



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

ISSN 2146 - 538X

CİLT / VOLUME: 9

SAYI / ISSUE : 3

YIL / YEAR : 2019

$$\text{Arf}(q) = \sum_{i=1}^n q(a_i) q(b_i) \in \mathbb{Z}_2$$

$a_i, b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$



EBS CO

TÜBİTAK  
ULAKBİM TR DİZİN



*Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**  
*Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute*  
Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 3 Yıl/Year: 2019  
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*  
**ISSN 2146-538X**



**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına

*On the behalf of Gümüşhane University Science and Technology Institute*

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief**

*Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editör / Executive Editor**

*Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*

*Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR*

*Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Dr. Öğr. Üyesi Bülent AKAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL*

*Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA*

*Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER*

*Dr. Öğr. Üyesi Melih OKCU*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*

*Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU*

*Arş. Gör. İlker ERKAN*

*Arş. Gör. Ömer KARPUZ*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 07 / 2019**

*Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi üç ayda bir çevrimiçi olarak yayımlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayımlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.*



Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute

Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 3 Yıl/Year: 2019

Üç ayda bir yayımlanır/ Published four times a year

ISSN 2146-538X



**Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

- Prof. Dr. Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet  
Prof. Dr. Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Charyyar Ashryalyev-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdon ATANGANA-Free State University  
Prof. Dr. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi  
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi  
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University  
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi  
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi  
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABİ-Federal Uni. of Technology  
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Sunil PROHİT- Rajasthan Technical University  
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.  
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.  
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Keewook YI-Korea Basic Science Institute  
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Yong WANG- University of Manchester  
Prof. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi  
Prof. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.  
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni  
Doç. Dr. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.  
Doç. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi  
Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK-Erzurum Teknik Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet M. KAHRAMAN-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Seda NEMLİ- Ege Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul OKCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Ilyas KHAN- Majmaah University  
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University  
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Numan YALÇIN Ercan ÇELİK	<b>Çarpımsal Cauchy-Euler ve Legendre Diferansiyel Denklemi</b> <i>Multiplicative Cauchy-Euler and Legendre Differential Equation</i>	<b>373</b>
Cennet ÖZAY	<b><i>In-Vitro</i> Nitric Oxide Scavenging and Anti-Tyrosinase Activity of Two <i>Convolvulus L.</i> Species</b> <i>İki Convolvulus L. Türünün In-Vitro Nitrik Oksit Süpürme ve Anti-Tirozinaz Aktivitesi</i>	<b>383</b>
Sevgi ÖZEN	<b>Pileki Taşı'nın (İyidere, Rize) Geopolimer Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Araştırılması</b> <i>Investigation of the Potential of Pileki Stone (İyidere, Rize) for Geopolymer Cement Production</i>	<b>388</b>
Osman Ufuk EKİZ	<b>Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinde Etkili Gözlemlerin Belirlenmesine Yönelik Bir Yöntem</b> <i>A Method to Detect Influential Observations in Multiple Linear Regression Analysis</i>	<b>393</b>
Nurcan ASCI DEMIROZ Elif PUL	<b>Crack Problem in Nested Thick Pipes</b> <i>İç İç Geçmiş Kalın Borularda Çatlak Problemi</i>	<b>401</b>
Zeynep KARAAHMET Kadir KINALIOĞLU Sinem AYDIN	<b>Antioxidant and Antibacterial Potencies of <i>Xanthoparmelia conspersa</i> (Ehrh. ex Ach.) Hale and <i>Dermatocarpon miniatum</i> (L.) W. Mann. Lichens from Black Sea Region in Turkey</b> <i>Türkiye'de Karadeniz Bölgesi'ndeki Xanthoparmelia conspersa (Ehrh. ex Ach.) Hale and Dermatocarpon miniatum (L.) W. Mann. Likenlerinin Antioksidan ve Antibakteriyel Potansiyelleri</i>	<b>415</b>
Mustafa DİHKAN	<b>Uzaktan Algılanmış Görüntülerin SURF Özellik Verileri ve RANSAC Algoritması ile Otomatik Çakıştırılması</b> <i>Automatic Registration of Remotely Sensed Images by Using SURF Features and RANSAC Algorithm</i>	<b>425</b>
Cihan ALTUNTAŞ	<b>Mevlana Türbesi Civarında Oluşan Kentsel Gelişim ve Değişimlerin Hava Fotogrametri Verilerinden Yararlanarak Görüntülenmesi</b> <i>Urban Growing and Change Visualization in Mevlana Region Using Spatial Data from Aerial Images</i>	<b>433</b>
Semih TAŞKAYA Ali Kaya GÜR	<b>Ramor 500 Zırh Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Tel İlerleme Hızının Kaynak Metalindeki Nüfuziyet Dengesinin İncelenmesi</b> <i>Investigation of The Equilibrium of Permeate in The Welding Speed of The Wire Feeding Speed in Joining Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method</i>	<b>444</b>
İrfan TEMİZEL Ayşe KURT	<b>Geç Kretase Yaşlı Bozat (Giresun, KD Türkiye) Plütunu'nun Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri</b> <i>Petrographical, Geochemical and Perological Characteristics of Late Cretaceous aged Bozat (Giresun, NE Turkey) Pluton</i>	<b>454</b>
Yağmur FİDANCI Hakan KARABÖRK	<b>İnsansız Hava Araçlarının Ormanlık Alanlardaki Karayolu Projelerinde Kullanımı</b> <i>Use of Unmanned Aerial Vehicles in Highway Projects in Forest Areas</i>	<b>473</b>
Yaşar FİDANCI Ramazan Alpay ABBAK	<b>Yerel Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağlarının Farklı Nokta Yoğunluğundaki Performansı</b> <i>Performance of Artificial Neural Networks on Different Point Density in Local Geoid Determination</i>	<b>486</b>
Şamil AKÇAĞIL	<b>Comparative Analysis of Exact Solutions for the Phi-four Equation</b> <i>Phi-four Denklemine Tam Çözümlerinin Karşılaştırmalı Analizi</i>	<b>496</b>
İbrahim AKTAŞ	<b>On Partial Sums of Normalized Error Function</b> <i>Normalize Edilmiş Hata Fonksiyonunun Kısmi Toplamları Üzerine</i>	<b>501</b>
Ertuğrul KARACA	<b>BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Malzemesinin Fiziksel Özelliklerinin Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Kullanılarak İncelenmesi</b> <i>Investigation of Physical Properties of the BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> by Using Density Functional Theory</i>	<b>505</b>

