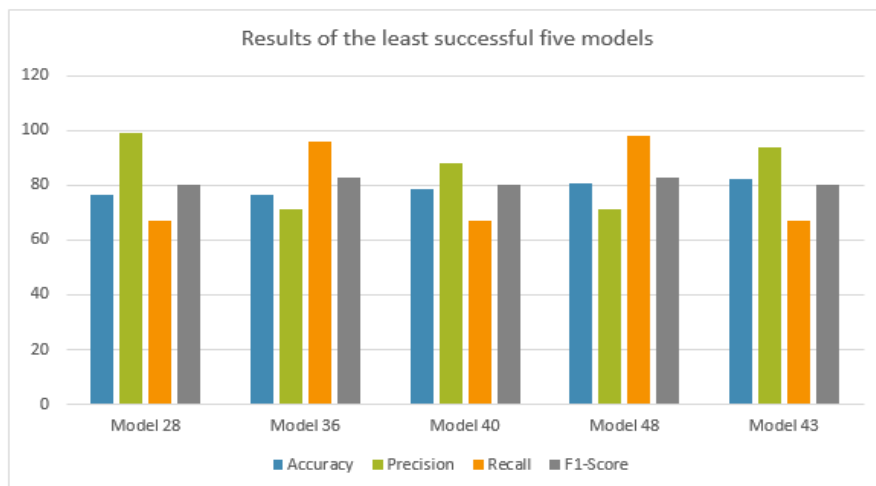


Figure 7. Performance metrics of the least successful five models.

Table 3

Hyper parameters belonging to the models created in the study

| Model Number | Numbers of Neurons | Activation Functions | Epoch Number | Optimization Function | Accuracy (%) | Precision (%) | Recall (%) | f1-Score (%) |
|--------------|--------------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| 1            | 32                 | Relu                 | 5            | Sgd                   | 86.27        | 71.0          | 70.0       | 83.0         |
| 2            |                    |                      |              | Adagrad               | 87.08        | 98.0          | 61.0       | 76.0         |
| 3            |                    |                      |              | Adam                  | 90.54        | 99.0          | 67.0       | 80.0         |
| 4            |                    |                      |              | RMSprop               | 90.32        | 99.0          | 67.0       | 80.0         |
| 5            |                    |                      | 10           | Sgd                   | 88.85        | 96.0          | 67.0       | 79.0         |
| 6            |                    |                      |              | Adagrad               | 86.72        | 89.0          | 62.0       | 76.0         |
| 7            |                    |                      |              | Adam                  | 90.39        | 96.0          | 71.0       | 81.0         |
| 8            |                    |                      |              | RMSprop               | 89.39        | 95.0          | 72.0       | 82.0         |
| 9            |                    |                      | 15           | Sgd                   | 89.26        | 96.0          | 68.0       | 79.0         |
| 10           |                    |                      |              | Adagrad               | 89.07        | 79.0          | 70.0       | 74.0         |
| 11           |                    |                      |              | Adam                  | 89.51        | 86.0          | 72.0       | 79.0         |
| 12           |                    |                      |              | RMSprop               | 90.64        | 99.0          | 68.0       | 81.0         |
| 13           | 64                 | Relu                 | 5            | Sgd                   | 89.17        | 99.0          | 64.0       | 78.0         |
| 14           |                    |                      |              | Adagrad               | 84.29        | 98.0          | 61.0       | 76.0         |
| 15           |                    |                      |              | Adam                  | 90.02        | 94.0          | 72.0       | 82.0         |
| 16           |                    |                      |              | RMSprop               | 90.59        | 88.0          | 68.0       | 80.0         |
| 17           |                    |                      | 10           | Sgd                   | 88.82        | 92.0          | 70.0       | 80.0         |
| 18           |                    |                      |              | Adagrad               | 89.41        | 99.0          | 66.0       | 79.0         |
| 19           |                    |                      |              | Adam                  | 90.47        | 96.0          | 72.0       | 82.0         |
| 20           |                    |                      |              | RMSprop               | 90.27        | 92.0          | 73.0       | 81.0         |
| 21           |                    |                      | 15           | Sgd                   | 88.28        | 62.0          | 73.0       | 67.0         |
| 22           |                    |                      |              | Adagrad               | 89.66        | 99.0          | 66.0       | 79.0         |
| 23           |                    |                      |              | Adam                  | 90.34        | 95.0          | 71.0       | 80.0         |
| 24           |                    |                      |              | RMSprop               | 91.10        | 97.0          | 72.0       | 82.0         |
| 25           |                    |                      | 5            | Sgd                   | 88.77        | 98.0          | 63.0       | 78.0         |
| 26           |                    |                      |              | Adagrad               | 89.36        | 98.0          | 64.0       | 78.0         |
| 27           |                    |                      |              | Adam                  | 86.42        | 99.0          | 68.0       | 81.0         |
| 28           |                    |                      |              | RMSprop               | 76.35        | 99.0          | 67.0       | 80.0         |

Table 3

Hyper parameters belonging to the models created in the study (continue)

|    |    |         |       |         |       |      |      |      |
|----|----|---------|-------|---------|-------|------|------|------|
| 29 | 32 | Tanh    | 10    | Sgd     | 89.34 | 97.0 | 65.0 | 79.0 |
| 30 |    |         |       | Adagrad | 89.73 | 94.0 | 63.0 | 78.0 |
| 31 |    |         |       | Adam    | 82.79 | 96.0 | 67.0 | 80.0 |
| 32 |    |         |       | RMSprop | 82.28 | 71.0 | 95.0 | 83.0 |
| 33 | 64 | Tanh    | 15    | Sgd     | 89.61 | 88.0 | 66.0 | 79.0 |
| 34 |    |         |       | Adagrad | 89.49 | 98.0 | 67.0 | 79.0 |
| 35 |    |         |       | Adam    | 84.85 | 96.0 | 72.0 | 82.0 |
| 36 |    |         |       | RMSprop | 76.62 | 71.0 | 96.0 | 83.0 |
| 37 | 64 | Tanh    | 5     | Sgd     | 89.90 | 95.0 | 67.0 | 80.0 |
| 38 |    |         |       | Adagrad | 89.39 | 99.0 | 67.0 | 80.0 |
| 39 |    |         |       | Adam    | 86.42 | 93.0 | 73.0 | 82.0 |
| 40 |    |         |       | RMSprop | 78.50 | 88.0 | 67.0 | 80.0 |
| 41 |    |         | 10    | Sgd     | 89.24 | 88.0 | 66.0 | 79.0 |
| 42 |    |         |       | Adagrad | 89.02 | 92.0 | 70.0 | 80.0 |
| 43 |    |         |       | Adam    | 82.11 | 94.0 | 67.0 | 80.0 |
| 44 |    |         |       | RMSprop | 86.10 | 98.0 | 74.0 | 84.0 |
| 45 | 15 | Sgd     | 90.07 | 95.0    | 69.0  | 80.0 |      |      |
| 46 |    | Adagrad | 89.63 | 93.0    | 68.0  | 78.0 |      |      |
| 47 |    | Adam    | 88.87 | 99.0    | 72.0  | 83.0 |      |      |
| 48 |    | RMSprop | 80.88 | 71.0    | 98.0  | 83.0 |      |      |

### Compliance with ethical standards

This study was approved by Kutahya Health Sciences University Ethic Committee on Non-Invasive Studies on date 17 July 2019 with approval number E.5269.

An original retrospective image data source was used with permission of Evliya Celebi Research and Training Hospital administration.

No informed consent was needed for this study.

### Contribution of Researchers

In this study; Emine CENGİZ, preparation of codes, literature review; Faik YAYLAK, labeling of data, evaluation of results; Eyyup GULBANDILAR contributed to the writing of the codes, the evaluation of the results, and the preparation of the article.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Bengio, Y. (2008) *Learning deep architectures for AI. Foundations and Trends in Machine Learning* 2(1): 1–127.
- Byrne, M. F., Chapados, N., Soudan, F., Oertel, C., Pérez, M. L., Kelly, R., Iqbal, N., Chandelier, F. & Rex, D. K. (2019). Real-time differentiation of adenomatous and hyperplastic diminutive colorectal polyps during analysis of unaltered videos of standard colonoscopy using a deep learning model. *Gut*, 68(1), 94-100. <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314547>
- Castelluccio, M., Poggi, G., Sansone, C. & Verdoliva, L. (2015) *Land use classification in remote sensing images by convolutional neural networks*, arXiv preprint arXiv:1508.00092. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1508.00092>
- Cengiz, E. (2020). (Master's Thesis). *Investigation of polyps in endoscopy images by using deep learning algorithm*. Eskisehir Osmangazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Eskisehir, Turkey. (in Turkish)

- Liu, L., Shen, C. & Van den Hengel, A. (2015) *The treasure beneath convolutional layers: Cross-convolutional-layer pooling for image classification*, In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, USA, pp. 4749-4757.
- Ortac, G., & Ozcan, G. (2021). Comparative study of hyperspectral image classification by multidimensional Convolutional Neural Network approaches to improve accuracy. *Expert Systems with Applications*, 182, 115280. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115280>
- Ozawa, T., Ishihara, S., Fujishiro, M., Kumagai, Y., Shichijo, S., & Tada, T. (2020). Automated endoscopic detection and classification of colorectal polyps using convolutional neural networks. *Therapeutic advances in gastroenterology*, 13,1756284820910659. <https://doi.org/10.1177/1756284820910659>
- Pannu, H. S., Ahuja, S., Dang, N., Soni, S., & Malhi, A. K. (2020). Deep learning based image classification for intestinal hemorrhage. *Multimedia Tools and Applications*, 79(29), 21941-21966. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3061592>
- Ribeiro, E., Uhl, A. & Hafner, M. (2016) *Colonic polyp classification with convolutional neural networks*, In: 2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems, Belfast and Dublin, Ireland, pp.253-258.
- Ruder, S. (2016) An overview of gradient descent optimization algorithms, arXiv preprint arXiv:1609.04747. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1609.04747>
- Rustam, F., Siddique, M. A., Siddiqui, H. U. R., Ullah, S., Mehmood, A., Ashraf, I. & Choi, G. S. (2021). Wireless capsule endoscopy bleeding images classification using CNN based model. *IEEE Access*, 9, 33675-33688.
- Sarraf, S. & Tofghi, G. (2016), 2016 IEEE Future Technologies Conference, pp. 816-820. <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821697>
- Shen, D., Guoron, W., Heung-II, S. (2017) Deep learning in medical image analysis. *Annual review of Biomedical Engineering* 19, 221-248. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044442>
- Shin, Y. & Balasingham, I. (2017) *Comparison of hand-craft feature based SVM and CNN based deep learning framework for automatic polyp classification*. In: 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Jeju Island, Korea, pp. 3277-3280. <https://doi.org/10.1109/embc.2017.8037556>
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. & Salakhutdinov, R. (2014) Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929- 1958.
- Suzuki, S., Zhang, X., Homma, N., Ichiji, K., Sugita, N., Kawasumi, Y., Ishibas, T. & Yoshizawa, M. (2016) *Mass detection using deep convolutional neural network for mammographic computer-aided diagnosis*, 55th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan, Tsukuba, Japan, pp. 1382-1386. doi:10.1109/sice.2016.7749265
- Tulum, G., Osman, O., Bolat, B., Dandin, Ö., Ergin, T., & Cüce, F. (2019). Colonic Polyp Classification Using Projection Image and Convolutional Neural Network. In *2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EBBT.2019.8741701> doi:10.1109/EBBT.2019.8741701
- Yang, X., Chen, S., Ding, V. et al (2016) *A deep learning approach for tumor tissue image classification*. IASTED Biomedical Engineering – 2016, [https://www.researchgate.net/publication/298929528\\_A\\_Deep\\_Learning\\_Approach\\_for\\_Tumor\\_Tissue\\_Image\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/298929528_A_Deep_Learning_Approach_for_Tumor_Tissue_Image_Classification)
- Yazan, E. & Talu, M.F. (2017) *Comparison of the stochastic gradient descent based optimization techniques*, 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Malatya, Turkey, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090299>
- Yixuan, Y. & Meng, M. (2017) Deep learning for polyp recognition in wireless endoscopy images. *Medical Physics*, 44(4), 1379-1389. <https://doi.org/10.1002/mp.12147>
- Zou, Y., Li, L., Wang, Y. et al (2015) *Classifying digestive organs in wireless capsule endoscopy images based on deep convolutional neural network*. In: 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing, Singapore, pp. 1274-1278. <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2015.7252086>



Table 4

Results of the top five models

| Model no | Numbers of Neurons | Activation Function | Optimization Method | Accuracy (%) | Accuracy and Loss Curves |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| 24       | 64                 | Relu                | RMSprop             | 91.10%       |                          |
| 12       | 32                 | Relu                | RMSprop             | 90.64%       |                          |
| 16       | 64                 | Relu                | RMSprop             | 90.59%       |                          |
| 3        | 32                 | Relu                | Adam                | 90.54%       |                          |
| 19       | 64                 | Relu                | Adam                | 90.47%       |                          |

Table 5

Results of the least successful five models.

| Model no | Numbers of Neurons | Activation Function | Optimization Method | Accuracy (%) | Accuracy and Loss Curves |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| 28       | 32                 | Tanh                | RMSprop             | 76.35%       |                          |
| 36       | 32                 | Tanh                | RMSprop             | 76.62%       |                          |
| 40       | 64                 | Tanh                | RMSprop             | 78.50%       |                          |
| 48       | 64                 | Tanh                | RMSprop             | 80.88%       |                          |
| 43       | 64                 | Tanh                | Adam                | 82.11%       |                          |

**AGREGA OCAKLARI İÇİN SINIR METİLEN MAVİSİ DEĞERİ OPTİMİZASYONU**Emre Serhan BATTAL<sup>1</sup>, Adnan KONUK<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir,  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0013-567X><sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9577-6674>**Anahtar Kelimeler***Beton, Agregal Ocakları, Sınır Metilen Mavis Değeri, Optimizasyon, Karlılık Göstergesi***Öz**

Betonun fiyatındaki en büyük maliyet kalemlerinden olan çimento ve kimyasal katkıları beton agregalarının safsızlığı (kil içeriği) ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda, agreganın kalitesi (kil içeriği ve kirliliği) genellikle mavi metilen (MB) değeri ile saptanmakta ve MB değerine göre kalite kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Beton maliyetlerinin azaltılması için, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda kalite kontrol altında tutulmaya çalışılırken ise, genellikle agrega ocağının işletilebilir rezervi, yatırım ve üretim maliyetleri ihmal edilmektedir. Bu çalışmada, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda sınır MB optimizasyonu algoritması geliştirilerek, beton maliyetlerin en küçüklenmesi ve agrega ocaklarının da üretim ömrü boyunca kaynak kaybı en az olacak şekilde en büyük karlılıkla işletilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Geliştirilen optimizasyon algoritması ile, hazır beton tesisine agrega üreten bir agrega ocağı verileri kullanılarak uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışmasında, agrega ocağı malzemelerinin MB değeri istatistiksel dağılım ve ekonomik parametreleri ele alınarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde, optimum sınır MB değeri 3,00 olmakta ve karlılık göstergesi %11,1'den %44,9'e çıkmaktadır. Bu çalışma sonucunda, sadece beton maliyetlerinin minimizasyonu değil, aynı zamanda optimum sınır MB değeri de dikkate alınarak, taş ocağı ve kırma-eleme tesisinin çok fazla kaynak kaybı olmadan etkin bir şekilde kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

**CUTOFF METHYLENE BLUE VALUE OPTIMIZATION FOR AGGREGATE QUARRIES****Keywords***Concrete, Aggregate Mines, Cutoff Methylene Blue Value, Optimization, Profitability Index***Abstract**

Cement and chemical additives which are among the biggest cost items in the price of concrete vary depending on the impurity (clay content) and quality of concrete aggregates. In quarries that produce aggregates for ready-mixed concrete plants, the quality (clay content and dirtiness) of the aggregate is generally determined by the blue methylene (MB) value and it is tried to be kept under quality control according to the MB value. In order to reduce concrete costs, while trying to keep the quality under control in the quarries producing aggregates for ready-mixed concrete plants, the mineable reserve, investment and production costs of the aggregate quarry are generally neglected. In this study, it is aimed to minimize the concrete costs and to ensure that the aggregate quarries are operated with the greatest profitability with the least loss of resources throughout the production life by developing a cutoff MB optimization algorithm in quarries producing aggregates for ready-mixed concrete plants. With the developed optimization algorithm, an application study was carried out by using the data of an aggregate quarry producing aggregate for the ready mixed concrete plant. In the application study, when the optimization is performed by considering the statistical

\* Sorumlu yazar; e-posta : [akonuk@ogu.edu.tr](mailto:akonuk@ogu.edu.tr)Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*distribution and economic parameters of the MB value of the aggregate quarry materials, the optimum limit MB value is found to be 3.00 and the profitability index increases from 11.1% to 44.9%. As a result of this study, it has been determined that quarry and crushing-screening plant can be used effectively without much loss of resources by taking into account not only the minimization of concrete costs, but also the optimum cutoff MB value.*

|                    |              |                  |              |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi |              | Research Article |              |
| Başvuru Tarihi     | : 12.08.2022 | Submission Date  | : 12.08.2022 |
| Kabul Tarihi       | : 13.10.2022 | Accepted Date    | : 13.10.2022 |

## 1. Giriş

Hazır beton imalatında yaygın olarak hacimce %70-80 oranında kullanılan ince agregalar (yapay kumlar-taş unu) genel olarak kalker veya dolomit kökenli kayaların kırılması ve sınıflandırılması ile elde edilmekte olup, bu malzeme içinde de  $\text{CaCO}_3$  tenöründen çok, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ifade edilen kalite parametreleri oldukça önemli olmaktadır. Özellikle, ince agreganın içinde bulunan kilin oranı, beton kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip olup, literatür araştırmaları sonucunda agregada bulunan kil miktarı ile beton kalitesi arasındaki ilişkilerin aşağıdaki gibi olduğu belirlenmiştir.

- Kil minerallerinin ince taneli yapısı ve yüzey aktivitesi, betonda işlenebilirliği sağlamak için ihtiyaç duyulan karışım suyu miktarının artmasına yol açmakta ve priz süresini (hidratasyonu) geciktirmektedir (Küçük, 2000; Hasdemir, 2005; Topçu ve Demir, 2008).
- Agreganın içerdiği kil miktarındaki artışla birlikte beton kıvamında kayıplar meydana geldiğinden, kıvamı dengelemek için su miktarı arttırılmaktadır (Özbebek ve Açık, 2011; Köksal, Abit ve Karataş, 2013; Şenbil, 2014). Betondaki su miktarının arttırılması ise betonun kuruma ve büzülmesini, dayanımlarını ve çatlak oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, kil miktarı arttıkça beton dayanımlarında (basınç ve eğilme dayanımları) büyük oranda azalma meydana gelmekte, betonda plastik büzülme ve kuruma büzülmesi çatlama artmakta, donma-çözülme hasarı ve aşınma kaybı önemli ölçüde hızlanmaktadır (Farny ve Kerkhoff, 1997; Hasdemir, 2005; Beixing, Mingkai, ve Jiliang 2011; Özbebek ve Açık, 2011; Kala Maruthupandian, ve Singh 2019; Gürbüz ve Aydın, 2021).
- Agreganın içerdiği kil miktarındaki artışla birlikte betonun donma direnci de azalmaktadır (Zhan'ao, Mingkai ve Beixing, 2016).
- Kilin iri tanelere yapışık olması durumunda, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyi arasındaki bağlantıyı bozmakta, yük etkisinde betonun bu

ara yüzeyden çatlamasına yol açmaktadır (Küçük, 2000).

- Agregada topraklar halinde kil bulunması halinde betonarme elemanın içinde boşluk gibi davrandığından, kesit zayıflamasına yol açmakta ve zamanla bünyesine su işledikçe hacim genişlemesi yaparak betonu çatlatmaktadır (Küçük, 2000).
- Çimento bileşenleri ile bazı kil türleri zararlı kimyasal reaksiyona girerek ayrışmaya ve bünyesine su alarak genleşme şeklinde betonun parçalanmasına sebep olabilmektedir (Küçük, 2000).

Ayrıca, Deşik ve Ustabaş (2019), "Kireçtaşı Kökenli Kıрма Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi" başlıklı çalışmalarında agrega granülometrisine göre kil türü ince malzeme içermeyen kireçtaşı kökenli ince maddenin beton boşluklarında ince malzeme vazifesi görerek betonun çökme miktarını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Literatür araştırması da göstermekte ki, agreganın kalitesi, içeriğindeki kil miktarı ve ince madde miktarıyla ters orantılıdır. Özellikle, agreganın içerdiği kil miktarı arttıkça, kırma-eleme işleminden geçirilmiş ince agregaların kalitesinin azalmasına neden olmaktadır.

Agreganın kil içeriğinin ve kirliliğinin belirlenmesi amacıyla genellikle basit ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle mavi metilen (MB) deneyi yapılmakta olup, deneyler sonucunda agrega içinde safsızlığı (kaliteyi) bozan zararlı kil miktarı, MB boyası tüketimine göre belirlenmektedir (Şenbil, Bağdatlı, Köseoğlu ve Andıç, 2014; Battal, 2022). İnce agregaların MB değerleri ile beton özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı bir çok çalışmada, agregaların içerdiği kil miktarı ile MB değerleri arasında güçlü ilişki bulunduğu kanıtlanmıştır (Yitik, 2006; Topçu ve Demir, 2008; Beixing ve diğ., 2011; Özbebek ve Açık, 2011; Pitre, 2012; Şenbil ve diğ., 2014, Zhan'ao ve diğ., 2016; Demir, 2020; ). MB değeri arttıkça ince malzemenin kil içerikli kirliliğinin arttığı, MB değeri azaldıkça ise kirliliğin azaldığı belirlenmiştir (Şenbil ve diğ., 2014).

Agreganın MB değeri yükseldiğinde, betonda istenen kıvamı elde edebilmek ve beton dayanımda meydana gelebilecek düşüşleri engellemek için betona katkı maddesi eklenmesi gerekmektedir (Köksal v.d., 2013). Ancak, yapılan katkı eklemesi ile de beton maliyetlerinde artış meydana gelmektedir (Cobanoğlu, Celik, Cam, Etiz ve Kursun, 2014; Battal, 2022).

Yapılan literatür araştırması sonucunda, MB testi ile belirlenen ince agregaların içerdiği kil içeriği ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi araştıran birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte, hazır beton tesisine agrega sağlayan belirli bir maden ocağı için ocak rezerv-MB değeri dağılımını, yatırım ve işletme maliyetleri ile beton maliyetini dikkate alan ve optimize eden çalışmaların yapılmadığı tespit edilmiştir.

Hazır beton üretiminde kullanılan ince agregaların içerdiği kil miktarını azaltarak beton imalatında kullanılan katkı maddesi kullanım miktarını azaltabilmek için, agrega ocağında seçimli madencilik yaparak kil miktarı düşük kısımlardan kırma-eleme sistemine besleme yapıldığında, ocağın rezervi azalmakta ve agrega ocağı üretim maliyetleri artmaktadır. Bu nedenlerle, agrega ocağından üretilecek malzemelerin içerdiği kil varlığının tespitinde uygulanan MB değerinin optimizasyonu ile beton ve ocak maliyetlerinin optimize edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışmada beton ve agrega ocak maliyetleri optimize edilerek en yüksek karlılıkla çalışılabilecek optimum sınır MB değerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen model açıklanmaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Uygulama Çalışması Yapılan Agregada Ocağı Hakkında Genel Bilgiler

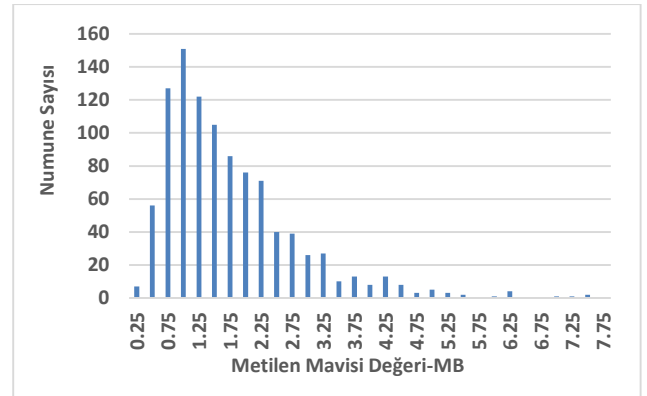
Uygulama çalışması yapılan agrega ocağı, Ege Bölgesinde dolomitik kireçtaşları içeren bir formasyonda üretim yapmaktadır. Kireçtaşları genellikle masif ve beyaz renkte olup, yer yer gri renkte dolomitler vardır. Ocağın bulunduğu bölgede bulunan birbirine paralel ve yaklaşık 10 metre yakınlıkta 2 fay hattı ocağı dik kesmektedir ve ocakta bulunan kırıklar ve çatlaklardan dolayı kireçtaşı tabakaları kil ile dolmuş durumdadır.

Agrega ocağında kırma-eleme tesisi bulunmakta olup, ocak yakınındaki beton santraline besleme yapılmaktadır. Agregada ocağından üretilen malzemeler için yapılan kalite kontrol çalışmalarına göre, ocaktan üretilen ince agreganın MB değerlerinde çok fazla değişkenlik gözlemlenmektedir. Yapılan MB testi sonuçları değerlendirildiğinde, MB değerinde 0.25 ile 10.5 arası değişkenlik saptanmış olup, genel olarak

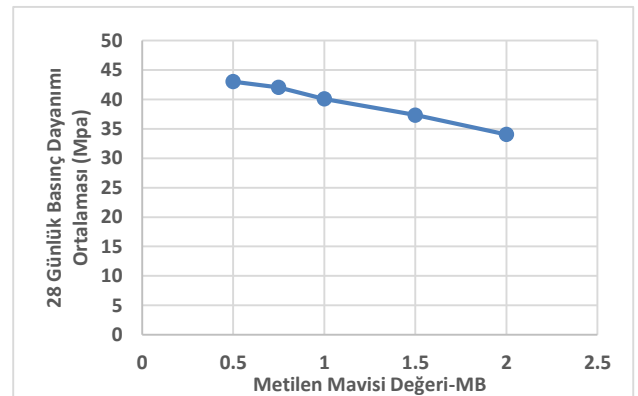
genel olarak 0.5 ile 3 arasındadır. Yapılan 1022 adet test sonucunda agrega ocağında MB dağılımı (Şekil 1) lognormal dağılım göstermekte olup, MB değeri aritmetik ortalaması 1.78, logaritmik ortalaması 0,34 ve logaritmik standart sapması 0,76'dır. Agregada ocağında, yaklaşık olarak 40.000.000 ton rezerv saptanmıştır.

#### 2.1.2. Ocaktan Üretilen Agregalarda Metilen Mavisi Değeri ve Beton Dayanımı İlişkisi

Ocaktan üretilen agregalarla beton dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemek için, aynı beton reçetesi ile farklı MB değerleri olan agregalar kullanılarak beton numuneleri elde edilmiş ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Beton numuneleri 21<sup>o</sup> C derecede 15x15x15 cm küpler halinde 1 gün bekletilip kalıplardan çıkarıldıktan sonra, 20<sup>o</sup> C derecedeki kür havuzunda 28 gün bekletilmiş ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Beton sınıfı C25/30 olup, tasarımı normal betondur ve kıvam sınıfı ise S4'tür. Aynı türde katkı ve çimento kullanılmıştır. Farklı MB değerlerine sahip agregalarla üretilen betonların 28 günlük kür süresi sonundaki basınç dayanım değerleri Şekil 2'de verildiği gibidir.

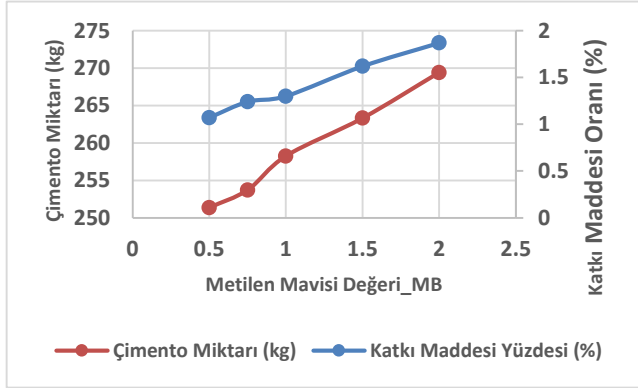


Şekil 1. Agregada Ocağının Metilen Mavisi (MB) Değeri Dağılım Grafiği



Şekil 2. Çimento ve Katkı Dozajı Sabit Tutulduğunda Metilen Mavisi (MB) Değeri Değişimine Karşın Beton Dayanımı Grafiği

Şekil 2'den de görüldüğü gibi, MB değeri ile betonun dayanımı arasında ters bir ilişki gözlemlenmekte olup, MB değeri arttıkça beton dayanımı azalmaktadır. Dayanımlardaki bu düşüş engellemek için çimento ve katkı miktarlarında artış yapıldığında ise, beton yapım maliyetlerini de artmaktadır. Aynı dayanımları (ortalama 35,7 Mpa) elde etmek için reçetelere yapılan müdahalelerdeki çimento ve katkı maddesi yüzdeleri ve Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Metilen Mavis (MB) Değeri Değişimi Karşısında Beton Dayanımını Sabit Tutmak İçin Çimento Miktarı ve Katkı Dozajının Değişim Grafiği

### 2.1.3. Agregat Ocağı Ekonomik Parametreleri ve Beton Maliyetleri

Agregat ocağı ve kırma-eleme tesisi için hedeflenen üretim kapasiteleri ve ekonomik parametreler hakkında bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.

Agregat Ocağı ile Kırma-Eleme Tesisi Kapasiteleri ve Ekonomik Parametreler

|  |                 |             |         |
|--|-----------------|-------------|---------|
| Maden işletme kapasitesi                 | FQ <sub>m</sub> | 1.680.000   | ton/yıl |
| Maden işletme ilk yatırım maliyeti       | MI              | 50.000.000  | TL      |
| Kırma-eleme tesisi kapasitesi            | FQ <sub>c</sub> | 1.680.000   | ton/yıl |
| Kırma-eleme tesisi ilk yatırım maliyeti  | CI              | 120.000.000 | TL      |
| Sabit üretim maliyeti                    | F <sub>c</sub>  | 39.600.000  | TL      |
| Maden işletme birim maliyeti             | M <sub>m</sub>  | 13,00       | TL/ton  |
| Kırma-eleme tesisi birim üretim maliyeti | C <sub>m</sub>  | 26,00       | TL/ton  |
| İndirgeme (faiz) oranı                   | r               | 16          | %       |
| Vergi oranı                              | V               | 22          | %       |
| Beton satış fiyatı                       | S               | 408,16      | TL/ton  |

Yapılan reçete denemeleri sonucunda, betonun ortalama birim ağırlığı 2,45 ton/m<sup>3</sup> ve birim maliyeti (M<sub>b</sub>) 203,45 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Beton birim maliyeti, redoz (katkı maddeleri), maden işletme ve kırma-eleme tesisi birim maliyetlerini kapsamaktadır.

### 2.1.4. Rezerv ve Metilen Mavis Değeri Dağılım Parametreleri

Agregat ocağı için yapılan istatistiksel analizler sonucunda rezerv-metilen mavis (MB) dağılımının log normal dağılım gösterdiği ve dağılım parametrelerinin Tablo 2'de verildiği gibi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2.

| Rezerv-Metilen Mavis (Kil İçeriği)        | Dağılım Parametreleri | Değer             |
|---|-----------------------|-------------------|
| Metilen Mavis Aritmetik Ortalaması        | $\bar{X}$             | 1,78              |
| Metilen Mavis Logaritmik Ortalaması       | $\alpha$              | 0,3400            |
| Metilen Mavis Logaritmik Standart Sapması | $\beta$               | 0,7600            |
| Rezerv (Toplam agrega+pasa miktarı)       | R <sub>t</sub>        | 40.000.000,00 ton |

Agregat ocağındaki pasa oranını %15 ve agregat (agrega/toplam malzeme) oranının %85 (PO=0,85) olduğu hesaplanmıştır. Kırma-eleme tesisinde yapılan ilk elemelerde ise stabilize malzeme oranı ortalamasının %18 (SO=0,18) olduğu hesaplanmıştır.