Orkun ÖZENER	<b>An Assessment of Real-World Driving Emissions and Fuel Consumption of a Diesel Bus with Using a Portable Emissions and Fuel Consumption Measurement System: İstanbul Bus Rapid Transit-Metrobus</b> <i>Portatif Emisyon ve Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi Kullanılarak Bir Dizel Otobüsün Gerçek Dünya Süriş Emisyonları ve Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi: İstanbul Otobüs Hızlı Ulaşımı – Metrobus</i>	<b>515</b>
Birol ŞAHİN Cenk ÇARKACI	<b>Gümüşhane İli Kamu Binalarındaki Isı Yalıtımı Uygulamalarının İncelenmesi</b> <i>Examining Heat Insulation Applications on Public Buildings in Gümüşhane</i>	<b>526</b>
Mustafa CANIM	<b>Eski Dilde Kullanılan Sözcükler Arasındaki Anlamsal Yakınlıkların Doğal Dil İşleme Yöntemleriyle Tespiti</b> <i>Using NLP Methods for the Discovery of Semantic Similarities between Words in Old Turkish Language</i>	<b>536</b>
Emre ÖZYURT Murat YILMAZ	<b>Düzlem İçi Eğilme Momenti Altındaki Elips Enkesitli T-birleşimlerinin Dayanımları</b> <i>Resistance of Elliptical Hollow Section T-joints Under In-plane Bending Moment</i>	<b>547</b>
Melike YALILI KILIÇ Seda YAŞI	<b>Sürdürülebilir Enerji Kullanımının Yeşil Bir Ofise Uygulanması</b> <i>Application of Sustainable use of Energy to a Green Office</i>	<b>557</b>
Gürsel ÖZKAN	<b>Sera Şartlarında Yetiştirilen Çilekte (<i>Fragaria x ananassa</i> L.) Organik Gübre Uygulaması İle <i>Bombus</i> Arıların (<i>Bombus Terrestris</i>) Kullanımının Meyvelerin Biyokimyasal İçerikleri Üzerine Etkileri</b> <i>The Effects of Using Organic Fertilizer and Bumblebees (<i>Bombus Terrestris</i>) on the Biochemical Contents of Fruits in Greenhouse-grown Strawberry (<i>Fragaria x ananassa</i> L.)</i>	<b>569</b>
Sefa YALVAÇ	<b>Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Doğruluğunun Mikro-Jeodezik Bir Ağda İncelenmesi</b> <i>Investigating Accuracy of Precise Point Positioning Method in a Micro-Geodetic Network</i>	<b>575</b>
İsmail OSMANOĞLU	<b><math>C_q(X)</math> Uzayının Sayılabilirlik Özellikleri Üzerine Bazı Sonuçlar</b> <i>Some Results on Countability Properties of <math>C_q(X)</math></i>	<b>582</b>
Y. ASLAN TOPÇUOĞLU Zülfü GÜROCAK	<b>Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu ve Dokusal Değişimler: Bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışması</b> <i>The Stabilization of High Plasticity Clays and Textural Changes: A Scanning Electron Microscope (SEM) Study</i>	<b>588</b>
<b><u>Derleme Makalesi / Review Article</u></b>		
Elif YILMAZ Ersin Y. YAZICI Oktay CELEP Hacı DEVECİ	<b>Atıklardan Siyanürün Geri Kazanımı: SART Prosesi</b> <i>Recovery of Cyanide from Effluents: SART Process</i>	<b>600</b>

## Çarpımsal Cauchy-Euler ve Legendre Diferansiyel Denklemi

### *Multiplicative Cauchy-Euler and Legendre Differential Equation*

Numan YALÇIN<sup>\*1,a</sup>, Ercan ÇELİK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 25100, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 07.08.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 27.11.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 07.12.2018

#### Öz

Bu çalışmada, klasik analizden değişken katsayılı lineer diferansiyel denklemlerin özel bir hali olan Cauchy-Euler diferansiyel denklemi ve Legendre diferansiyel denkleminin özellikleri baz alınarak; Çarpımsal analizde değişken üslü çarpımsal lineer diferansiyel denklemlerin özel bir hali olan çarpımsal Cauchy-Euler diferansiyel denklemi ve çarpımsal Legendre diferansiyel denkleminin tanımı verilmiş ve çözümleri incelenmiştir. Ayrıca çarpımsal mertebe düşürme metodu verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çarpımsal Türev, Çarpımsal Cauchy-Euler diferansiyel denklemi, Çarpımsal Legendre diferansiyel denklemi

#### Abstract

In this study, taking properties of Cauchy-Euler differential equation and Legendre differential equation, which are particular instances of linear differential equations with variable coefficients in classical analysis, as a basis, definitions of multiplicative Cauchy-Euler differential equation and multiplicative Legendre differential equation, which are types of multiplicative linear differential equations in multiplicative analysis, are given and also their solutions are investigated. In addition, multiplicative reduction of order method is given.

**Keywords:** Multiplicative derivative, Multiplicative Cauchy-Euler differential equation, Multiplicative Legendre differential equation

\*a Numan YALÇIN; nyalcin@gumushane.edu.tr; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0002-8896-6437

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1402-1457

## 1. Giriş

Günümüzde oldukça yaygın bir kullanıma sahip ve matematiksel teori olan klasik analiz, 17.yüzyılın ikinci yarısında Gottfried Leibnitz ve Isaac Newton tarafından türev ve integral kavramları temel alınarak tanımlanmıştır. Cebir, trigonometri ve analitik geometri konuları üzerine inşa edilen klasik analiz limit, türev, integral ve seriler gibi kavramlardan oluşmaktadır. Bu kavramlar toplama ve çıkarma işlemlerinin basit versiyonları ile kullanıldığından bu analiz *toplamsal analiz* olarak ifade edilmektedir.

Klasik analiz temel alınarak farklı aritmetik işlemlerin kullanımı ile alternatif analizler de tanımlanmıştır. Bu duruma örnek, 1887 yılında Vito Volterra tarafından geliştirilen Volterra tipi multiplikatif analiz olarak da adlandırılan analizdir (Volterra ve Hostinsky, 1938). Bu yeni yaklaşımda çarpma işlemi temel alındığı için bu analize *çarpımsal analiz (multiplikatif analiz)* de denilmektedir. Son yıllarda bu analizin uygulama alanları ortaya konularak bazı çalışmalar yapılmıştır (Aniszewska, 2007; Kasprzak vd. 2004; Rybaczuk vd., 2001). Volterra analizinin tanımlanmasından sonra Michael Grossman ve Robert Katz tarafından 1967 ve 1970 yılları arasında bazı yeni çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda ise *geometrik analiz*, *bigeometrik analiz* ve *anageometrik analiz* olarak adlandırılan yeni analizler tanımlanmıştır. Non-Newtonian analiz olarak da adlandırılan bu yeni analiz ile ilgili bazı temel tanım ve kavramlar verilmiştir (Grossman ve Katz, 1972).

Non-Newtonian analizlerden bir diğeri ise geometrik analiz Dick Stanley tarafından çarpımsal analiz olarak ifade edilmiştir (Stanley, 1999). Klasik analizdeki toplama ve çıkarma işlemi, geometrik analizde çarpma ve bölme işlemlerine karşılık gelmiştir. Bunun için geometrik analize çarpımsal analiz (*multiplicative calculus*) denilmiştir. İlerleyen yıllarda çarpımsal analiz ile ilgili bazı çalışmalar Duff Campell aracılığıyla yapılmıştır (Campbell, 1999). Daha sonra 2008 yılında Bashirov vd. tarafından çarpımsal analizin temel kavramları tanımlanmış ve bazı uygulamaları verilmiştir.

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar (Bashirov vd., 2008; Bashirov vd., 2011), klasik analize bir alternatif olarak ortaya çıkan ve bilim ve mühendislikte karşılaşılan problemlere farklı bir bakış açısı sunan çarpımsal analiz kavramının oldukça hızlı bir gelişme göstermiş olduğunu kanıtlamıştır.

## 2. Önbilgiler

Şimdi çarpımsal türevin analizi ile alakalı bazı temel kavramları verelim.

**Tanım 2.1. (Çarpımsal Türev):** Klasik analizden bilinen türev tanımında  $(f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h)-f(x)}{h})$ ,  $f(x+h) - f(x)$  farkının yerine  $f(x+h)/f(x)$

ifadesi yazılıp paydadaki  $h$  ifadesinin çarpmaya göre tersi olan  $1/h$  terimi de üs olarak yerine yazılırsa türev formülü

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left( \frac{f(x+h)}{f(x)} \right)^{1/h} \quad (1)$$

olarak elde edilir.

Eğer (1) tanımlı ise  $f$  fonksiyonunun  $x$  değişkenine göre *çarpımsal türevi* olarak adlandırılır ve  $f^*(x)$  sembolü ile gösterilir.  $f$  nin pozitif olduğu düşünülüp, klasik türevin özellikleri kullanılarak çarpımsal türev,

$$\begin{aligned} f^*(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \left( \frac{f(x+h)}{f(x)} \right)^{1/h} \\ f^*(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \left( 1 + \frac{f(x+h) - f(x)}{f(x)} \right)^{\frac{f(x)}{f(x+h)-f(x)} \frac{f(x+h)-f(x)}{h} \frac{1}{f(x)}} \\ f^*(x) &= e^{\frac{f'(x)}{f(x)}} \end{aligned}$$

$$f^*(x) = e^{(\ln \circ f)'(x)}$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\ln \circ f$  fonksiyonu logaritma fonksiyonu ile  $f$  fonksiyonunun bileşkesi olarak tanımlanmıştır.

**Teorem 2.1.**  $f$  pozitif tanımlı bir fonksiyon olsun.  $f'$  nin herhangi bir  $t$  noktasında çarpımsal anlamda diferansiyellenebilir (türevlenebilir) olması için gerekli ve yeterli şart  $f'$  nin bu  $t$  noktasında klasik anlamda da türevlenebilir olmasıdır. Çarpımsal türev ile klasik türev arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$f'(t) = f(t) \ln f^*(t) \quad (2)$$

**Teorem 2.2.**  $\forall t \in (a, b)$  aralığı için  $f^*(t) = 1$  olması için gerek ve yeter şart  $f(t) = C > 0$  fonksiyonunun  $(a, b)$  aralığında sabit fonksiyon olmasıdır.

**Teorem 2.3.**  $g$  fonksiyonu çarpımsal anlamda,  $h$  fonksiyonu da klasik anlamda diferansiyellenebilir iki fonksiyon olsun. Eğer,

$$f(t) = (g \circ h)(t),$$

ise bu taktirde  $f$  nin çarpımsal türevi

$$f^*(t) = [g^*(h(t))]^{h'(t)} \quad (3)$$

şeklinde yazılır (Bashirov vd., 2008).

**Teorem 2.4.**  $f$  pozitif bir fonksiyon olsun. Bu taktirde  $f^*(t) = 1$  olması için gerek ve yeter şart  $f'(t) = 0$  olmasıdır.

**Tanım 2.2.** Eğer,  $f^*$  fonksiyonunun tekrar türevi alınır ise ikinci mertebeden çarpımsal türevi olarak adlandırılır ve  $f^{**}$  ile gösterilir. Benzer şekilde  $f^{*(n)}$  notasyonu ile gösterilen  $f$  fonksiyonunun  $n$ . mertebeden çarpımsal türevi de tanımlanabilir.  $n$  kez tekrarlanan türev alma işlemi ile pozitif bir  $f$  fonksiyonunun  $x$  noktasında  $n$ . mertebeden çarpımsal türevi vardır ve

$$f^{*(n)}(x) = e^{(\ln of)^{(n)}(x)} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır (Özyapıcı, 2009).

### 2.1. Çarpımsal Türev Alma Kuralları

Bu başlık altında, çarpımsal türevin (multiplicative derivative) bazı temel tanım ve teoremleri verilecektir.

**Teorem 2.5.**  $f$  ve  $g$  gibi çarpımsal diferansiyellenebilir iki fonksiyon olsun. Bu taktirde  $c.f, f.g, f + g, \frac{f}{g}, f^g$  fonksiyonları çarpımsal analizde aşağıdaki özelliklere sahiptir

1.  $(c.f)^*(x) = f^*(x),$
2.  $(f.g)^*(x) = f^*(x)g^*(x),$
3.  $(f + g)^*(x) = f^*(x)\frac{f(x)}{f(x)+g(x)}g^*(x)\frac{g(x)}{f(x)+g(x)},$  (5)
4.  $\left(\frac{f}{g}\right)^*(x) = \frac{f^*(x)}{g^*(x)},$
5.  $(f^g)^*(x) = f^*(x)g^*(x)f(x)g'(x)$

**Tanım 2.3. (Çarpımsal İntegral):** Eğer  $f$  fonksiyonu  $[a, b]$  aralığında pozitif ve sürekli ise  $(a, b)$  aralığında çarpımsal anlamda integrallenebilir ve

$$\int_a^b f(x)dx = e^{\int_a^b \ln(f(x))dx} \quad (6)$$

şeklinde tanımlanır.

### 2.2. Çarpımsal İntegral Alma Kuralları

**Teorem 2.6.**  $f$  ve  $g$  fonksiyonları  $[a, b]$  aralığında çarpımsal anlamda integrallenebilir ve  $(a, b)$  açık aralığında pozitif ve sürekli olsun. Bu taktirde  $k \in R$  ve  $a \leq c \leq b$  olmak üzere  $f^k, f.g, \frac{f}{g}$  fonksiyonları çarpımsal anlamda diferansiyellenebilirdir ve integralleri

1.  $\int_a^b (f(x)^k)dx = \left(\int_a^b (f(x))^{dx}\right)^k,$
2.  $\int_a^b (f(x)g(x))^{dx} = \int_a^b (f(x))^{dx} \int_a^b (g(x))^{dx}$  (7)
3.  $\int_a^b \left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)^{dx} = \frac{\int_a^b (f(x))^{dx}}{\int_a^b (g(x))^{dx}}$
4.  $\int_a^b f(x)dx = \int_a^c f(x)dx \int_c^b f(x)dx$

şeklinde hesaplanır.