### 2.2. Yöntem

Hazır beton tesislerine hammadde sağlayan agregat ocaklarında sınır MB değeri optimizasyon için geliştirilen algoritma aşağıda açıklanmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 2.2.1. Sınır MB Değeri Altında Kalan İşletilebilir Cevher Kütlesinin Tonaj Oranının Hesaplanması

Uygulama çalışması yapılan agregat ocağında MB değerleri lognormal dağılıma uyduğundan, lognormal dağılımın özelliklerinden yararlanılarak agreganın sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin tonaj oranı (T<sub>c</sub>) aşağıdaki eşitlik 2 ile hesaplanabilir (Yersel ve Konuk, 1997). Tonaj oranı ile toplam cevher rezerv

miktarının çarpılmasıyla, sınır MB değerinin altında kalan işletilebilir cevher kütlelerinin rezervi hesaplanır.

$$Z_c = \frac{\ln(X_c) - \alpha}{\beta} \quad (1)$$

$$T_c = F(Z_c) \quad (2)$$

Burada;  $X_c$ = sınır MB değeri,  $Z_c$ = sınır MB değerinin standart normal değeri,  $\alpha$  = MB dağılımının logaritmik aritmetik ortalaması,  $\beta$  = MB dağılımının logaritmik standart sapması,  $T_c$ =tonaj oranı (sınır MB değeri altında kalan cevher miktarının toplam malzeme miktarına oranı) ve  $F(Z_c)$ = sınır MB standart normal değeri için kümülatif olasılık fonksiyonunun değeridir.

### 2.2.2. Sınır MB Değeri Altında Kalan İşletilebilir Cevher Kütlelerinin Ortalama Metilen Değeri

Agrega üretiminde, metalik madenlerden farklı olarak sınır tenörün üstünde kalan cevher miktarı değil, sınır MB değerinin altında kalan cevherin miktarı önemlidir. Betona katılacak çimento ve katkı maddesi miktarını belirleyebilmek için, sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri hesaplanır.

Rezerv-metilen mavisini (MB) dağılımı log-normal dağılıma uyan agrega ocağında, sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri ( $\bar{X}_c$ ) aşağıdaki eşitlik 3 ile hesaplanır (Yersel ve Konuk, 1997).

$$\bar{X}_c = \frac{\bar{X}}{T_c} * F(Z_c - \beta) \quad (3)$$

Burada;  $\bar{X}_c$  = sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri,  $\bar{X}$  = Agreg ocağı MB değerleri dağılımının aritmetik ortalaması,  $F(Z_c - \beta)$  = ( $Z_c - \beta$ ) değeri için kümülatif olasılık fonksiyonunun değeridir.

### 2.2.3. Maden yatağının toplam kullanılabilir rezerv miktarı

Burada maden yatağının toplam rezervi, ocaktan tesise taşınmayıp pasa sahasına götürülecek malzeme çıkartıldıktan sonra kalan kısımıdır. Böylelikle tesise toplamda beslenecek malzemenin miktarı belirlenmiş olur. Bu malzeme tesiste kırma-eleme işleminden geçirildikten sonra agregaya dönüştürülür. Agreg oranı bir işletmede toplamda çıkan agrega miktarının toplamda yapılan kazı miktarına bölünmesi ile bulunabilir. Agreg oranının azalması, madencilik

faaliyetlerinin artması anlamına gelip birim agrega için daha fazla zaman, işçilik ve maliyet artışına neden olur. Ocaktaki toplam agrega rezervi ( $R_a$ ) eşitlik 4'le hesaplanır.

$$R_a = R_t * PO \quad (4)$$

Burada;  $R_t$  = agrega ocağındaki toplam malzeme (agrega + pasa) rezervi ve  $PO$  = agrega (agrega/toplam malzeme) oranıdır.

### 2.2.4. Sınır MB Değeri Altındaki İşletilebilir Cevher Kütleli Miktarı

Toplam kullanılabilir agrega rezervi ( $R_a$ ) ve tonaj oranının ( $T_c$ ) çarpımı ile işletilebilir agrega kütleli miktarı ( $QM_j$ ) eşitlik 5 ile bulunur. İşletilebilir agrega kütleli, beton yapımında kullanılacak agreganın miktarıdır.

$$QM_j = R_a * T_c \quad (5)$$

### 2.2.5. Maden Yatağının Ömrü

Maden yatağının ömrü kırma eleme tesisi üretim kapasitesine bağlıdır. Kırma eleme tesisinden üretilen agrega aynı zamanda beton santralinin yılda üretebileceği maksimum beton miktarını da belirler. Eğer tesiste bir stabilize (By-Pass) malzeme çıkışı varsa, tesise beslenen malzeme üretilen agrega miktarından fazla olur, bunun nedeni malzemenin bir miktarının agrega değil stabilize (By-Pass) malzeme olarak üretilmesinden kaynaklanır. İstenilen agrega üretim kapasitesine ulaşmak için stabilize oranına göre daha fazla malzeme tesise beslenmelidir.

Agrega ocağı işletilebilir cevher kütleli miktarı ( $QM_j$ ) ve istenilen agrega üretim kapasitesine ( $FQ_c$ ) bağlı olarak maden yatağının ömrü ( $T_j$ ) eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$T_j = \frac{QM_j}{FQ_c} \quad (6)$$

### 2.2.6. Maden İşletme ve Konkasör Kapasitesinin Belirlenmesi

Sınır MB seçeneklerine ( $X_c$ ) bağlı olarak agrega ocağı madencilik kapasitesi ( $QM_j$ ), agrega ocağı toplam malzeme (agrega + pasa) miktarının ( $R_t$ ), maden yatağı ömrüne ( $T_j$ ) bölünmesiyle eşitlik 7'deki gibi hesaplanır. Agreg ocağı madencilik kapasitesi ( $QM_j$ ), tesise istenen malzemeyi sağlayabilmek için yapılan tüm madencilik faaliyetlerinin yıllık toplam miktarıdır. Bu faaliyetler

cevheri çıkartmak için yapılan pasa kazı faaliyetlerini de kapsar.

$$Qm_j = \frac{R_t}{T_j} \quad (7)$$

Kırma-eleme tesis kapasitesi ( $Q_{c_j}$ ), tesisin bir yılda toplamda işleyeceği toplam agrega malzeme miktarıdır. Kırma-eleme tesis kapasitesi ( $Q_{c_j}$ ), toplam kullanılabilir agrega rezervinin ( $R_a$ ) maden yatağının ömrüne ( $T_j$ ) bölünmesiyle eşitlik 8'deki gibi hesaplanır.

$$Q_{c_j} = \frac{R_a}{T_j} \quad (8)$$

Beton üretim kapasitesi ( $Q_{b_j}$ ), tesise beslenen malzemenin stabilizeye ayrılan kısmı çıkarıldıktan sonra kalan malzeme miktarı olup, sınır MB değerine göre stoklanır. Beton üretim kapasitesi ( $Q_{b_j}$ ), kırma-eleme tesis kapasitesine ( $Q_{c_j}$ ), tonaj oranına ( $T_c$ ) ve stabilize oranına ( $SO$ ) bağlı olarak eşitlik 9'daki gibi hesaplanır.

$$Q_{b_j} = Q_{c_j} * T_c * (1 - SO) \quad (9)$$

### 2.2.7. Ortalama Metilen Değerlerine Göre Belirlenmiş Reçetelerin Beton Maliyetleri

Her bir MB değeri için ayrı ayrı hesaplanmış beton reçeteleri olmalıdır. Bu değer bir eşitlik ile değil beton tesisinin deneysel çalışmaları sonucu oluşturdukları beton reçetelerine göre belirlenir. Ancak beton maliyetleri, MB değerinin yüksek ya da düşük değerler alması ile değişkenlik gösterir. Dayanım düşüşünü ve su ihtiyacını gidermek için betona fazladan çimento veya kimyasal katkıları eklenmesi beton maliyetini etkilemektedir.

Sınır MB değeri seçeneklerine ( $X_{c_j}$ ) bağlı olarak, hazır beton tesisinde üretilen katkı maddesi ilaveli (redoz maliyeti dahil) betonun toplam birim maliyeti ( $M_{bt_j}$ ) eşitlik 10'daki gibi hesaplanır.

$$M_{bt_j} = M_b + M_{r_j} \quad (10)$$

Burada;  $M_b$  : Betonun katkı maddesi ilavesiz ton başına birim maliyeti,  $M_{r_j}$  : j'inci sınır MB değerine sahip agrega için kullanılan katkı maddesi birim maliyetidir.

### 2.2.8. Yatırım ve Üretim Maliyetleri

Sınır MB değeri optimizasyonunda, karlılık göstergesinin ( $KG_j$ ) en büyüklüğüne karar verilmiştir. Karlılık göstergesi ( $KG_j$ ), j'inci alternatif sınır MB değeri için hesaplanacak Net Bugünkü Değerin ( $NBD_j$ ) toplam ilk yatırım maliyetine ( $TI_j$ ) bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Toplam ilk yatırım maliyeti ( $TI_j$ ), bilinen belirli bir maden işletmesi ve kırma-eleme tesisi kapasitelerine bağlı olarak üstel ilişki ile eşitlik 11'deki gibi hesaplanabilir (Gentry ve O'Neil, 1984).

$$TI_j = MI * \left(\frac{Q_{m_j}}{FQ_m}\right)^{0,65} + CI * \left(\frac{Q_{c_j}}{FQ_c}\right)^{0,65} \quad (11)$$

Burada;  $FQ_m$  = belirli bir sabit maden üretim kapasitesi,  $FQ_c$  = belirli bir sabit kırma-eleme tesisi kapasitesi,  $MI$  = Belirli bir  $FQ_m$  kapasitesine sahip maden işletmesi ilk yatırım maliyeti,  $CI$  = Belirli bir  $FQ_c$  kapasitesine sahip kırma-eleme tesisinin ilk yatırım maliyetidir.

Her bir sınır MB değeri seçeneği ( $j$ ) için hazır beton toplam üretim maliyeti ( $TM_j$ ) eşitlik 12 ile hesaplanmaktadır.

$$TM_j = F_c + Q_{b_j} * M_{bt_j} + Q_{c_j} * M_c + Q_{m_j} * M_m \quad (12)$$

Burada;  $F_c$ =sabit üretim maliyetleri,  $M_m$ =maden işletme birim üretim maliyeti,  $M_c$ = kırma-eleme tesisi birim üretim maliyeti ve  $M_{bt}$ = Betonun katkı maddesi ilaveli ton başına birim maliyetidir.

Maden işletme birim üretim maliyeti ( $M_m$ ), genelde ocakta üretilen tüvanan agreganın delme-patlatma, yükleme ve nakliye giderleri toplamından oluşan birim maliyetidir. Kırma-eleme tesis üretim maliyeti ( $M_c$ ), tesise gelen tüvanan agreganın kırma eleme işlemi için oluşan birim maliyeti olup, ocaktan tesise beslenen her malzeme için hemen hemen aynı birim maliyet olduğu kabul edilmektedir.

### 2.2.9. Satış Gelirleri

Satış gelirleri ( $G_j$ ), j'inci sınır MB değeri ile hesaplanan beton santrali üretim kapasitesinin ( $Q_{b_j}$ ) ve beton satış fiyatının ( $S$ ) çarpımı sonucu eşitlik 13'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$G_j = S * Q_{b_j} \quad (13)$$



### 2.2.10. Net Nakit Akımlar, Net Bugünkü Değer ve Karlılık Göstergesi

Net nakit akımı ( $CF_j$ ), j'inci sınır MB değeri için hesaplanan satış gelirlerinden ( $G_j$ ) toplam hazır beton maliyetinin ( $TM_j$ ) çıkarılması ile elde edilen brüt karın vergi sonrası değeri ile eşitlik 14'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$CF_j = (G_j - TM_j) * (1 - VO) \quad (14)$$

Burada, VO= vergi oranıdır.

Sınır MB değerinin değişimine göre hesaplanan agrega ocağı işletme ömründe ( $T_j$ ) elde edilecek net nakit akımlarının ( $CF_j$ ) bugünkü değerleri toplamı ile Net Bugünkü Değer (NBD) eşitlik 15'le hesaplanmaktadır.

$$NBD_j = \left( \sum_{i=1}^{T_j} \frac{CF_{ji}}{(1+r)^i} \right) - TI_j \quad (15)$$

Burada, r= İndirgeme (faiz) oranıdır.

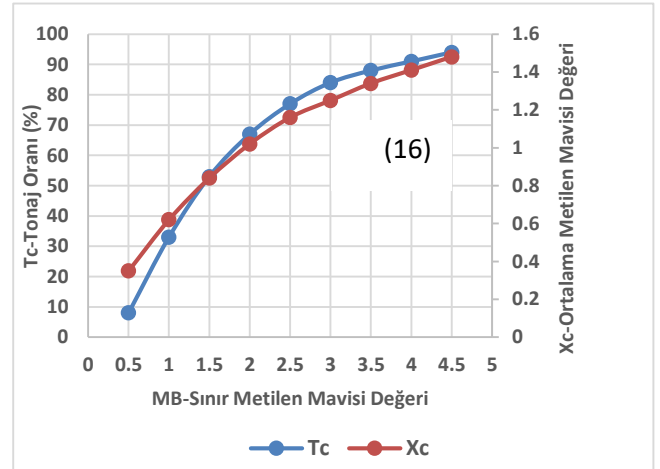
Karlılık Göstergesi ( $KG_j$ ) ise net bugünkü değer toplam yatırım maliyetine oranı olup, eşitlik 16 ile hesaplanmaktadır.

$$KG_j = \frac{NBD_j}{TI_j} \quad (16)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

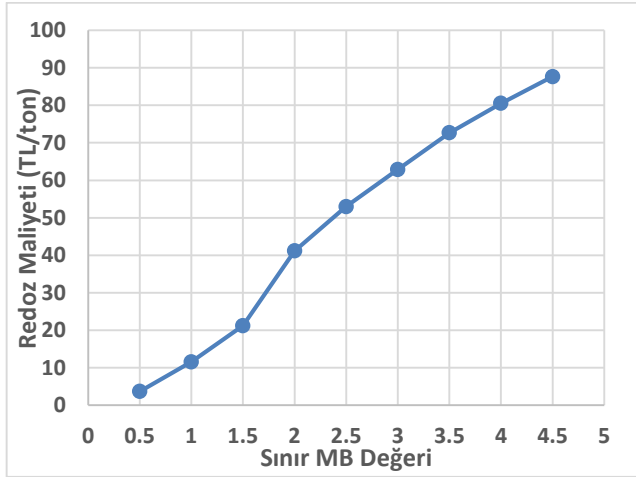
Bir agrega ocağından sınır MB değerine göre kırma-eleme tesisine besleme yapılması ve kırma-eleme tesisinden elde edilen ince agregaların hazır beton imalatında kullanılması halinde, ocak ve kırma-eleme tesisi kapasitesinin, ocak ömrünün ve betona imalatında kullanılacak çimento ve katkı maddeleri miktarına bağlı olarak hesaplanacak birim maliyetlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Üretim kapasitelerinin, maliyetlerin ve maden yatağı işletme ömrünün sınır MB değerine göre değişken olduğu durumda ise, agrega ocağının en büyük karlılıkla çalışabilmesi için optimum sınır MB değeri hakkında karar verilmesi gerekmektedir. Optimum sınır MB değerinin belirlenebilmesi için, yukarıdaki bölümde açıklanan algoritma temelinde, sınır MB değerinin değişken olduğu durum için Karlılık Göstergelerinin (KG) hesaplanması ve KG'ni en büyükleyen sınır MB değeri alternatifinin belirlenmesi gerekmektedir.