### 2.3. Çarpımsal Lineer Diferensiyel Denklemler

Çarpımsal bir lineer diferensiyel denklem:

$$(y^{*(n)})^{a_n(t)}(y^{*(n-1)})^{a_{n-1}(t)} \dots (y^{**})^{a_2(t)}(y^*)^{a_1(t)}y^{a_0(t)} = f(t) \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $f(t)$  pozitif tanımlı fonksiyondur. Eğer tüm  $a_n(t)$  üsleri sabit ise (8) denkleminde sabit üslü çarpımsal lineer diferensiyel denklem denir. Aksi takdirde, (8) denkleminde değişken üslü çarpımsal lineer diferensiyel denklem denir. Diğer yandan, (8) denkleminde  $f(t) = 1$  ise denkleme çarpımsal homojen lineer diferensiyel denklem aksi halde, çarpımsal homojen olmayan lineer diferensiyel denklem denir. Şimdi sabit üslü çarpımsal homojen ve homojen olmayan lineer diferensiyel denklemlerin tanımını verelim.

Sabit üslü çarpımsal homojen lineer diferensiyel denklem:

$$(y^{*(n)})^{a_n}(y^{*(n-1)})^{a_{n-1}} \dots (y^{**})^{a_2}(y^*)^{a_1}y^{a_0} = 1 \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $a_k, (k = 1, \dots, n)$  keyfi sabitlerdir.

Bu denklem sınıfı klasik analizde aşağıdaki lineer olmayan denklem sınıfına karşılık gelir (Yalçın ve Çelik, 2018).

$$a_n \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} \left(\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}\right) + a_{n-1} \frac{d^{n-2}}{dt^{n-2}} \left(\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}\right) + \dots + a_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}\right) + a_1 \left(\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}\right) = -a_0 \ln y. \quad (10)$$



Bu nedenle (9) denkleminin çözümleri (10) lineer olmayan denklemin çözümlerine karşılık gelir.

Sabit üslü çarpımsal homojen olmayan lineer diferensiyel denklem ise,

$$(y^{*(n)})^{a_n} (y^{*(n-1)})^{a_{n-1}} \dots (y^{**})^{a_2} (y^*)^{a_1} y^{a_0} = f(t) \quad (11)$$

şeklinde yazılır. Burada  $f(t)$  pozitif tanımlı bir fonksiyon ve  $a_0, a_1, \dots, a_n$  üstleri reel değerli sabitlerdir. (11) denkleminin genel çözümü:

$$e^{L(D) \ln y_h} = y_h^{L(D)} = 1, \quad (12)$$

homojen denkleminin  $y_h$  genel çözümü ile

$$e^{L(D) \ln y_p} = y_p^{L(D)} = f(t) \quad (13)$$

ikinci taraflı (homojen olmayan) çarpımsal lineer denklemin  $y_p$  özel çözümünün çarpımıdır. Yani, (11) denkleminin genel çözümü:

$$y = y_h \cdot y_p \quad (14)$$

$$\begin{aligned} y^{**} &= \tilde{D}^2 y = e^{D^2(\ln y)} = e^{D\left(\frac{D(y)}{y}\right)}, \\ y^{***} &= \tilde{D}^3 y = e^{D^3(\ln y)} = e^{D^2\left(\frac{D(y)}{y}\right)}, \\ &\vdots \\ y^{*(n-1)} &= \tilde{D}^{n-1} y = e^{D^{n-1}(\ln y)} = e^{D^{n-2}\left(\frac{D(y)}{y}\right)}, \\ y^{*(n)} &= \tilde{D}^n y = e^{D^n(\ln y)} = e^{D^{n-1}\left(\frac{D(y)}{y}\right)}. \end{aligned} \quad (16)$$

Şimdi aşağıdaki çarpımsal lineer diferensiyel denklemi göz önüne alalım:

$$(y^{*(n)})^{a_n} (y^{*(n-1)})^{a_{n-1}} \dots (y^{**})^{a_2} (y^*)^{a_1} y^{a_0} = f(t)$$

Bu denklemi çarpımsal türev operatörü yardımıyla

$$\left[ (\tilde{D}^n)^{a_n} (\tilde{D}^{n-1})^{a_{n-1}} \dots (\tilde{D}^2)^{a_2} (\tilde{D})^{a_1} (\tilde{D}^0)^{a_0} \right] y = f(t)$$

şeklinde yazılır. Böylece, yukarıdaki

$$(\tilde{D}^n)^{a_n} (\tilde{D}^{n-1})^{a_{n-1}} \dots (\tilde{D}^2)^{a_2} (\tilde{D})^{a_1} (\tilde{D}^0)^{a_0}$$

ifadesine  $n$ . mertebeden (dereceden) bir çarpımsal diferensiyel operatör denir ve  $L^*$  (veya  $L^*(\tilde{D})$ ) ile gösterilir (Yalçın ve Çelik, 2018). Buna göre

$$L^*(\tilde{D}) = (\tilde{D}^n)^{a_n} (\tilde{D}^{n-1})^{a_{n-1}} \dots (\tilde{D}^2)^{a_2} (\tilde{D})^{a_1} (\tilde{D}^0)^{a_0} \quad (17)$$

dır. Burada  $L^*$  bir fonksiyona uygulanacak işlemi tanımlayan semboldür. Yani,  $L^*$  çarpımsal diferensiyel operatörü bir  $I$  aralığında  $n$  defa çarpımsal türevlenebilir her  $y$  fonksiyonuna

şeklinde dir. Burada  $n$ -tane lineer bağımsız keyfi sabit içeren  $y_h$  a tamamlayıcı fonksiyon, hiç sabit içermeyen  $y_p$  ye de özel çözüm denir (Yalçın ve Çelik, 2018).

#### 2.4. Çarpımsal Diferensiyel Operatör

Klasik analizde türev işlemi  $D$  ile gösterilir. Buna göre bir  $y$  fonksiyonunun türevi

$$\frac{dy}{dt} = Dy$$

dir. Burada  $D$  ye klasik analizde türev operatörü denir. Çarpımsal analizde ise türev operatörü  $\tilde{D}$  ile gösterilir (Grossmann ve Katz, 1972). Buna göre bir  $y$  fonksiyonunun çarpımsal türevi

$$y^* = \tilde{D}y = e^{D(\ln y)} = e^{\frac{D(y)}{y}} \quad (15)$$

şeklinde yazılır. Bu takdirde, bir  $y$  fonksiyonunun yüksek mertebeden çarpımsal türevleri ise çarpımsal türev operatörü yardımıyla aşağıdaki şekilde yazılır (Yalçın ve Çelik, 2018).

$$L^*(\bar{D})y = [(\bar{D}^n)^{a_n}(\bar{D}^{n-1})^{a_{n-1}} \dots (\bar{D}^2)^{a_2}(\bar{D})^{a_1}(\bar{D}^0)^{a_0}]y$$

ile tanımlanan bir  $L^*y$  fonksiyonu karşılık getiren bir dönüşümdür. (17) ile tanımlanan  $L^*$  çarpımsal diferensiyel operatörünün önemli bir özelliği çarpımsal lineer olmasıdır. Yani,  $S$  bir  $I$  aralığında  $n$  kez çarpımsal türevlenebilir fonksiyonların kümesi olsun.  $y_1$  ve  $y_2$  bu kümeye ait herhangi iki fonksiyon ve  $c_1, c_2$  iki keyfi sabit ise

$$L^*(y_1^{c_1}y_2^{c_2}) = [L^*(y_1)]^{c_1}[L^*(y_2)]^{c_2} \tag{18}$$

dir. Genel olarak

$$L^*(y_1^{c_1}y_2^{c_2} \dots y_n^{c_n}) = [L^*(y_1)]^{c_1}[L^*(y_2)]^{c_2} \dots [L^*(y_n)]^{c_n} \tag{19}$$

şeklinde yazılır.