Optimum sınır MB değerine karar vermeden önce, uygulama çalışması yapılan agrega ocağının metilen mavisi dağılımı araştırıldığında, dağılımın lognormal olduğu ve dağılım aritmetik ortalamasının 1,78, logaritmik ortalamasının 0,34 ve logaritmik standart sapmasının 0,76 olduğu belirlenmiştir. MB değeri dağılım parametreleri temelinde, sınır MB değeri 0,5'ten başlayarak 0,5'er aralıkla 4,5 değerine kadar artırılarak agrega ocağının tonaj oranı ve ortalama MB değerleri hesaplandığında, Şekil 4'deki gibi değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi, agrega ocağında sınır MB değeri arttıkça tonaj oranı ( $T_c$ ) ve işletilebilir kütlelerin ortalama MB değeri ( $X_c$ ) de artmaktadır. Metalik maden yataklarında, sınır tenörün üzerindeki cevher kütleleri işletilip, altındakilerin atılması veya yerinde bırakılması söz konusu olduğundan, sınır tenör artarken tonaj oranı azalır ve sınır tenörün üzerindeki işletilebilir cevher kütlelerinin ortalama tenörü ise artar (Konuk ve Yersel, 1995). Buna karşılık agrega maden yataklarında ise, sınır MB altındaki malzemeler işletilip, üzerindeki pas olarak atılması söz konusu olduğundan, sınır MB değeri artarken tonaj oranı ve sınır metilen değerinin altındaki malzemelerin ortalama MB değeri de artmaktadır.



Şekil 4. Sınır Metilen Mavisi (MB) Değerine Karşın Agreganın Tonaj Oranı ve Ortalama Metilen Mavisi Değeri Değişimi

Sınır MB değeri arttıkça, hazır beton imalatında kullanılacak agreganın ortalama MB değeri arttığından, yapılan deneysel reçete çalışmaları sırasında betona katılacak katkı maddeleri miktarının ve birim redoz (katkı maddesi) maliyetinin de Şekil 5'deki gibi arttığı tespit edilmiştir.

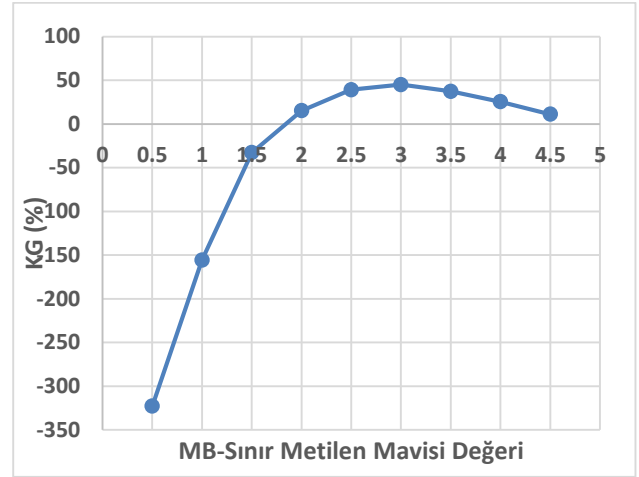


Şekil 5. Sınır Metilen Mavisi (MB) Değerine Karşın Redoz (Katkı Maddesi) Maliyeti Değişimi

Sınır MB değeri 0,5'ten başlayarak 0,5'er aralıkla 4,5 değerine kadar arttırılarak agrega ocağının tonaj oranı ve ortalama MB değerleri hesaplandıktan sonra, sınır MB değerlerine bağlı olarak agrega ocağı ve kırma-eleme tesisi kapasiteleri, maden yatağı tükenme ömrü ile ekonomik parametreler dikkate alınarak karlılık göstergeleri ( $KG_j$ ) hesaplandığında, Şekil 6'daki gibi değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, sınır MB değeri 1,8 değerine kadar hazır beton tesisine üretim yapan agrega ocağının zarar etmesi söz konusu iken, 1,8 değerinden sonra KG pozitif olmakta ve MB=3,0 değerinde KG=44,90 % ile en büyük değere ulaştıktan sonra azalmaya başlamaktadır. Bu nedenle, agrega ocağında optimum sınır MB=3,0 olmaktadır. Agrega ocağının optimum MB=3,0 sınır MB değeri ile işletilmesi halinde tonaj oranı  $T_c=0,84$  ve ortalama MB değeri de  $X_c = 1,25$  olmaktadır.

Agrega ocağında ortalama 1,25 MB değerine sahip malzemelerin işletilmesi halinde, toplam rezervin %84'ü işletilerek %16'sı ise pasa olarak atıldığında en büyük KG=44,90 % değerine ulaşmaktadır. Agrega ocağında sınır MB değeri optimizasyonu yapılmaksızın üretim yapılsaydı, %16 oranında rezerv kaybı meydana gelmeyecekti. Ancak, bu durumda da, MB ortalaması 1,78 olduğundan, KG=11,1 % olacaktı. Agrega ocağında, sınır metilen mavisi optimizasyonu gerçekleştirilerek, KG %11,1'den %44,9 değerine çıkarılabilmektedir.

Beton santralleri için agrega üreten ocaklarda sınır MB değerine göre seçimli madencilik yapılarak stok oluşturulurken, teorik olarak stok ortalamasının reçetede kullanılan agregaya yakın olması istenir. Ancak, üretim sırasında bu ortalamayı tutturmak zor olabileceğinden dolayı tek bir stok yerine birden fazla MB değerine bölünmüş stoklara ayrılıp karışım halinde beton santraline besleme yapılması daha uygundur. Özellikle yüksek kapasiteyle çalışan beton santralleri ya da baraj, tünel veya havalimanı gibi betonun yoğun



Şekil 6. Sınır Metilen Mavisi Değerine Karşın Karlılık Göstergesi (KG) Değişimi

kullanıldığı yerlerde hem maliyet hem de agregadan kaynaklı betonda istenen kalite sorunlarını minimize etmek gerekmektedir.

Sınır MB değeri optimizasyonu uygulaması ile ülkemizde agrega ocaklarından üretilen malzemelerin en doğru şekilde ve verimli kullanımını sağlamak mümkün olacaktır. Özellikle agrega ocaklarında sınır MB değeri optimizasyonu uygulamasının gerçekleştirilmesi ile ülkemizde hali hazırda yapımına devam eden ve yapılacak otoyol, baraj, tünel, havalimanları ve hastaneler gibi beton yoğun çalışmalarda yapım maliyetlerine büyük oranda etkisi olan betonun, optimum maliyetle üretilmesi ve projelerin beton maliyeti yükünün azaltılmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

Metalik maden yataklarında yapılan sınır tenör optimizasyonlarında, sınır tenörün üzerindeki cevher kütlelerinin işletimi ve altındakilerin de atılması söz konusudur. Metalik maden yataklarında optimum sınır tenör, günün ekonomik ve teknolojik koşullarına göre ortaya çıkmakta ve uygulanmaktadır. Hazır beton tesislerine agrega üreten maden yataklarında ise, agrega kalitesinin önemli göstergelerinden birisi agreganın kil içeriği olup, hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabildiği için kil içeriği MB deneyleriyle saptanabilmektedir. Agrega ocaklarından üretilen malzemelerin MB değeri ile ifade edilen kil içeriği arttığında, hazır betonun kalite standartlarına uygun olarak üretilebilmesi için kullanılan çimento ve katkı miktarları da arttırdığından, hazır beton maliyetleri de artmaktadır. Bu nedenle, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda, üretim ve yatırım maliyetlerini en aza indirecek ve karlılığı en fazla arttıracak optimum sınır MB değerinin belirlenmesi, optimum sınır MB değerinin altındaki

malzemelerin işletimi ve üstündekilerin ise pasa olarak atılması gerekmektedir. Bu çalışmada, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklar için sınır MB değeri optimizasyonu gerçekleştirilebilmek için geliştirilen algoritma tanıtılmıştır.

Bir agrega ocağında yapılan uygulama çalışmasında, ocaktaki rezervin neredeyse tamamının kullanıldığı durumda karlılık göstergesinin %11,1 olduğu, ancak optimum sınır MB değeri 3,00 uygulandığı durumda ise ocak rezervinin %84'ü kullanılırken karlılık göstergesinin %44,9'e çıktığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, agrega ocaklarından üretilen malzemenin tamamının beton yapımında kullanılmasının karlılığı azaltacağı, buna karşılık katkı maddesi kullanılmayacak şekilde en düşük sınır MB değeri ile üretim yapılması halinde ise agrega ocağı ekonomik ömrünün azalacağı ve ocak ile kırma-eleme tesisi yatırımlarının ekonomik kullanımının gerçekleşmeyeceği tespit edilmiştir.

Beton yapımında, betondan istenen özelliklerin büyük çoğunluğu agregadan gelmekle beraber, beton reçetesine giren diğer malzemelerden de etkilenebilir. Gradasyon eğrisinin hızlı yükselip azalması, yaz-kış farklılıklarında hava şartlarına göre gerek katkı gerekse çimento miktarı değişimleri, fay hatlarının olduğu bölgelerde üretimi yapılan taşın fiziksel veya kimyasal değişimleri ve fiyat değişimleri gibi durumlarda, yapılan çalışma kalan rezerve göre tekrar yenilenip tekrar sınır MB değeri optimizasyonu yapılması daha uygun olmaktadır.

Son yıllarda nüfus artışı, kentleşme ve kentsel dönüşümle birlikte konut ihtiyacı ve buna bağlı olarak da hazır beton üretimine talep hızla artmaktadır. Bununla birlikte konut maliyetlerindeki hızlı artış ise konut üretimini yavaşlatmaktadır. Özellikle konutlarda toplam maliyet içerisindeki hazır betonun oranı %10'lara ulaştığı dikkate alındığında, konut maliyet yükünün azaltılmasında beton maliyetinin düşürülmesinin önemi ortadadır. Bununla birlikte, beton maliyetlerini düşürürken, genellikle kent merkezleri civarında konumlanmış agrega ocaklarında bulunan tükenbilir kaynaklarında etkin bir şekilde kullanımı gerekmektedir. Sınır MB değeri optimizasyonu ile agrega kaynaklarının daha etkin kullanımı, kullanım dışında kalan pasanın ise ocak içi dolgu faaliyetlerinde veya rehabilitasyon çalışmalarında kullanımı mümkündür.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Emre Serhan BATTAL'ın "Beton Agregaları Sınır Metilen Optimizasyonu" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Adnan KONUK tez danışmanıdır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Battal E.S. (2022). Beton Agregaları Sınır Metilen Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Beixing, L., Mingkai, Z., ve Jiliang, W. (2011). Effect Of The Methylene Blue Value Of Manufactured Sand On Performances Of Concrete, *Journal Of Advanced Concrete Technology*, p.127-132. doi: <https://doi.org/10.3151/jact.9.127>
- Cobanoğlu, I., Celik, S. B., Cam, O., Etiz, H., ve Kursun, M. (2014). Investigation of The Usability of Travertine Quarry Wastes as Concrete Aggregate. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, p.92-99. doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.52824>
- Demir, A. (2020). A Knowledge-Based System for Fine Aggregate Material Problem Selection in Concrete Production, *Hittite Journal Of Science And Engineering*, p. 99-108. doi: <https://doi.org/10.17350/HJSE19030000178>
- Deşik, F., ve Ustabaş, İ. (2019). Kireçtaşı Kökenli Kırma Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s.262-271. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.429983>
- Farny, J. A., ve Kerkhoff, B. (1997). Diagnosis And Control Of Alkali-Aggregate Reactions In Concrete, The Portland Cement Association, p.26.
- Gentry D.W. ve O'Neil T.J. (1984). Mine Investment Analysis, Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York, N.Y. ISBN 10:0895204290 / ISBN 13:9780895204295, p.502.
- Gürbüz, G., ve Aydın, F. (2021). Agregası Kil Oranının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, *Tr. Doğa ve Fen Derg.* Cilt 10, s.144-149. doi: <https://doi.org/10.46810/tdfd.840213>
- Hasdemir, S. (2005). Metilen Mavisi Deney Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımlarına Etkisi. Türkiye Hazır Beton Birliği s.8.
- Kala, K.S., Maruthupandian, S., ve Singh, SK. (2019). Effect of Clay in Alternative Fine Aggregates on Performance of Concrete, *Construction and Building Materials*, s.228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116811>

- Konuk A. ve Yersel G. (1995). Sınır Tenor Kararlarında Üretim Kapasite Kısıtlarının Etkileri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*,46,44-51.
- Küçük, B. (2000). Beton Dayanımı ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:6, s.79-85.doi:
- Köksal, A., Abit, Ö., ve Karataş, E. (2013). Metilen Mavisi Değeri Yüksek Agregalar ve Farklı Özellikteki Kimyasal Katkılarla Yapılan Beton Çalışmaları, Yapıchem Kimya Sanayi AŞ İstanbul. Erişim adresi: <https://www.yapichem.com.tr/upload/texts/288-Beton-2013.pdf>
- Özbebek, H., ve Açık, H. (2011). İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi. Beton 2011 Kongresi, İstanbul.
- Pitre, B.T. (2012). Application Of The Modified Methylene Blue Test To Detect Clay Minerals In Coarse Aggregate Fines, The Office Of Graduate Studies Of Texas A&M University, Civil Engineering , Master Of Science Thesis,
- Şenbil, U., E., Bağdatlı, Ö., Köseoğlu, K., ve Andiç, Ç.Ö. (2014). Farklı Metilen Mavisi Değerlerine Sahip Kırma Kumların Karakterizasyonu ve Beton Üzerindeki Etkileri, *Mühendis ve Makina*, Cilt 55, Sayı 649, s. 74-80.
- Topçu, İ.B., ve Demir, A. (2008). Relationship Between Methylene Blue Values Of Concrete Aggregate Fines And Some Concrete Properties, *Can. J. Civ. Eng.* s.379-383. doi: <https://doi.org/10.1139/L07-111>
- Yersel, H. G. ve Konuk A. (1997). Manyezit maden işletmeciliğinde sınır %SiO<sub>2</sub> kararlarının riskliliği, *Madencilik*, 36, 1, 11-19.
- Yitik, H. (2006). İnce Tanelerdeki Kil İçeriğinin Metilen Mavisi Deneyi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75 S.
- Zhan'ao, L., Mingkai, Z.,ve Beixing, L. (2016). Relationships Between Modified Methylene Blue Value of Microfines in Manufactured Sand And Concrete Properties, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater.* doi: <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1412-x>

**DIAGNOSING DISEASES FROM FINGERNAIL IMAGES**Zuhal CAN<sup>1\*</sup>, Sahin Isik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6801-1334>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1768-7104>

**Keywords**

*EfficientNet, Deep learning, Prediction web application*

**Abstract**

*In the medical domain, the human nail has the potential to give insight into a broad range of dermatological nail disorders. There are several approaches to early diagnosis of particular nail disease with shape and texture analysis through image processing stages, including capturing, processing, feature extraction, and classification steps. Through the use of image processing and deep learning techniques, this study investigates how the appearance of a person's fingers and nails can assist in the diagnosis of a variety of diseases. These diseases include Darier's disease, Muehrcke's lines, alopecia areata, beau's lines, bluish nails, and clubbing. We used a publicly available dataset that had a total of 656 samples and 17 distinct classes. For the purposes of training, validating, and testing our model, we partitioned the dataset into three folds according to a standard rule known as the 0.7:0.2:0.1. We evaluated the performance of the EfficientNet-B2 model utilizing Noisy-Student weights and a batch size and epoch count of 32 and 1,000, respectively. The algorithm detects fingernail illnesses with a 72% accuracy and 91% AUC score for test samples. This study's empirical data provides a fresh knowledge that the EfficientNet-B2 model can identify label of various types of nail diseases.*

**TIRNAK GÖRÜNTÜLERİNDEN HASTALIK TEŞHİSİ****Anahtar Kelimeler**

*EfficientNet, Derin öğrenme, Tahmin ağ uygulaması*

**Öz**

*Tıp alanında, insan tırnağı, çok çeşitli dermatolojik tırnak bozuklukları hakkında fikir verme potansiyeline sahiptir. Yakalama, işleme, öznelik çıkarma ve sınıflandırma adımlarını içeren görüntü işleme aşamaları ile şekil ve doku analizi aracılığıyla belirli tırnak hastalığının erken teşhisine yönelik birkaç yaklaşım vardır. Bu çalışmada, görüntü işleme ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak, bir kişinin parmaklarının ve tırnaklarının görünümünün çeşitli hastalıkların teşhisine nasıl yardımcı olabileceğini araştırılmaktadır. Bu hastalıklar arasında Darier hastalığı, Muehrcke çizgileri, alopesi areata, beau çizgileri, mavimsi tırnaklar ve çomaklaşma yer alır. Toplamda 656 örnek ve 17 farklı sınıfa sahip halka açık bir veri kümesi kullanılmıştır. Modelimizi eğitmek, doğrulamak ve test etmek amacıyla, veri seti 0.7:0.2:0.1 olarak bilinen standart bir kurala göre üç bölüme ayrılmıştır. EfficientNet-B2 modelinin performansını, Noisy-Student ağırlıkları ve sırasıyla 32 ve 1.000 parti boyutu ve dönem sayısı kullanarak değerlendirilmiştir. Algoritma, test numuneleri için %72 doğruluk ve %91 AUC puanı ile tırnak hastalıklarını tespit etmektedir. Bu çalışmanın deneysel verileri, EfficientNet-B2 modelinin çeşitli tırnak hastalıklarının etiketlerini tanımlayabildiğine dair taze bir bilgi sağlamaktadır.*

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 30.04.2022

Kabul Tarihi

: 24.10.2022

Research Article

Submission Date

: 30.04.2022

Accepted Date

: 24.10.2022

**1. Introduction**

People may have conditions that can be underlying symptoms of severe diseases. Early detection of these

diseases is vital to increase the chance of overcoming them. However, people often neglect to go to the hospital or seek professional medical help; it is common for people to just search for their conditions from online

\* Corresponding Author; e-mail : [zcan@ogu.edu.tr](mailto:zcan@ogu.edu.tr)

sources. Without a professional opinion, symptoms that were not caught in the disease's early stages can grow to further stages.

One of the symptoms of many diseases is the appearance of fingernails. This study aims to accurately diagnose diseases from the appearance of one's fingernails through fingernails images' disease identification process. For this purpose, a disease diagnosing system is developed using a deep learning model to classify fingernail diseases, including alopecia areata, beau's lines, bluish nail, clubbing, darier disease, eczema, half and half nails (Lindsay's nails), koilonychias, leukonychia, muehrcke's lines, onycholysis, pale nail, red lunula, splinter hemorrhage, terry's nail, white nails, and yellow nails. This system consists of a web application based on a deep learning model developed by the EfficientNet-B2 model. Patients who are worried about the health of their fingernails can take a picture of their fingernails and upload it to the system for a quick diagnosis, with a success rate of 72%.

This study presents a diagnosing disease system based on fingernail images. In section 2, we include a literature review on the subject. In Section 3, we propose the disease diagnosing model on fingernail images. Our findings are presented in Section 4, and we include a discussion and conclude the paper in Section 5. We hypothesize that this system will raise awareness of the disease symptoms based on fingernail appearances and contribute to the existing knowledge on deep learning in the related medical fields.

## 2. Literature Review

Deep learning-based approaches are increasingly prominent techniques in various artificial intelligence research areas to automate diagnostic processes and decision-making (Watson, Cooper, Palacio, Moran, & Poshyvanyk, 2022)(Yang, Hu, & Li, 2020)(Gustisyaf & Sinaga, 2021).

In recent years, there has been an increase in deep learning applications in biomedical research, especially in medical diagnostics. The medical diagnostics research focuses on developing healthcare through medical imaging technology and medical data analysis (Meijering, 2020)(Mansour, Althobaiti, & Ashour, 2021)(Iqbal, Sharif, Yasmin, Raza, & Aftab, 2022). Various kinds of biomedical images such as ultrasound (Cammarasana, Nicolardi, & Patanè, 2022), X-rays (Sharma et al., 2022), MRI (Lundervold & Lundervold, 2019), or other clinical images (Esteva et al., 2017) (Mansour et al., 2021) can be the domain of deep learning-based medical diagnostics. Medical diagnostic research includes detecting and analyzing the related disease to recognize the disease's existence, type, and level (Kovalev, Liauchuk, Voynov, & Tuzikov, 2021)(Thanikachalam et al., 2022).

EfficientNet (Tan & Le, 2019) is a novel convolutional neural network architecture for analyzing images and is preferred as a prediction model in various disease diagnostic research for humans (Venugopal, Joseph, Das, & Nath, 2022)(Nayak, Padhy, Mallick, Zymbler, & Kumar, 2022)(Wang, Liu, Xie, Yang, & Zhou, 2021)(Ravi, Acharya, & Alazab, 2022)(Zhu et al., 2022)(Marques, Ferreras, & de la Torre-Diez, 2022) and plants (Hanh, Van Manh, & Nguyen, 2022)(Farman et al., 2022)(Atila, Uçar, Akyol, & Uçar, 2021)(Li, Liu, Li, & Liu, 2022). EfficientNet's popularity among deep learning researchers is due to its high classification and prediction performances. EfficientNet's performance is compared with other deep learning models in various studies, and, EfficientNet is found to perform better than others (Nayak et al., 2022)(Zhu et al., 2022)(Marques et al., 2022)(Atila et al., 2021)(Li et al., 2022).

For automating the diagnostic process, several software applications are developed (Gómez-de-Mariscal et al., 2021)(Azman & Kairuddin, 2022)(Tsutsumi et al., 2021). Our study focuses on developing a web-based application for diagnosing 17 fingernail diseases based on EfficientNet deep learning model and public dataset images.

There are several studies in the literature for fingernail disease classification. Banu and Devi compared the performance of various classifiers, such as SVM and KNN, based on an image dataset of eight types of abnormalities (Thahira Banu & Devi, 2021). Indi and Patil analyzed the color, shape, and features of fingernails and applied SVM, KNN, and ANN classifiers for predicting diseases (Indi & Patil, 2019). Izadi et al. studied the existence of fungus through various convolutional neural network models including InceptionResNetV2, MobilenetV2, Xception, ResNet-101, NasNetMobile, DenseNet (Izadi, Morovati, Ranjbaran, & Homayounmajd, 2021). Mehra et al. classified and diagnose two fingernail diseases based on several deep learning models, including VGG-16, VGG-19, ResNet50, and DenseNet121 (Mehra, D'Costa, D'Mello, George, & Kalbande, 2021). Maniyan and Shivakumar extracted 13 features from nail color, shape, and texture of nails and classified fingernail diseases based on the KNN classifier (Maniyan & Shivakumar, 2018). Yani et al. studied the existence of Terry's Nail using Inception-V3 architecture (Yani & others, 2019). In another study (Abdulhadi, Al-Dujaili, Humaidi, & Fadhel, 2021), it was examined four forms of nail illnesses, including healthy nails, nail hyperpigmentation, nail clubbing, and nail fungus. The obtained dataset's samples were categorized using five pretrained deep Convolutional Neural Network (CNN) models (AlexNet, Vgg16, GoogleNet, ResNet50 and DenseNet201). The highest recognition rate was obtained with ResNet50 as 96.40%. In a traditional approach (Safira, Irawan, & Setianingsih, 2019), it was aimed to identify abnormalities in Terry's nail. For this

purpose, textural features were analyzed using grey level co-occurrence matrix (GLCM) and the KNN classifier. The best accuracy result was 70.93% with K=1.

None of these studies performed EfficientNet for fingernail disease classification and diagnostics. To the best of our knowledge, this is the first web-based deep-learning application developed for fingernail disease diagnostics based on the EfficientNet model.

### 3. Method

Research and publication ethics are followed in this study.

#### 3.1. Dataset

The dataset comprises 655 fingernail photos of 17 diseases collected from Kaggle datasets (Kaggle, 2022), as shown in Table 1.

Table 1

Total Amount of Images in Each Disease Class

| Disease Class        | Number of Images |
|----------------------|------------------|
| Alopecia areata      | 47               |
| Beau's lines         | 42               |
| Bluish nail          | 50               |
| Clubbing             | 40               |
| Darier_s disease     | 47               |
| Eczema               | 45               |
| Lindsay_s nails      | 38               |
| Koilonychia          | 38               |
| Leukonychia          | 31               |
| Muehrck-e's lines    | 33               |
| Onycholycis          | 50               |
| Pale nail            | 35               |
| Red lunula           | 15               |
| Splinter hemmorrhage | 62               |
| Terry's nail         | 36               |
| White nail           | 19               |
| Yellow nails         | 27               |

#### 3.2. System Design

The fingernail diagnosing system comprises a front-end and a back-end development with a deep learning model as depicted in Figure 1. The front-end is a web application that is built using web development technologies, including Python, HTML5, CSS3, JavaScript, and ReactJS. The front-end web application

allows images to be uploaded into the server and be evaluated based on the deep learning model.

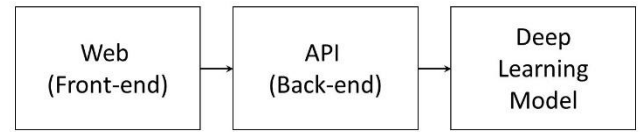


Figure 1. The Nail Diseases Prediction web application system

Web-based nail-disease recognition system is written in python code using Flask web framework. Flask uses a templates folder for reading and rendering HTML files; and a static folder for reaching CSS and js files. In the python code, the prediction model is uploaded to the system by load\_model function as given below:

```
model = load_model(MODEL_PATH, compile = False)
```

model.predict(image) predicts the class of the given image. In our system, uploaded images are stored in the uploads directory, and the prediction results are posted to the web browser.

The back-end runs on NodeJS as a server. Back-end development involves importing required libraries into the Python environment, including Tensorflow, Keras, NumPy, pyplot, OpenCV, and sklearn libraries.

Data need to be split into separate sets by a portion of 0.7:0.2:0.1 for training, testing and validation using splitfolders.ratio function from splitfolders module. All the images are resized to be the same size. The image size is 224x224x3 px. Then dataset is checked, and images are labeled by classes.

#### 3.3. Deep Learning Method

We have applied the transfer learning methodology using EfficientN2-B2 as the base model and two different CNN2d layers as fully connected layers with the goal of improving the performance. The first CNN2d includes 128 filters, and the second consists of 64 filters. Besides, we used Adam optimizer for updating weights in a fast, robust and flexible way. As an improvement, we have used Noisy Student Weights in the case of compiling the model. Also, we have integrated GlobalAveragePooling2D and Dropout(0.1) layers for modification.

Overfitting occurs when a model learns the attributes of the training set and predicts based on generalization. To tackle the problem of overfitting, we have applied data augmentation techniques to better generalization. The augmentation technique modifies and expands old data by flipping, rotating, or zooming horizontally or vertically. The horizontal/vertical rotate, rotation (10

degree), shear\_range (0.1), zoom\_range (0.1) and normalized with ImageNet mean and standard deviation values for color images (224x224x3 px). The deep learning model is developed on colab.research.google.com and saved as a file with hdf5 extension.

**3.4. Performance Metrics**

Model accuracy, precision, recall, F-score are calculated based on the prediction amount of True Positives (TP), True Negatives (TN), False Positives (FP), and False Negatives (FN) as shown in (1), (2), (3) and (4), respectively. The area under the Receiver Operator Characteristic (ROC) curve is defined as AUC (Area Under Curve). The AUC measures the test's ability to classify all nail diseases correctly (Fangyu & Hua, 2018).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{1}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{2}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

$$F - Score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \tag{4}$$

**4. Results**

Model results are given in Table 2 in summary and in Figure 2 in more detail. Table 2 presents the scores of our model in 17 different classes. Our accuracy is 0.72 % for these classes. Figure 2 lists individual scores for each classes. Error rates for each class on test set is demonstrated in Figure 3.

Table 2

Performance Results of the Deep Learning Model

| Model                      | Accuracy | AUC  | Precision | Recall | F-Score |
|----------------------------|----------|------|-----------|--------|---------|
| Noisy-Student Weights-Adam | 0.72     | 0.91 | 0.71      | 0.73   | 0.72    |

|                      | precision | recall | f1-score |
|----------------------|-----------|--------|----------|
| Darier_s disease     | 0.73      | 0.73   | 0.73     |
| Muehrck-e_s lines    | 0.86      | 0.86   | 0.86     |
| alopecia areata      | 0.48      | 1.00   | 0.65     |
| beau_s lines         | 0.45      | 0.56   | 0.50     |
| bluish nail          | 0.90      | 0.90   | 0.90     |
| clubbing             | 0.70      | 0.88   | 0.78     |
| eczema               | 1.00      | 0.80   | 0.89     |
| Lindsay_s nails      | 0.75      | 0.67   | 0.71     |
| koilonychia          | 0.67      | 0.44   | 0.53     |
| leukonychia          | 0.80      | 0.57   | 0.67     |
| onycholycis          | 0.69      | 0.90   | 0.78     |
| pale nail            | 0.50      | 0.38   | 0.43     |
| red lunula           | 1.00      | 0.50   | 0.67     |
| splinter hemmorrhage | 0.82      | 0.69   | 0.75     |
| terry_s nail         | 0.57      | 0.50   | 0.53     |
| white nail           | 0.67      | 0.40   | 0.50     |
| yellow nails         | 0.80      | 0.57   | 0.67     |

Figure 2. Performances of each Disease Class

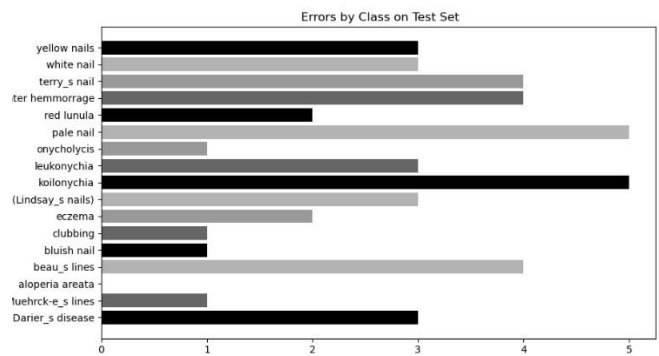


Figure 3. Errors of Classes on the Test Set

The confusion matrix is the visualization of the model's performance that demonstrates whether the system is confusing classes. The significant amount of zeros in the confusion matrix, as shown in Figure 4, proves that the given model distinguished among classes with good accuracy.

The Nail Diseases Prediction web application interprets the predictions and prints the result to the screen for web users. The application asks users to upload an image and evaluate the uploaded image based on the developed model. For model evaluation, the saved model is loaded by load\_model() function of tensorflow.keras.models module, and then, the predict() function is called to make predictions about uploaded images. This web application allows continuous image uploads. Users can reset the system to view the clean page with the reset button. The application is run on localhost, and some predictions of the application are shown in Figure 5.



| Actual \ Predicted  | Darier_s disease | Muehrck-e_s lines | alopecia areata | beau_s lines | bluish nail | clubbing | eczema | Lindsay_s nails | koilonychia | leukonychia | onycholysis | pale nail | red lunula | splinter hemorrhage | terry_s nail | white nail | yellow nails |
|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|----------|--------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|---------------------|--------------|------------|--------------|
| Darier_s disease    | 8                | 0                 | 3               | 0            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| Muehrck-e_s lines   | 0                | 6                 | 0               | 0            | 0           | 0        | 0      | 1               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| alopecia areata     | 0                | 0                 | 11              | 0            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| beau_s lines        | 0                | 1                 | 0               | 5            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 1           | 0           | 1         | 0          | 0                   | 1            | 0          | 0            |
| bluish nail         | 0                | 0                 | 0               | 0            | 9           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 1            | 0          | 0            |
| clubbing            | 1                | 0                 | 0               | 0            | 0           | 7        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| eczema              | 0                | 0                 | 0               | 1            | 0           | 0        | 8      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 1            |
| Lindsay_s nails     | 0                | 0                 | 0               | 1            | 0           | 1        | 0      | 6               | 0           | 0           | 1           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| koilonychia         | 1                | 0                 | 0               | 0            | 1           | 0        | 0      | 4               | 0           | 2           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 1            | 0          | 0            |
| leukonychia         | 0                | 0                 | 2               | 1            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 4           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| onycholysis         | 0                | 0                 | 0               | 0            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 9           | 1         | 0          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| pale nail           | 0                | 0                 | 4               | 0            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 3         | 0          | 0                   | 0            | 1          | 0            |
| red lunula          | 0                | 0                 | 1               | 0            | 0           | 0        | 0      | 0               | 1           | 0           | 0           | 0         | 2          | 0                   | 0            | 0          | 0            |
| splinter hemorrhage | 0                | 0                 | 0               | 0            | 0           | 1        | 0      | 1               | 1           | 0           | 1           | 0         | 0          | 9                   | 0            | 0          | 0            |
| terry_s nail        | 1                | 0                 | 1               | 1            | 0           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 1         | 0          | 0                   | 4            | 0          | 0            |
| white nail          | 0                | 0                 | 1               | 0            | 1           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 1                   | 0            | 2          | 0            |
| yellow nails        | 0                | 0                 | 0               | 0            | 2           | 0        | 0      | 0               | 0           | 0           | 0           | 0         | 0          | 0                   | 1            | 0          | 4            |

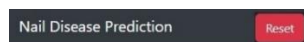
Figure 4. Confusion Matrix of the Prediction Results on Each Classification



a. Web page view before upload.



b. Web page view before prediction.



c. Web page view after prediction.



d. Web page view after prediction of another disease.