### 2.5. Çarpımsal Laplace Dönüşümü

**Tanım 2.4.**  $f(t)$  fonksiyonu  $[0, \infty)$  aralığında pozitif tanımlı,  $\ln f(t)$  ise  $[0, \infty)$  aralığında tanımlı olmak üzere  $f(t)$  fonksiyonunun çarpımsal Laplace dönüşümü:

$$\mathcal{L}_m\{f(t)\} = F_m(s) = \int_0^\infty (f(t)e^{-st})^{dt} = e^{\int_0^\infty e^{-st} \ln f(t) dt} = e^{\mathcal{L}\{\ln f(t)\}} \tag{20}$$

şeklinde tanımlanır. Burada çarpımsal integral  $\int_0^\infty f(t) dt = e^{\int_0^\infty \ln f(t) dt}$  olduğu biliniyor (Yalçın vd., 2016).

**Örnek 2.1.** Bazı  $f$  fonksiyonları için çarpımsal Laplace dönüşümleri aşağıdaki gibidir (Yalçın vd., 2016).

- $\mathcal{L}_m\{1\} = F_m(s) = e^{\int_0^\infty \ln 1 e^{-st} dt} = 1$
- $\mathcal{L}_m\{e^t\} = e^{\int_0^\infty \ln e^t e^{-st} dt} = e^{\int_0^\infty t e^{-st} dt} = e^{\mathcal{L}(t)} = e^{\frac{1}{s^2}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{t^n}\} = e^{\mathcal{L}\{\ln e^{t^n}\}} = e^{\mathcal{L}\{t^n\}} = e^{\frac{n!}{s^{n+1}}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{e^{at}}\} = e^{\mathcal{L}\{e^{at}\}} = e^{\frac{1}{s-a}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{\sin at}\} = e^{\mathcal{L}\{\sin at\}} = e^{\frac{a}{s^2+a^2}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{\cos at}\} = e^{\mathcal{L}\{\cos at\}} = e^{\frac{s}{s^2+a^2}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{\sinh at}\} = e^{\mathcal{L}\{\sinh at\}} = e^{\frac{a}{s^2-a^2}}$
- $\mathcal{L}_m\{e^{\cosh at}\} = e^{\mathcal{L}\{\cosh at\}} = e^{\frac{s}{s^2-a^2}}$

### 3. Çarpımsal Mertebe Düşürme Metodu

Bu bölümde özellikle ikinci mertebeden değişken üslü çarpımsal lineer diferansiyel denklemlerin çözümlerinde işe yarayacak olan, homojen olmayan (dolayısıyla homojen olan) denklemlerin mertebesini düşürmek için bir metod vereceğiz. Bunun için öncelikli olarak aşağıdaki önermeyi verelim.

**Önerme 3.1.**  $(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} (f)^{\ln g^*}$

**İspat.**

$$(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} (f)^{\frac{g'}{g}}$$

$$(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} (e^{\ln f})^{\frac{g'}{g}}$$

$$(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} \left( \frac{g'}{g} \right)^{\ln f}$$

$$(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} (g^*)^{\ln f}$$

yazılır. Buradan klasik analizdeki logaritmik fonksiyonların özelliklerinden bilinen  $(f^{\ln g} = g^{\ln f})$  özelliğinden

$$(f^*)^{\ln g} (g^*)^{\ln f} = (f^*)^{\ln g} (f)^{\ln g^*}$$

$$(f^{\ln g})^* = (f^*)^{\ln g} (f)^{\ln g^*} \quad (21)$$

olduğu görülür.

**Teorem 3.1.** İkinci mertebeden

$$(y^{**})^{a_2(t)} (y^*)^{a_1(t)} y^{a_0(t)} = f(t) \quad (22)$$

Çarpımsal diferansiyel denklemini ele alalım bu denklemin

$$(y^{**})^{a_2(t)} (y^*)^{a_1(t)} y^{a_0(t)} = 1 \quad (23)$$

homojen halinin bir çözümü  $y = y_1$  olsun. Bu taktirde bu denklem merteye düşürme metodu ile birinci mertebeden çarpımsal lineer diferansiyel denkleme indirgenir.

**İspat.**  $y = y_1$  homojen denklemin bir çözümü olduğuna göre  $y = y_1^{\ln u}$  dönüşümünü uygulayalım.

$$\begin{aligned} y &= y_1^{\ln u} \\ y^* &= (y_1^{\ln u})^* = (y_1^*)^{\ln u} (y_1)^{\ln u^*} \\ y^{**} &= [(y_1^*)^{\ln u}]^* [(y_1)^{\ln u^*}]^* \\ y^{**} &= (y_1^{**})^{\ln u} (y_1^*)^{\ln u^*} (y_1)^{\ln u^{**}} \\ y^{**} &= (y_1^{**})^{\ln u} (y_1^*)^{2 \ln u^*} (y_1)^{\ln u^{**}} \end{aligned}$$

çarpımsal türevleri yukarıdaki (23) denkleminde yerine yazılıp denklem düzenlenirse,

$$[(y_1^{**})^{a_2(t)} (y_1^*)^{a_1(t)} (y_1)^{a_0(t)}]^{\ln u} (y_1^{a_2(t)})^{\ln u^{**}} ((y_1^*)^{2a_2(t)+a_1(t)})^{\ln u^*} = f(t) \quad (24)$$

elde edilir.  $y = y_1$  homojen denklemin bir çözümü olduğundan (24) denkleminde köşeli parantezin içi 1 olmalıdır. Böylece

$$(y_1^{a_2(t)})^{\ln u^{**}} ((y_1^*)^{2a_2(t)+a_1(t)})^{\ln u^*} = f(t) \quad (25)$$

olur. Bu denklemde yine klasik analizden bilinen  $f^{\ln g} = g^{\ln f}$  eşitliği yardımıyla

$$(u^{**})^{\ln y_1^{a_2(t)}} (u^*)^{\ln (y_1^*)^{2a_2(t)+a_1(t)}} = f(t)$$

$$(u^{**})^{a_2(t) \ln y_1} (u^*)^{[2a_2(t)+a_1(t)] \ln (y_1^*)} = f(t) \quad (26)$$

yazılır. Burada  $u^* = v$  denirse

$$(v^*)^{a_2(t) \ln y_1} (v)^{[2a_2(t)+a_1(t)] \ln (y_1^*)} = f(t) \quad (27)$$

şeklinde birinci mertebeden çarpımsal lineer diferansiyel denkleme indirgenmiş olur. Bundan sonra birinci merteye çarpımsal lineer diferansiyel denklemlerin çözüm metodları kullanılarak sonuca ulaşılır (Yalçın, 2016).

#### 4. Çarpımsal Cauchy-Euler Diferansiyel Denklemi

$$(y^{*(n)})^{a_n t^n} (y^{*(n-1)})^{a_{n-1} t^{n-1}} \dots (y^{**})^{a_2 t^2} (y^*)^{a_1 t} y^{a_0} = f(t) \quad (28)$$

şeklindeki denklemlere çarpımsal Cauchy-Euler denklemi denir. Burada,  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sabitlerdir. Cauchy-Euler denklemi  $\tilde{D}$  çarpımsal türev operatörü yardımıyla;

$$L^*(\tilde{D})y = e^{L(D) \ln y} = f(t) \quad (29)$$

şeklinde yazabilir. Burada,  $L(D) = a_n t^n D^n + a_{n-1} t^{n-1} D^{n-1} + \dots + a_1 t D + a_0$  değişken katsayılı klasik lineer operatördür. Bu denklemde  $t = e^x \Leftrightarrow x = \ln t$  dönüşümü yapılırsa (28) denklemi, sabit üslü çarpımsal lineer diferensiyel denkleme indirgenir. Bu tip çarpımsal lineer denklemlerin çözümleri (Yalçın ve Çelik, 2018) makalesinde incelenmiştir.

**Lemma 4.1.**  $f$  ve  $g$  sırasıyla  $y = f(x)$ ,  $x = g(t)$  şeklinde tanımlanan iki fonksiyon olsun. Bu durumda  $y$  fonksiyonunun  $t$  ye göre çarpımsal türevi;

$$(\tilde{D}y) = \frac{d^*y}{dt} = \left(\frac{d^*y}{dx}\right)^{dx/dt} = (\tilde{D}_1y)^{dx/dt} \tag{30}$$

şeklindedir.

Yukarıda verilen  $t = e^x \Leftrightarrow x = \ln t$  dönüşümü ve Lemma 1 baz alınarak  $(y^*)^t$  çarpımsal türevi,

$$(y^*)^t = \left(\frac{d^*y}{dt}\right)^t = \left(\frac{d^*y}{dx}\right) \tag{31}$$

şeklindedir. Bu ifadeyi çarpımsal operatör yardımıyla yazacak olursak:

$$(\tilde{D}y)^t = (\tilde{D}_1y) \tag{32}$$

olur. Burada,  $\tilde{D}_1$ ,  $y$  fonksiyonunun  $x$  e göre çarpımsal türevini göstermektedir. Şimdi  $y^{**}$  ifadesini  $x$  e göre çarpımsal türev olarak,

$$\begin{aligned} y^{**} &= \frac{d^*}{dt} \left( \frac{d^*y}{dt} \right) \\ y^{**} &= \frac{d^*}{dt} \left[ \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{dx/dt} \right] \\ y^{**} &= \frac{d^*}{dt} \left( \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{1/t} \right) \end{aligned}$$

şeklinde yazılır. Teorem 2.3 ve Teorem 2.5 (5) gereğince,

$$\begin{aligned} y^{**} &= \left[ \frac{d^*}{dt} \left( \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{1/t} \right) \right] \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{t} \right)} \\ y^{**} &= \left[ \left( \frac{d^{**}y}{dx^2} \right)^{\frac{dx}{dt}} \right]^{1/t} \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{-1/t^2} \\ y^{**} &= \left( \frac{d^{**}y}{dx^2} \right)^{1/t^2} \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{-1/t^2} \end{aligned}$$

şeklinde yazılır.  $(y^{**})^{t^2}$  ifadesi de

$$(y^{**})^{t^2} = \left( \frac{d^{**}y}{dx^2} \right) \left( \frac{d^*y}{dx} \right)^{-1} \tag{33}$$

şeklinde bulunur. Bulunan son ifadeyi operatör yardımıyla yazacak olursak

$$(\tilde{D}^{(2)}y)^{t^2} = (\tilde{D}_1^{(2)}y) (\tilde{D}_1y)^{-1} \tag{34}$$

olur. Burada  $\tilde{D}_1y$ ,  $y$  nin  $x$  e göre çarpımsal türevidir. Benzer olarak,

$$(\tilde{D}^{(3)}y)^{t^3} = (\tilde{D}_1^{(3)}y) (\tilde{D}_1^{(2)}y)^{-3} (\tilde{D}_1y)^2 \tag{35}$$

elde edilir. Bu şekilde devam edilerek bulunan ifadeler (29) denkleminde yerine yazılırsa

$$L^*(\tilde{D}_1)y = e^{L(D_1)\ln y} = e^{[a_n D_1(D_1-1)\dots(D_1-n+1)+a_{n-1}D_1(D_1-1)\dots(D_1-n+2)+\dots+a_1D_1+a_0]\ln y} = g(x)$$

elde edilir. Bu denkleme sabit üslü çarpımsal lineer diferensiyel denklem denir (Yalçın ve Çelik, 2018). Bu denklem daha önce gördüğümüz yöntemlerle çözülüp  $x = \ln t$  dönüşümü yapılarak genel çözüm bulunur.

**Örnek 4.1.**  $(y^{**})^2 t^2 (y^*)^3 t (y)^{-3} = e^{t^2}$  çarpımsal Cauchy-Euler denkleminin genel çözümünü bulunuz.

**Çözüm:** Bu denklem için  $t = e^x \Leftrightarrow x = \ln t$  dönüşümü yapılır ve aşağıdaki eşitlikler dikkate alınırsa,

$$(y^*)^t = [e^{D(\ln y)}]^t = e^{D_1(\ln y)}$$

$$(y^{**})^t = (e^{D^2(\ln y)})^{t^2} = e^{D_1(D_1-1)(\ln y)}$$

verilen denklem,

$$e^{(D_1(D_1-1)+3D_1-3)\ln y} = e^{e^{2x}}$$

şeklinde  $x$  e bağlı olarak yazılabilir. Elde edilen sabit üslü  $x$  e bağlı diferensiyel denklemin tamamlayıcı fonksiyonu:

$$y_h = e^{c_1 e^{-3x}} e^{c_2 e^x}$$

şeklinde dir. Özel çözüm ise operatör metodu yardımıyla (Yalçın ve Çelik, 2018),

$$y_p = e^{\frac{1}{D^2+2D-3}} e^{2x}$$

$$y_p = e^{\frac{1}{5}} e^{2x}$$

şeklinde bulunur. Böylece  $x$  değişkenine bağlı genel çözüm:

$$y = y_h y_p = e^{c_1 e^{-3x}} e^{c_2 e^x} e^{\frac{1}{5} e^{2x}}$$

olur. Son olarak  $x = \ln t$  dönüşümü yapılırsa genel çözüm:

$$y = e^{c_1 t^{-3} + c_2 t + \frac{1}{5} t^2}$$

olarak bulunur.