Figure 5. Screenshots of the Nail Diseases Prediction Web Application

### 5. Discussion and Conclusion

In this study, we have developed a web-based application for diagnosing 17 fingernail diseases based on the EfficientNet-B2 model. This study aims to enlighten patients with an accurate prediction of their conditions based on fingernail images through deep learning solutions and a web-based fingernail disease identification system. This system diagnoses nail diseases with high accuracy (72%) with availability for everyone from the ease of their homes. Compared to the studies in the literature, this is the first web-based deep-learning application developed for fingernail disease diagnostics based on the EfficientNet model. Even though our detection score appears low, we have utilized many different classes. In contrast to the literature, which only considers binary classification or a small number of classifications, our real-time system performs on 17 distinct categories.

This system can be improved by including more pictures into the dataset with images of healthy and ill nails. Fingernail diseases may correlate with the presence of certain disorders. Further studies can address the relationship between nail diseases and skin cancer. We believe that this study will help save lives by catching diseases in their early stages.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### Acknowledgement

We thank Kumbukani Kamanga and Ahmad Zaidan for their support in the web application coding.

## References

- Abdulhadi, J., Al-Dujaili, A., Humaidi, A. J., & Fadhel, M. A.-R. (2021). *Human Nail Diseases Classification based on transfer learning*.
- Atila, Ü., Uçar, M., Akyol, K., & Uçar, E. (2021). Plant leaf disease classification using EfficientNet deep learning model. *Ecological Informatics*, 61, 101182.
- Azman, K. A., & Kairuddin, W. N. H. W. (2022). Disease Classification by Human Fingernail Colour Image Processing. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 3(1), 180–190.
- Cammarasana, S., Nicolardi, P., & Patanè, G. (2022). Real-time denoising of ultrasound images based on deep learning. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1–16.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118.
- Fangyu, L. I., & Hua, H. E. (2018). Assessing the accuracy of diagnostic tests. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 30(3), 207.
- Farman, H., Ahmad, J., Jan, B., Shahzad, Y., Abdullah, M., & Ullah, A. (2022). EfficientNet-Based Robust Recognition of Peach Plant Diseases in Field Images. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, 71(1), 2073–2089.
- Gómez-de-Mariscal, E., Garcia-López-de-Haro, C., Ouyang, W., Donati, L., Lundberg, E., Unser, M., ... Sage, D. (2021). DeepImageJ: A user-friendly environment to run deep learning models in ImageJ. *Nature Methods*, 18(10), 1192–1195.
- Gustisyaf, A. I., & Sinaga, A. (2021). Implementation of Convolutional Neural Network to Classification Gender based on Fingerprint. *International Journal of Modern Education & Computer Science*, 13(4).
- Hanh, B. T., Van Manh, H., & Nguyen, N.-V. (2022). Enhancing the performance of transferred efficientnet models in leaf image-based plant disease classification. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(3), 623–634.
- Indi, T. S., & Patil, D. D. (2019). Nail Feature Analysis and Classification Techniques for Disease Detection. *Int. J. Comput. Sci. Eng*, 7(5), 1376–1383.
- Iqbal, A., Sharif, M., Yasmin, M., Raza, M., & Aftab, S. (2022). Generative adversarial networks and its applications in the biomedical image segmentation: a comprehensive survey. *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 1–36.
- Izadi, V., Morovati, M., Ranjbaran, G., & Homayounmajd, S. (2021). An Empirical Study of Nail Fungus Classification Using Deep and Traditional Machine Learning Methods. *Journal of Bioengineering Research*, 3(3), 16–23.
- Kaggle. (2022). Nail Dataset. Retrieved from <https://www.kaggle.com/datasets/reubenindustrustech/nail-dataset-new>
- Kovalev, V. A., Liauchuk, V. A., Voynov, D. M., & Tuzikov, A. V. (2021). Biomedical Image Recognition in Pulmonology and Oncology with the Use of Deep Learning. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 31(1), 144–162.
- Li, B., Liu, B., Li, S., & Liu, H. (2022). An Improved EfficientNet for Rice Germ Integrity Classification and Recognition. *Agriculture*, 12(6), 863.
- Lundervold, A. S., & Lundervold, A. (2019). An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI. *Zeitschrift Für Medizinische Physik*, 29(2), 102–127.
- Maniyan, P., & Shivakumar, B. L. (2018). Early Disease Detection Through Nail Image Processing Based On Ensemble Of KNN Classifier And Image Features. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 20(3).
- Mansour, R. F., Althobaiti, M. M., & Ashour, A. A. (2021). Internet of things and synergic deep learning based biomedical tongue color image analysis for disease diagnosis and classification. *IEEE Access*, 9, 94769–94779.
- Marques, G., Ferreras, A., & de la Torre-Diez, I. (2022). An ensemble-based approach for automated medical diagnosis of malaria using EfficientNet. *Multimedia Tools and Applications*, 1–18.
- Mehra, M., D'Costa, S., D'Mello, R., George, J., & Kalbande, D. R. (2021). Leveraging Deep Learning for Nail Disease Diagnostic. *2021 4th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, 1–5.
- Meijering, E. (2020). A bird's-eye view of deep learning in bioimage analysis. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 2312–2325.
- Nayak, D. R., Padhy, N., Mallick, P. K., Zymbler, M., & Kumar, S. (2022). Brain Tumor Classification Using Dense Efficient-Net. *Axioms*, 11(1), 34.

- Ravi, V., Acharya, V., & Alazab, M. (2022). A multichannel EfficientNet deep learning-based stacking ensemble approach for lung disease detection using chest X-ray images. *Cluster Computing*, 1–23.
- Safira, L., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2019). K-Nearest Neighbour Classification and Feature Extraction GLCM for Identification of Terry's Nail. *2019 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*, 98–104.
- Sharma, S., Gupta, S., Gupta, D., Rashid, J., Juneja, S., Kim, J., & Elarabawy, M. M. (2022). Performance evaluation of the deep learning based convolutional neural network approach for the recognition of chest X-ray images. *Frontiers in Oncology*, 12.
- Tan, M., & Le, Q. V. (2019). *EfficientNet: improving accuracy and efficiency through AutoML and model scaling*. *Google AI Blog*.
- Thahira Banu, V., & Devi, M. R. (2021). Hybrid Classifier to Classify The Finger Nail Abnormalities. *Information Technology In Industry*, 9(1), 549–555.
- Thanikachalam, V., Shanthi, S., Kalirajan, K., Abdel-Khalek, S., Omri, M., & Ladhar, L. M. (2022). Intelligent Deep Learning Based Disease Diagnosis Using Biomedical Tongue Images. *CMC-Computers Materials & Continua*, 70(3), 5667–5681.
- Tsutsumi, K., Goshtasbi, K., Risbud, A., Khosravi, P., Pang, J. C., Lin, H. W., ... Abouzari, M. (2021). A web-based deep learning model for automated diagnosis of otoscopic images. *Otology & Neurotology*, 42(9), e1382--e1388.
- Venugopal, V., Joseph, J., Das, M. V., & Nath, M. K. (2022). An EfficientNet-based modified sigmoid transform for enhancing dermatological macro-images of melanoma and nevi skin lesions. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 106935.
- Wang, J., Liu, Q., Xie, H., Yang, Z., & Zhou, H. (2021). Boosted efficientnet: Detection of lymph node metastases in breast cancer using convolutional neural networks. *Cancers*, 13(4), 661.
- Watson, C., Cooper, N., Palacio, D. N., Moran, K., & Poshyvanyk, D. (2022). A Systematic Literature Review on the Use of Deep Learning in Software Engineering Research. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 31(2), 1–58.
- Yang, X., Hu, Q., & Li, S. (2020). Recognition and classification of damaged fingerprint based on deep learning fuzzy theory. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(4), 3529–3537.
- Yani, M., & others. (2019). Application of transfer learning using convolutional neural network method for early detection of terry's nail. *Journal of Physics: Conference Series*, 1201(1), 12052.
- Zhu, S., Lu, B., Wang, C., Wu, M., Zheng, B., Jiang, Q., ... Yang, W. (2022). Screening of common retinal diseases using six-category models based on EfficientNet. *Frontiers in Medicine*, 130.

**ESTIMATION OF COAL SEAM METHANE CONTENTS USING FUZZY LOGIC METHOD**Nilüfer KURŞUNOĞLU <sup>1\*</sup><sup>1</sup>Batman University, Engineering Faculty, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Batman  
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1765-9015>**Keywords***Coal, underground mining, methane, fuzzy logic, mine safety***Abstract**

*The physical characteristics and chemical composition of the coal change as a result of coalification. Coal has a particular ability for sorption. One of the main dangers in underground coal mines is methane, which is also a problem for the environment because of gas emissions from coal mining. Numerous mechanisms, including gas migration, accumulation, and formation, affect methane content. Depending on the rank and depth of the coal seam, its quality and quantity vary significantly. Methane poses a significant threat as mining depths increase because of the possibility of explosion. Therefore, a critical issue for mine safety is the forecast of methane concentrations based on various and changing working conditions. In this study, the estimation of coal seam methane concentrations was performed using fuzzy logic, which offers a quick and reliable approach. The study's goal is to suggest a different approach to preventing potential mining accidents by predicting the amount of methane in coal seams using fuzzy logic. Therefore, a fuzzy inference system (FIS) model was developed by using Mamdani system. The field methane contents were compared to the model values. The findings show that the fuzzy logic model has a 92% success rate in making accurate predictions. The classifications established based on the measured value in the field and those predicted by the fuzzy model are similar.*

**KÖMÜR DAMARI METAN İÇERİKLERİNİN BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ****Anahtar Kelimeler***Kömür, yeraltı madenciliği, metan, bulanık mantık, maden güvenliği***Öz**

*Kömürleşme işlemi, kömürün hem fiziksel özelliklerinde hem de kimyasal yapısında değişikliklere neden olur. Sorpsiyon kapasitesi, kömürün karakteristik bir özelliğidir. Metan, yeraltı kömür madenlerinde önemli tehditlerden biridir ve ayrıca kömür madenciliğinden kaynaklanan gaz emisyonlarının çevresel bir sorundur. Metan içeriği, gaz göçü, birikimi ve üretimi gibi bir dizi sürece bağlıdır. Kalitesi ve miktarı, kömür damarının derecesine ve derinliğine bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterir. Üretim derinliklerinin artmasıyla birlikte metan, patlama riski nedeniyle önemli bir tehlike haline gelmektedir. Bu nedenle metan içeriklerinin farklı ve değişen çalışma koşullarına göre tahmin edilmesi maden güvenliği açısından önemli bir konudur. Bu çalışmada kömür damarı metan içeriklerinin tahmininde hızlı ve güvenilir bir çözüm sunan Bulanık Mantık yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmanın amacı, Bulanık Mantık yöntemi ile kömür damarı metan içeriklerini tahmin ederek olası maden kazalarını önlemek için alternatif bir yol önermektir. Bu nedenle Mamdani sistemi kullanılarak bir bulanık çıkarım modeli geliştirilmiştir. Model sonuçları yerinde metan içerikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Bulanık Mantık modelinin %92 başarı oranı ile güvenilir bir tahmin aracı olabileceğini göstermektedir. Bulanık modelin tahmin etmiş olduğu sınıf ile sahada ölçülen değere göre belirlenen sınıflar benzerdir.*

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 24.06.2022

Kabul Tarihi

: 25.10.2022

Research Article

Submission Date

: 24.06.2022

Accepted Date

: 25.10.2022

\* Sorumlu yazar; e-posta : nilufer.kursunoglu@batman.edu.tr

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Coalbed methane (CBM) is a natural gas that can be gathered from coal seams. While some gas constituents transfer into coal seams from other layers, CBM is generated in situ by thermal, microbial, or probably catalytic deterioration of inherent ingredients existent in coal. CBM primarily includes methane (CH<sub>4</sub>) with the other constituents of nitrogen (N<sub>2</sub>), heavier hydrocarbons, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), and butanes (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) (Gao, Mastalerz and Schimmelmann, 2014). CBM is different from traditional gas basins or sandstone since it is deposited in the coal in a manner named adsorption. It is stored in natural fractures, butt cleats, face cleats, pores, and micro-pores. Methane is supposed to exist mainly in matrix pores (>95%), micro-pores in adsorbed conditions, and very little quantity in natural fractures (<5%). Methane occurs in two different forms in coal, generally called adsorbed gas and free gas. The free gas contains particles that are free to transfer in the fractures and pores. Most of CBM is in adsorbed condition on the micropores of the coal surface, thus coal is both the reservoir rock and resource for CBM (McPherson, 1993).

In the pores and fractures of coal under undisturbed conditions, there is an equilibrium between adsorbed gas and free gas. As mining operations get underway, the gas pressure gradient may cause flow-through natural or stress-induced fractures. Desorption is stimulated by the pores' low gas pressure. In other words, when the binding pressure that keeps the gases in coal is released, gas emission happens by diffusion. This principle continues during the methane extraction process. Due to production in deep coal seams, increased productivity, and increased coal fragmentation, methane emissions from coal have considerably increased during the past few decades. Methane must be under control at the working faces and other mine locations, according to existing standards for coal mines. A ventilation system that is well-designed can do this (Prasad, 2012).

CBM content is affected by various factors such as seam thickness, seam depth, coal rank, maceral composition (vitrinite, liptinite, inertinite), cleats/fractures, hydrodynamic properties, porosity and permeability, reservoir temperature, geothermal gradient, physical and chemical features of the coal (ash content, volatile matter, water content), pressure, magma intrusion (Islam and Hayashi, 2008; Hemza, Sivek and Jirásek, 2009; Kedzior, 2009; Zhu, Liu, Chen and Kang, 2017). Methane content is one of the most important parameters to be measured to characterize a coal seam, both in terms of mine safety and gas recovery. Within the scope of the present study, when some studies in the literature were examined, it has been seen that the methane content in coal seams was determined as the most important risk factor for mine safety (De-shun and Kai-li, 2011; Mahdevari, Shahriar and Esfahanipour,

2014; Mutlu and Sari, 2022). There are two causes to measure the coal seam methane contents and related strata: (1) Such data are essential in the valuation of methane emissions into working areas and, thus, these emissions can be diluted to the mandatory and safe threshold limit values. (2) The methane content of the layers is necessary data for computer models or other computational processes to assess the gas flows attained from methane drainage applications. There are two methods such as direct and indirect methods to evaluate the coal gas content. The direct measurement method consists of observations of gas release from coal samples. The indirect method is based on the adsorption isotherms, measuring other coal properties, and examining the relationships between these factors (McPherson, 1993; Prasad, 2012).

Coalbed methane is a type of unconventional natural gas storage, which exists in the coal seam and its adjacent rocks in reservoir type. Coalbed methane is not only one of the important disasters factors in coal mine production, but also is a prerequisite for commercial exploration and development of coalbed methane resources in a region. Therefore, whether it is for coal mine production safety, or for accurate evaluation and prediction of coalbed methane development prospects, coalbed methane content is one of the most important parameters (He, Zhao, Zhang, Gao and Yang, 2016).

Since coalbed methane is a kind of complex and uncertain phenomenon, there is a need for methods to overcome complex and uncertain problems. The Fuzzy Logic is one of the most efficient artificial intelligence methods that can handle complex and unclear problems reliably and flexibly. Thus, the Fuzzy Logic method was used to estimate the methane contents of the coal seams in this study. The main object of the study is to guide the future CBM explorations and development studies in Zonguldak coalfield.

## 2. Literature Review

Many studies have been carried out by different researchers in the literature to assess and estimate coal methane content. Saghafi, Williams and Battino (1998) determined the methane content using the quick crush method and examined the variability in methane content of coal samples. Islam and Hayashi (2008) evaluated methane content based on exploration data and empirical methods. Hemza et al. (2009) analyzed the methane content of coal samples from experimental drilling. Two methods were used to determine methane content such as the Borowski method and the USBM method. Jianqing (2011) implemented the artificial neural network method to predict methane contents. Chatterjee and Paul (2013) estimated methane contents of coal seams using an empirical equation. Zawadzki, Fabijańczyk and Badura (2013) measured the methane content using the direct method and estimated the

methane content using multivariable geostatistics. Two kinds of secondary measurements were preferred such as coal strength index and desorption factor. Kedzior (2015) determined methane contents using vacuum degasification in hermetic containers. Zhu et al. (2017) analyzed coalbed methane occurrences collecting the coal samples directly from coal mines and predicted the methane content using a mathematical model. Kędzior and Dreger (2019) measured the methane contents of coal samples in hermetic containers using vacuum degasification. These methods are reliable but largely time-consuming and complicated. Methane content prediction may require the application of other new approaches such as the fuzzy system. It is of great significance to examine the methane contents using a practical intelligence tool. To reduce occupational accidents caused by methane, methane contents of coal seams in an underground coal mine were evaluated in this study utilizing fuzzy logic.

### 3. Methodology

#### 3.1. Methane

Methane is generated by chemical and bacterial processes on organic material. It is one of the most prevalent layer gases and evolved through the formation of both coal and petroleum. It is not poisonous but is principally hazardous since it is combustible and may constitute an explosive combination with air. For this reason, many thousands of miners can lose their lives. Association with air is sometimes described as firedamp. Methane has a density of just over half that of air. This leads to an unsafe behavior form of methane. It can generate layers or pools throughout the roofs of underground openings. Any gas explosion can increase along with those strata to emission resources. Methane combusts in the air with a faded blue flame. This can be examined over the diminished spark of a safety lamp at concentrations as small as 1¼ percent. With a plentiful air source, it burns to generate carbon dioxide and water vapor. Unfortunately, within the limits of mined openings and through explosions or fires, there might be inadequate oxygen to continue full ignition, causing the formation of the extremely lethal carbon monoxide (McPherson, 1993)

CBM has generally been considered a hazard since it may lead to a severe hazard to mine safety and efficiency owing to its explosion risk. One of the most significant responsibilities of ventilation in coal mines is to protect methane levels below the explosive limit by reducing methane emissions that emerge during mining. Methane can produce a localized high concentration region in a zone with low air quantities and velocities. It is ready to explode at any time when the methane concentration in

the mine air is between 5% which is the lower explosion limit and 15% which is the upper limit. In this range, methane may simply ignite with an ignition source that can diffuse with coal dust in the environment. Figure 1 demonstrates the methane explosion diagram (Karacan, Ruiz, Cotè and Phipps, 2011).

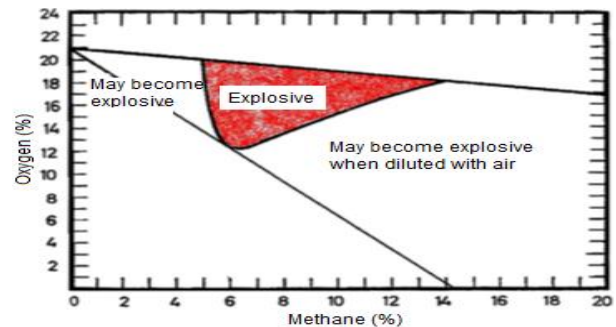


Figure 1. Methane Explosibility Diagram (Karacan et al., 2011)

Methane concentration increases in a mine air affect its explosion and/or ignition. Ignition of the methane-air mixture happens at temperatures less than 650 °C. Thus, a common reason for methane explosion is rock sparking. For example, sandstone tends to spark and ignite methane because of friction produced by a mining instrument (Kędzior and Dreger, 2019)

#### 3.2. Fuzzy Logic Approach

The Fuzzy Logic is a problem-solving methodology that can instantaneously handle linguistic and numerical data. This method eases the control of a complex system. The Fuzzy Logic differs from traditional logic in that it uses linguistic expressions such as true or false, black or white, on or off. In conventional logic, while an object can take a value of zero or one, in the Fuzzy Logic, a statement can take any real value between 0 and 1. The steps of the Fuzzy Logic are explained as below (Zadeh, 1965):

Step 1: Determination of input and output fuzzy linguistic parameters. The first step in designing a Fuzzy Logic model is to select suitable inputs. These input variables should be able to fully represent the system.

Step 2: Fuzzification of the inputs using the input membership functions. The fuzzification process matches the crisp inputs to a fuzzy set membership degree using membership functions. (Shatnawi, Shatnawi, AlShara and Husari, 2021). These membership functions should incorporate the entire universe of discourse and represent a linguistic variable or a fuzzy set. Frequently used membership functions are Trapezoidal, Triangular, and Gaussian. The most commonly used among them are Triangular and

Trapezoidal since they are easy to symbolize the user's idea and require less calculation time (Zadeh, 1965). The trapezoidal curve is a vector function,  $x$ , and represented with four parameters such as  $a_1, a_2, a_3, a_4$ . Figure 2 shows a trapezoidal membership function. Its membership functions are expressed in Equation 1:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (1)$$

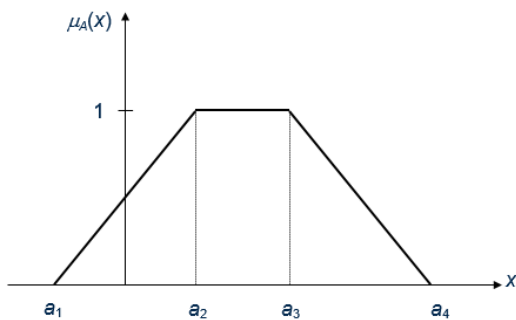


Figure 2. Schematic View of A Trapezoidal Membership Function (Yen and Langari, 1999)

Step 3: Determination of fuzzy rules. It consists of several If-Then rules. The “If” part of the rule is described as the antecedent and the “Then” part is described as the result. Fuzzy rules are presented as below:

If input1 is MF1 and/or input2 is MF2 and/or Then output is output MF

Step 4: Defuzzification of output distribution. In this step, the fuzzy variables are converted to crisp sets. This process is essential since the crisp values can only be used as inputs in the other systems in the real world. It is commonly necessary only when the Mamdani fuzzy model is used to design a controller. Other fuzzy inference systems are Larsen, Tagaki-Sugeno, and Tsukamoto. Unlike the Mamdani system, the outputs are identified using a specific function for the other two models and hence the output is crisp instead of fuzzy. This is illogical because a fuzzy model should be able to spread the fuzziness from inputs to outputs properly. There are different defuzzification methods in the literature such as Centroid of Area, the Bisector of Area, Mean of Maximum, Smallest of Minimum, and Largest of Maximum. The last two defuzzification techniques are rarely used because of their biased nature. The most commonly used method is the Centroid of Area method.

This method uses the output distribution and obtains its center of mass to assert one crisp number. It is determined in Equation 2:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^q Z_j u_c(Z_j)}{\sum_{j=1}^q u_c(Z_j)} \quad (2)$$

where  $\mu_c$  is the membership in class,  $c$  at value  $Z_j$  and  $z$  is the center of mass (Ross, 2017).

#### 4. Application of the Fuzzy Logic Method

The literature contains some earlier studies on the use of fuzzy logic in the mining sector (Razani, Yazdani-Chamzini and Yakhchali, 2013; Danish and Onder, 2020). The application of the Fuzzy Logic methodology to estimate methane contents of the coal seams was implemented in Zonguldak coalfield which has five production enterprises such as Kozlu, Karadon, Üzülmöz, Armutçuk, and Amasra. The methane content prediction analyses were performed for the coal seams belonging to Kozlu enterprise. The longwall mining method is implemented in all of the five enterprises of the basin. The location of Zonguldak coalfield was given in Figure 3.

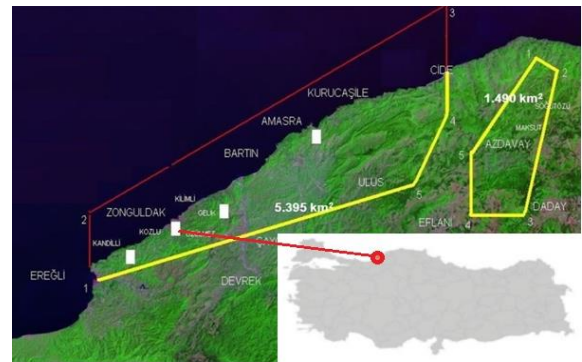


Figure 3. Location of Zonguldak Coalfield (THE, 2020)

The implementation steps of the fuzzy algorithm (Section 3.2) to estimate methane contents of Zonguldak coalfield were conducted as follows:

**Step 1:** Variables of seam depth (SD), seam thickness (ST), and moisture content (MC) were determined as input parameters according to the literature review in the Section 2. Methane content (GC) represents the output parameter of the Fuzzy Logic model. In the first step, fuzzy linguistic parameters were determined for input and output variables. Coal seams were classified into three categories based on their gassiness and depth by Thakur (2011) in Table 1. The coal seam thickness of

Zonguldak coalfield changes between 0.7 m and 30 m. The majority of the production has been provided from coal seams with a core thickness of greater than 3 m in recent years. The moisture content of the coal seams changes between 0.38 % and 3 % (Fisne and Esen, 2014). The thicker the coalbed, the larger is the amount of gas released, indicating that the reservoir volume of free and adsorbed gases restored in the coalbed (Chen et al., 2018). Based on these explanations the linguistic and membership function parameters of input and output were given in Table 2.

Step 2: Trapezoidal membership function was preferred based on the theoretical explanation presented in Section 3.2. The structure of the Fuzzy Logic model was shown in Figure 5. The membership functions of input

and output parameters were given in Figure 6. The Fuzzy Logic was applied using MATLAB R2015a software.

Table 1.

Gassiness Classification of The Coal Seams (Thakur, 2011)

| Category of mine | Depth (m) | Gas content (m <sup>3</sup> /t) |
|------------------|-----------|---------------------------------|
| Mildly gassy     | ≤ 200     | < 3                             |
| Moderately gassy | 200-500   | 3-10                            |
| Very gassy       | > 500     | 10-25                           |

Table 2.

Linguistic and Membership Function Parameters of Input and Output

| Linguistic variable type | Linguistic variable descriptions    | Linguistic Expression          | Membership Function Parameters |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Input                    | Seam depth (m)                      | Low ( <i>L</i> )               | [ 0 0 50 200]                  |
|                          |                                     | Medium ( <i>M</i> )            | [50 200 350 500]               |
|                          |                                     | High ( <i>H</i> )              | [350 500 650 800]              |
|                          | Seam thickness (m)                  | Low ( <i>L</i> )               | [0 0 1 2]                      |
|                          |                                     | Medium ( <i>M</i> )            | [1 2 3 4]                      |
|                          |                                     | High ( <i>H</i> )              | [3 4 5 6]                      |
|                          | Moisture content (%)                | Low ( <i>L</i> )               | [ 0 0 0.5 1]                   |
|                          |                                     | Medium ( <i>M</i> )            | [0.5 1 1.5 2]                  |
|                          |                                     | High ( <i>H</i> )              | [1.5 2 2.5 3]                  |
| Output                   | Methane content (m <sup>3</sup> /t) | Mildly gassy ( <i>MILG</i> )   | [0 0 1 3]                      |
|                          |                                     | Moderate gassy ( <i>MODG</i> ) | [1 3 6 9]                      |
|                          |                                     | Very gassy ( <i>VG</i> )       | [6 10 14 25]                   |

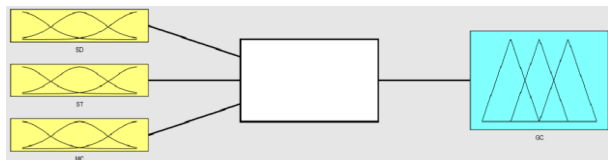


Figure 5. Fuzzy Logic Model of The Study

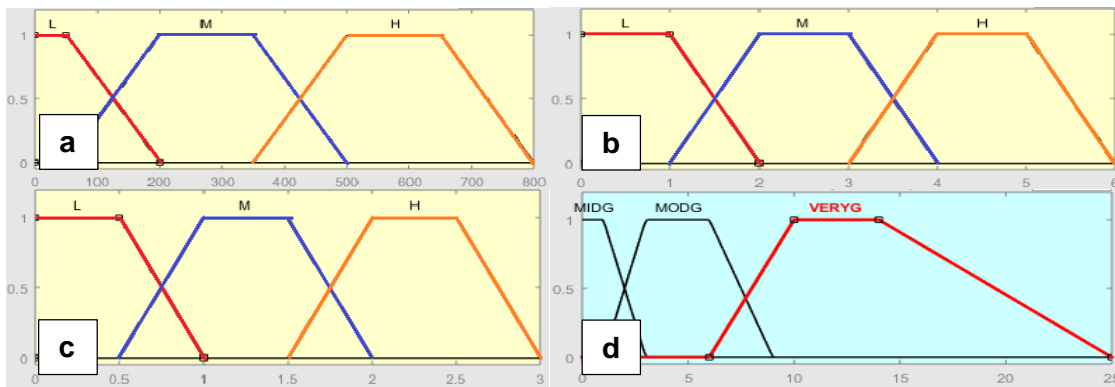


Figure 6. (a) Membership Function of SD, (b) Membership Function of ST, (c) Membership Function of MC, (d) Membership Function of GC.



*Step 3:* The Fuzzy Logic model consists of 9 input linguistic expressions (SD, ST, and MC variables have three linguistic expressions). Thus, 27 (3x3x3) rules were constructed. All fuzzy rules given in Table 3 were constructed with AND connection parameter.

Table 3.

Fuzzy Rules of The Model

| Rules | Input      |                |                  | Output      |
|-------|------------|----------------|------------------|-------------|
|       | Seam Depth | Seam Thickness | Moisture Content | Gas Content |
| 1     | H          | H              | H                | H           |
| 2     | H          | H              | M                | H           |
| 3     | H          | H              | L                | H           |
| 4     | H          | M              | H                | M           |
| 5     | H          | M              | M                | M           |
| 6     | H          | M              | L                | H           |
| 7     | H          | L              | H                | L           |
| 8     | H          | L              | M                | M           |
| 9     | H          | L              | L                | H           |
| 10    | M          | H              | H                | M           |
| 11    | M          | H              | M                | M           |
| 12    | M          | H              | L                | H           |
| 13    | M          | M              | H                | M           |
| 14    | M          | M              | M                | M           |
| 15    | M          | M              | L                | M           |
| 16    | M          | L              | H                | L           |
| 17    | M          | L              | M                | M           |
| 18    | M          | L              | L                | M           |
| 19    | L          | H              | H                | L           |
| 20    | L          | H              | M                | M           |
| 21    | L          | H              | L                | H           |
| 22    | L          | M              | H                | L           |
| 23    | L          | M              | M                | M           |
| 24    | L          | M              | L                | M           |
| 25    | L          | L              | H                | L           |
| 26    | L          | L              | M                | L           |
| 27    | L          | L              | L                | L           |

*Step 4:* Mamdani inference system and center of area defuzzification method were preferred based on the theoretical explanation presented in Section 3.2. The simulation steps of the Mamdani fuzzy inference system to estimate methane contents of the coal seams were presented in Figure 7. It uses the data such as SD, ST, and MC as crisp input and converts them into fuzzy inputs using membership functions as explained in Section 3.2. These fuzzy inputs were assessed using the fuzzy rules. Then, fuzzy outputs were formed. Finally, the fuzzy outputs were gathered into a single crisp output (GC).