### 5. Çarpımsal Legendre Diferensiyel Denklemi

$$y^{a_0} (y^*)^{a_1(at+b)} (y^{**})^{a_2(at+b)^2} \dots (y^{*(n)})^{a_n(at+b)^n} = f(t) \tag{36}$$

şeklindeki denklemlere çarpımsal Legendre diferansiyel denklemi denir. Burada,  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sabitlerdir. Legendre denklemi  $\tilde{D}$  çarpımsal türev operatörü kullanılarak (Yalçın ve Çelik, 2018);

$$L^*(\tilde{D})y = e^{L(D)\ln y} = f(t)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada,  $L(D) = a_n(at+b)^n D^n + a_{n-1}(at+b)^{n-1} D^{n-1} + \dots + a_1(at+b)D + a_0$  dır. Denklemde  $(at+b) = e^x \Leftrightarrow x = \ln(at+b)$  dönüşümü yapılırsa sabit üslü denkleme indirgenir. Burada  $(at+b) > 0$  dır.

Yukarıda verilen  $(at+b) = e^x \Leftrightarrow x = \ln(at+b)$  dönüşümü ve Lemma 1 baz alınarak  $(y^*)^{(at+b)}$  çarpımsal türevi,

$$(y^*)^{(at+b)} = \left(\frac{d^*y}{dt}\right)^{(at+b)} = \left(\frac{d^*y}{dx}\right)^a \tag{37}$$

şeklinde olur. Bu ifade operatör yardımıyla aşağıdaki şekilde yazılır:

$$(\tilde{D}y)^{at+b} = (\tilde{D}_1y)^a. \tag{38}$$

Burada  $\tilde{D}_1$ ,  $y$  fonksiyonunun  $x$  e göre çarpımsal türevini göstermektedir. Şimdi de  $y^{**}$  ifadesini  $x$  e göre çarpımsal türevi,

$$y^{**} = \frac{d^*}{dt} \left( \frac{d^* y}{dt} \right)$$

$$y^{**} = \frac{d^*}{dt} \left( \left( \frac{d^* y}{dx} \right)^{a/(at+b)} \right)$$

şeklinde yazılır. Lemma 4.1 gereğince

$$y^{**} = \left[ \frac{d^*}{dt} \left( \frac{d^* y}{dx} \right) \right]^{a/(at+b)} \left( \frac{d^* y}{dx} \right)^{\frac{d}{dt} \left( \frac{a}{(at+b)} \right)}$$

$$y^{**} = \left[ \left( \frac{d^{**} y}{dx^2} \right)^{\frac{dx}{dt}} \right]^{a/(at+b)} \left( \frac{d^* y}{dx} \right)^{-a^2/(at+b)^2}$$

$$y^{**} = \left( \frac{d^{**} y}{dx^2} \right)^{a^2/(at+b)^2} \left( \frac{d^* y}{dx} \right)^{-a^2/(at+b)^2}$$

şeklinde yazılır.  $(y^{**})^{(at+b)^2}$  ifadesi de

$$(y^{**})^{(at+b)^2} = \left( \frac{d^{**} y}{dx^2} \right)^{a^2} \left( \frac{d^* y}{dx} \right)^{-a^2} \tag{39}$$

şeklinde bulunur. Bulunan son ifadeyi çarpımsal türev operatörü yardımıyla yazacak olursak,

$$(\tilde{D}^{(2)} y)^{(at+b)^2} = \left( \tilde{D}_1^{(2)} y \right)^{a^2} \left( \tilde{D}_1 y \right)^{-a^2} \tag{40}$$

olur. Bu şekilde devam edilirse;

$$(\tilde{D}^{(n)} y)^{(at+b)^n} = e^{a^n D_1 (D_1 - 1) \dots (D_1 - n + 1) \ln y} \tag{41}$$

şeklinde bulunur. Bu ifadeler denklemden yerine yazılırsa,

$$L^*(\tilde{D}_1) y = e^{[a_n a^n D_1 (D_1 - 1) \dots (D_1 - n + 1) + a_{n-1} a^{n-1} D_1 (D_1 - 1) \dots (D_1 - n + 2) + \dots + a_1 a D_1 + a_0] \ln y} = g(x)$$

elde edilir. Bu denklem sabit üslü çarpımsal lineer diferensiyel denklemdir (Yalçın ve Çelik, 2018). Bu denklem daha önce gördüğümüz yöntemlerle çözümlenip  $x = \ln(at + b)$  dönüşümü yapılırsa genel çözüm bulunmuş olur.

**Örnek 5.1.**  $(y^{**})^{(3t-5)^2} (y^*)^{3(3t-5)} (y)^{-36} = e^{(3t-5)^3}$  çarpımsal Legendre diferensiyel denkleminin genel çözümünü bulunuz.

**Çözüm:** Bu denklem için  $3t - 5 = e^x \leftrightarrow x = \ln(3t - 5)$  dönüşümü yapılır ve aşağıdaki eşitlikler dikkate alınır,

$$(y^*)^{(3t-5)} = (e^{D \ln y})^{(3t-5)} = e^{3D_1 \ln y}$$

$$(y^{**})^{(3t-5)^2} = (e^{D^2 \ln y})^{(3t-5)^2} = e^{3^2 D_1 (D_1 - 1) \ln y}$$

verilen denklem,

$$e^{[9D_1 (D_1 - 1) + 9D_1 - 36] \ln y} = e^{e^{3x}}$$

$$e^{[9D_1^2 - 36] \ln y} = e^{e^{3x}}$$

şeklinde  $x$  e bağlı olarak yazılabilir. Elde edilen sabit üslü  $x$  e bağlı çarpımsal diferensiyel denklemin tamamlayıcı fonksiyonu;

$$y_h = e^{c_1 e^{-2x}} e^{c_2 e^{2x}}$$

şeklindedir. Özel çözüm ise operatör yardımıyla,

$$y_p = e^{\frac{1}{9D_1^2 - 36}} e^{3x}$$

$$y_p = e^{\frac{1}{45}} e^{3x}$$

elde edilir. Son olarak  $x = \ln(3t - 5)$  dönüşümü yapılırsa genel çözüm:

$$y = y_h y_p = e^{c_1(3t-5)^{-2} + c_2(3t-5)^2 + \frac{1}{45}(3t-5)^3}$$

olarak bulunur.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada klasik analize alternatif olarak geliştirilen çarpımsal analizin temel tanım ve teoremleri kullanılarak değişken üslü çarpımsal lineer diferansiyel denklemlerin özel bir hali olan çarpımsal Cauchy-Euler diferansiyel denklemi ve çarpımsal Legendre diferansiyel denklemlerinin çözümü üzerinde durulmuştur. Ayrıca ikinci mertebeden çarpımsal diferansiyel denklemler için çarpımsal mertebe düşürme metodu verilmiştir. Klasik türev için geçerli olan yöntemler çarpımsal türevin analizine uygun olarak çarpımsal türev için de yazılmıştır. Bütün bu çalışmalar gösterdi ki çarpımsal türev ve uygulamaları klasik analize uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. Bu da klasik türevin diğer çalışma alanları ile alakalı da benzer çalışmalar yapılabileceğini ima eder. Böylece bu çarpımsal türev tanımı yardımıyla sayısal analiz metotları geliştirilerek çarpımsal diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri üzerine yapılan çalışmalar geliştirilebilir (Rıza vd., 2009).