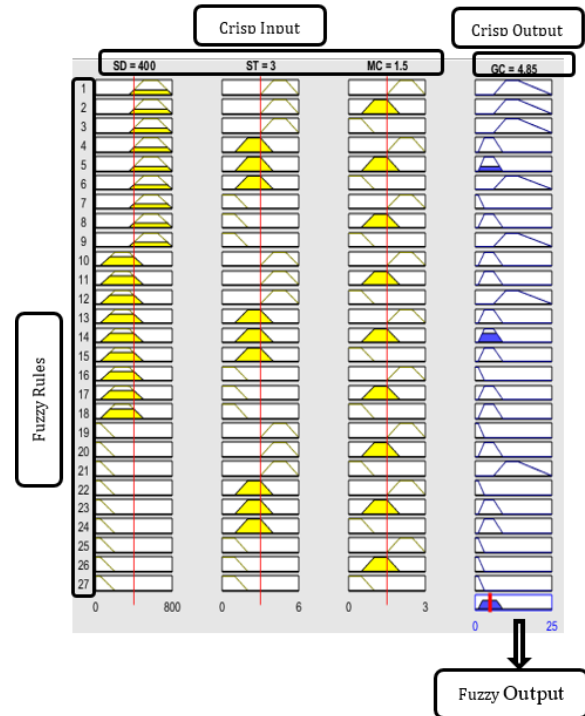


Figure 7. Graphical Demonstration of Fuzzy Rule-Base

### 5. Results and Discussion

The prediction of methane contents in underground coal mines based on various combinations of input parameters was presented in Figures 8 (a)-(c).

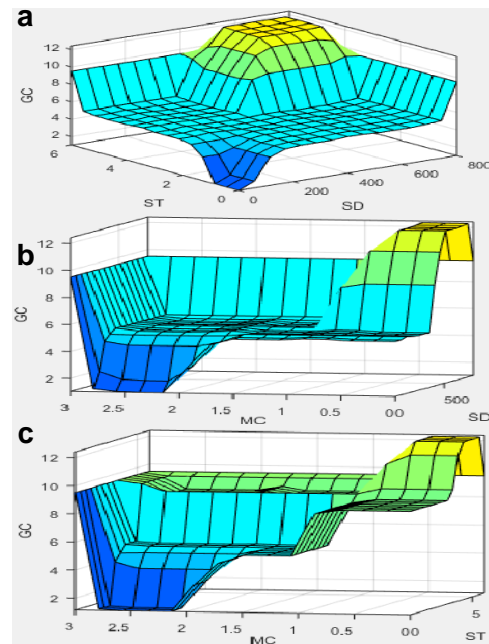


Figure 8. Surface Graphics of The Input Parameters: (A) Seam Thickness-Seam Depth (Constant value of MC:1.5%), (b) Moisture Content- Seam Depth (Constant value of ST:3m) , (c) Moisture Content- Seam Thickness (Constant value of SD:400m).

Table 4  
Fuzzy Logic Results

| Seam                           | Inputs         |                    |                      | Output                                     |                     |                  |                        |
|--------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|--|---------------------|------------------|------------------------|
|                                | Seam Depth (m) | Seam Thickness (m) | Moisture Content (%) | Field Methane Contents (m <sup>3</sup> /t) | Fuzzy Logic Results | Field Categories | Fuzzy Logic Categories |
| -425/22924 Raise (S1)          | 387            | 1.5                | 1.1                  | 5  | 4.88                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -425/22924 Raise (S2)          | 402            | 2                  | 1.1                  | 5  | 4.85                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -425/22924 Raise (S3)          | 400            | 1.8                | 1.1                  | 5  | 4.85                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| 42036/43311 Raise (S4)         | 250            | 1.2                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.87                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| 42036/42319 Raise (S5)         | 253            | 1.2                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.87                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -260/-150 42319 Face (S6)      | 250            | 1.5                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.88                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -260/-160 Raise (S7)           | 244            | 2.5                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.87                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -360/42417 Raise (S8)          | 343            | 2                  | 0.71                 | 5.44                                       | 4.87                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -260/-150 42319 Raise (S9)     | 250            | 1.5                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.88                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -150/41217 Raise (S10)         | 110            | 2.5                | 0.71                 | 5.44                                       | 4.87                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -360/42417 Raise (S11)         | 356            | 2.2                | 0.71                 | 5.44                                       | 6.58                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -360/42400 Drifting road (S12) | 364            | 2                  | 0.69                 | 7  | 8.02                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -360/42417 Drifting road (S13) | 360            | 2                  | 0.69                 | 7  | 7.33                | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |
| -260/41305 Raise (S14)         | 228            | 2                  | 3.2                  | 8.97                                       | 9.5                 | Moderate Gassy   | Moderate Gassy         |

To verify the performance of the developed fuzzy model, a comparison between predicted and field methane contents was performed. For this purpose, methane content prediction was conducted using the input parameters. The field methane contents were derived from Kursunoglu and Onder (2019). Predicted fuzzy results were given in Table 4.

The graphical representation of the results was shown in Figure 9. The results indicate that the fuzzy model can provide a reliable prediction way with a 92% success rate. Figure 10 shows which category the coal seams belong to according to the fuzzy logic results.

The figure indicates that all seams are in the moderate gassy category. In the study's fuzzy rules, it was also examined at how low the gas content is in comparison to instances when the production depth and seam thickness are low and the moisture content is high (Yin et al., 2012).

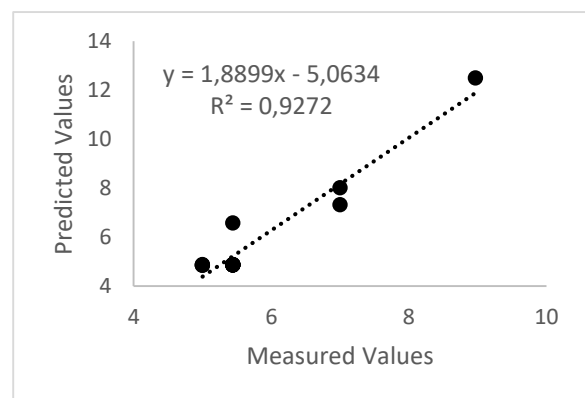


Figure 9. Comparison of The Measured and Predicted Values

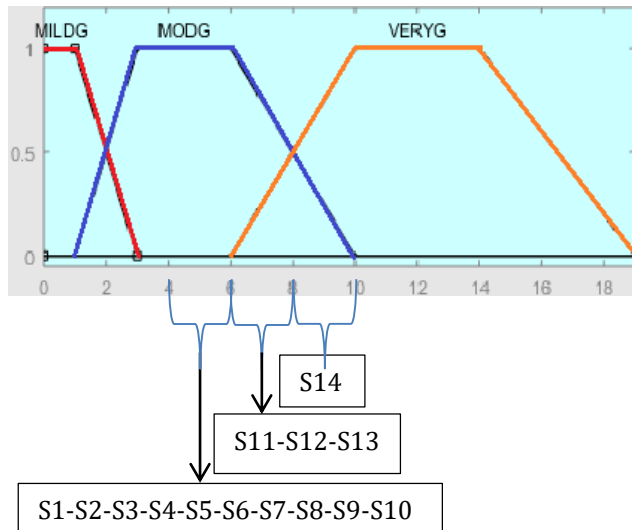


Figure 10. Fuzzy Logic Categories of Coal Seams

The proposed prediction model was used to predict the gas contents of 14 coal seams, and the prediction results were compared with the actual methane contents, which shows that the prediction model can effectively predict the gas contents. Compared with the existing prediction models such as back propagation and neural network method (Paul et al. 2021; YuMin et al., 2011), grey system theory (Zeng and Li, 2021), the quantification prediction model (Hu et al., 2014), the prediction accuracy of the presented model does not depend on a large number of sample learning, and overcomes the problem of slow convergence speed.

## 6. Conclusions

In this paper, a fuzzy logic model was developed to estimate methane content of the coal seams for an underground coal mine. Coal methane content is affected by many parameters such as mining factors, coal properties, and geological conditions. The input variables for the proposed model are seam depth, seam thickness, and moisture content. It is very complex and essential to predict methane content for underground coal mines. For this purpose, the Fuzzy Logic is a flexible and influential tool to assess the methane content of the coals. A comparison between the measurement and predicted values was conducted to examine the efficiency of the proposed model. The model results showed that the fuzzy model can be implemented with an  $R^2$  value of 0.92. The fuzzy model's predicted categories and the classes established using measurements made in the field are parallel. As a result, the fuzzy model is successful in predicting the methane content of coal seams. The fuzzy logic technique lets for prior knowledge of methane content values in underground coal mines. It is possible in this way to reduce and foresee the accidents that may cause an

outburst, fire, or explosion. It is suggested that prediction model can be appropriate for other coal mines in Zonguldak coalfield exhibiting different geotechnical, geological, and mining conditions. The fuzzy logic approach can be used to estimate the methane contents of the seams in other hard coal basins of Zonguldak in the future. Due to the flexible character of the fuzzy logic method, coal mines will be able to predict gas contents in the future in accordance with changing operational conditions.

## Contribution of Researchers

The Nilüfer KURŞUNOĞLU contributed to the publication with the conceptualization, methodology, investigation, writing - original draft, writing- review & editing, visualization, supervision

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

## References

- Chatterjee, R., & Paul, S. (2013). Classification of coal seams for coal bed methane exploitation in central part of Jharia coalfield, India – A statistical approach. *Fuel*, 111, 20-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.007>
- Chen, L., Wang, E., Ou, J., & Fu, J. (2018). Coal and gas outburst hazards and factors of the No. B-1 Coalbed, Henan, China. *Geosciences Journal*, 22, 171-182. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12303-017-0024-6>
- Danish, E., & Onder, M. (2020). Application of fuzzy logic for predicting of mine fire in underground coal mine. *Safety and Health at Work*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2020.06.005>.
- De-shun, L., & Kai-li, X. (2011). Research on the subjective weight of the risk assessment in the coal mine system based on GSPA-IAHP. *Procedia Engineering*, 26, 1956-1963. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2390>
- Fisne, A., & Esen, O. (2014). Coal and gas outburst hazard in Zonguldak coal basin of Turkey, and association with geological parameters. *Natural Hazards*, 74, 1363-1390. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1246-9>
- Gao, L., Mastalerz, M., & Schimmelmann, A. (2014). *The Origin of coalbed methane*. Elsevier, USA.
- He, H., Zhao, Y., Zhang, Z., Gao, Y., & Yang, L. (2016). Prediction of coalbed methane content based on uncertainty clustering method. *Energy Exploration &*

- Exploitation*. 34, 273-281. doi: <https://doi.org/10.1177/0144598716630163>
- Hemza, P., Sivek, M., & Jirásek, J. (2009). Factors influencing the methane content of coal beds of the czech part of the Upper Silesian coal basin, Czech Republic. *International Journal of Coal Geology*. 79, 29-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.04.003>
- Hu, X., Yang, S., Zhou, X., Zhang, G., & Xie, B. (2014). A quantification prediction model of coalbed methane content and its application in Pannan coalfield, Southwest China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 21, 900-906. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2014.10.017>
- Islam, M. R., & Hayashi, D. (2008). Geology and coal bed methane resource potential of the Gondwana Barapukuria coal basin, Dinajpur, Bangladesh. *International Journal of Coal Geology*. 75, 127-143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.05.008>
- Jianqing, Z. (2011). Study on the gas content of coal seam based on the BP Neural Network. *Procedia Engineering*. 26, 1554-1562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2338>
- Karacan, C. Ö., Ruiz, F. A., Cotè, M., & Phipps, S. (2011). Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction. *International Journal of Coal Geology*. 86, 121-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.02.009>
- Kędzior, S. (2009). Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian coal basin (southern Poland). *International Journal of Coal Geology*. 80, 20-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.08.003>
- Kędzior, S. (2015). Methane contents and coal-rank variability in the Upper Silesian coal basin. Poland. *International Journal of Coal Geology*. 139, 152-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.009>
- Kędzior, S., & Dreger, M. (2019). Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian coal basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*. 211, 103226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103226>
- Kursunoglu, N., & Onder, M. (2019). Application of structural equation modeling to evaluate coal and gas outbursts. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 88, 63-72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.02.017>
- Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of The Total Environment*. 488, 85-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>
- McPherson, M.J. (1993). *Subsurface Ventilation Environmental and Engineering*. Chapman & Hall.
- Mutlu, M., & Sari, M. (2022). Risk-based classification of underground coal mine basins in Turkey using the analytic hierarchy process (AHP). *Arabian Journal of Geosciences*. 15(8), 1-18. doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10005-9>
- Paul, S., Ali, M., & Chatterjee, R. (2021). Prediction of velocity, gas content from neural network modeling and estimation of coal bed permeability from image log in coal bed methane reservoirs: Case study of South Karanpura Coalfield, India. *Results in Geophysical Sciences*. 7, 100021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ringsps.2021.100021>
- Prasad, C. V. K. (2012). *Determination of gas content of coal*. National Institute of Technology. Rourkela.
- Razani, M., Yazdani-Chamzini, A., & Yakhchali, S.H. 2013. A novel fuzzy inference system for predicting roof fall rate in underground coal mines. *Safety Science*. 55, 26-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.008>
- Ross, T. J. (2017). *Fuzzy logic with engineering applications*. Fourth Edition. John Wiley & Sons. UK.
- Saghafi, A., Williams, D. J., & Battino, S. (1998). *Accuracy of measurement of gas content of coal using rapid crushing techniques*. Coal Operators' Conference. Wollongong.
- Shatnawi, M., Shatnawi, A., AlShara, Z., & Husari, G. (2021). Symptoms-based fuzzy-logic approach for covid-19 diagnosis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 12, 444-452. doi: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120457>
- Thakur, P. (2011). *Gas and Dust Control*. SME Mining Engineering Handbook, 3th Edition, Published by SME Inc. USA.
- THE, (2020). *Turkish Hardcoal Enterprise*. Accessed address: [http://www.taskomuru.gov.tr/file/2020\\_fa\\_aliyet.pdf](http://www.taskomuru.gov.tr/file/2020_fa_aliyet.pdf).
- Yen, J., Langari, R., 1999. *Fuzzy logic intelligence, control, and information*, Prentice Hall, New Jersey.
- Yin, G. Z., Jiang, C. B., Xu, J., Guo, L. S., Peng, S. J., & Li, W. W. (2012). An experimental study on the effects of water content on coalbed gas permeability in ground stress fields. *Transport in Porous Media*. 94, 87-99. doi: <https://doi.org/10.1007/s11242-012-9990-3>
- YuMin, L., DaZhen, T., Hao, X., & Shu, T. (2011). Productivity matching and quantitative prediction of coalbed methane wells based on BP neural network. *Science China Technological Sciences*. 54, 1281-

1286.doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4348-6>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 8, 338-353. doi:[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).

Zawadzki, J., Fabijańczyk, P., & Badura, H. (2013). Estimation of methane content in coal mines using supplementary physical measurements and multivariable geostatistics. *International Journal of Coal Geology*. 118, 33-44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.08.005>

Zeng, B., & Li, H. (2021). Prediction of Coalbed Methane Production in China Based on an Optimized Grey System Model. *Energy Fuels*. 35, 4333-4344. doi:<https://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c04195>

Zhu, H., Liu, P., Chen, P., & Kang, J. (2017). Analysis of coalbed methane occurrence in Shuicheng coalfield, southwestern China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 47, 140-153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.09.003>