## Kaynaklar

- Aniszewska, D., 2007. Multiplicative Runge-Kutta method, *Nonlinear Dynamics*, 50:265-272
- Bashirov, A.E., Mısırlı, E., Tandoğdu, Y., ve Özyapıcı, A., 2011. On modeling with multiplicative differential equations, 26(4): 425-438
- Bashirov, A.E., Mısırlı, E., ve Özyapıcı, A., 2008. Multiplicative calculus and its applications, *J. Math. Anal. Appl.*, 337: 36-48
- Cample, D., 1999. Multiplicative calculus and student projects, *Primus*. Vol 9, issue 4.
- Filip, D., ve Piatecki, C., 2007. An overview on the non-newtonian calculus and its potential applications to economics, *Applied Mathematics and Computation*., 187(1): 68-78

- Filip, D., ve Piatecki, C., 2014. A non-newtonian examination of the theory of exogeneous economic growth, *Mathematica Aeterna*.
- Florack, L., ve Assen, H., 2012. Multiplicative Calculus in Biomedical Image Analysis, *J Math.Imaging Vis.*, 42: 64-75
- Grossman, M., ve Katz, R., 1972. *Non-Newtonian Calculus*, Lee Press, Pigeon Cove.
- Mora, M., Cordova-Lepe, F., ve Del-Valle, R., 2012. A non-Newtonian gradient for contour detection in images with multiplicative noise, *Pattern Recognition Letters*, 33: 1245-1256.
- Rıza, M., Özyapıcı, A. ve Mısırlı, E., 2009. Multiplicative finite difference methods. *Quarterly of Applied Mathematics.*, Vol. 67, No. 4, pp. 745-754
- Stanley, D., 1999. A multiplicative calculus, *Primus*, IX(4): 310-326.
- Yalçın, N., 2016. Çarpımsal Türev ve Çarpımsal Lineer Diferansiyel Denklemler. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum, 105s
- Yalçın, N., Çelik, E., 2018. Solution of multiplicative homogeneous linear differential equations with constant exponentials, *New Trends in Mathematical Sciences.*, NTMSCI 6, No. 2, 58-67.
- Yalçın, N., Çelik, E., 2018. The Solution of Multiplicative Non-Homogeneous Linear Differential Equations, *Journal of Applied Mathematics and Computation*, 2(1): 27-36.
- Yalçın, N., Çelik, E., ve Gökdoğan, A., 2016. Multiplicative Laplace transform and its applications, *Optik* 127 50: 265-272.

## ***In-Vitro* Nitric Oxide Scavenging and Anti-Tyrosinase Activity of Two *Convolvulus* L. Species**

*İki Convolvulus L. Türünün In-Vitro Nitrik Oksit Süpürme ve Anti-Tirozinaz Aktivitesi*

**Cennet ÖZAY\***

*Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 20070, Denizli*

• Geliş tarihi / Received: 10.03.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.11.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 07.12.2018

### **Abstract**

*Convolvulus* L. is a member of Convolvulaceae family which have been utilized for their biological activities in folk medicine. The aim of this study is to investigate the inhibitory effect on tyrosinase activity of two *Convolvulus* species as well as their nitric oxide (NO) scavenging activity potentials. Up to now, no reports have been found on their anti-tyrosinase and NO scavenging activity properties in the literature. *C. galaticus* and *C. phrygius* aerial parts were extracted with methanol and then NO scavenging activity assay was utilized for the assurance of radical scavenging activity of the extracts. Anti-tyrosinase activity of the extracts was determined using the modified 96-well microplate method. The highest NO scavenging and anti-tyrosinase activity were found in *C. galaticus* as 55.20% and 53.16%, respectively.

**Keywords:** *Convolvulus* L., nitric oxide scavenging activity, plant extract, tyrosinase inhibition

### **Öz**

*Convolvulus* L., *Convolvulaceae* familyasının bir üyesi olup, biyolojik aktivitelerinden dolayı halk arasında tıbbi amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, iki *Convolvulus* türünün tirozinaz aktivite üzerindeki inhibitör etkisi ve nitrik oksit (NO) süpürme aktivite potansiyellerini belirlemektir. Şimdiye kadar yapılan yayınlarda bu iki bitkinin anti-tirozinaz ve NO süpürme aktivite özelliklerine ilişkin bir rapor bulunamamıştır. *C. galaticus* ve *C. phrygius* toprak üstü kısımları metanolde ekstrakte edildikten sonra ekstraktların radikal süpürme aktivitelerinin belirlenmesi için NO süpürme aktivite deneyi kullanıldı. Ekstraktların anti-tirozinaz aktivitesi, 96-kuyucuklu mikrolaka metodunun modifiye edilmesiyle belirlendi. En yüksek NO süpürme ve anti-tirozinaz aktivitesi *C. galaticus*'ta sırasıyla % 55.20 ve % 53.16 olarak bulundu.

**Anahtar kelimeler:** *Convolvulus* L., nitrik oksit süpürme aktivitesi, bitki ekstraktı, tirozinaz inhibisyonu

\* Cennet ÖZAY; cennetozay@hotmail.com; Tel: (0 536) 282 76 67; orcid.org/0000-0002-1120-6122



## 1. Introduction

Nitric oxide (NO), which is produced by macrophages, endothelial cells and neurons, is a free radical showing significant reactivity with other free radicals and certain types of proteins (Amaeze et al., 2011). NO has an important role for the regulation of different physiological events, such as vasodilatation (Nagmoti et al., 2011). Low level of NO is adequate in most cases to impact the physiological functions (Bhaskar and Balakrishnan, 2009). Prolonged exposure to NO radical is related to the emergence of lots of serious illness including cancer, arthritis and multiple sclerosis. NO radical can be scavenged by phenolics and removal of free radicals can be possible with the antioxidant activity of phenolics (Lakhanpal and Rai, 2007). *In vitro* scavenging of NO radical is one of the assays that may be used to figure out the antioxidant activity (Nagmoti et al., 2011).

Tyrosinase (monophenol monooxygenase, EC 1.14.18.1) is a copper-containing enzyme, which is taken part in the first two steps of melanin biosynthesis (Karioti et al., 2007). Melanin formation results in enzymatic browning in human skin and plants. Also, it is known that tyrosinase causes to unwanted changes in taste, scent and nutritious rates of plant-originated foods (Friedman, 1996). Thus, tyrosinase inhibitors have become progressively significant in food, cosmetic and pharmaceutical products in terms of hyperpigmentation (Lim et al., 2009). Some tyrosinase inhibitors have been identified in natural sources from particular plants (No et al., 1999).

*Convolvulus* is a genus of the Convolvulaceae family comprising about 250 species worldwide (Cronquist, 1981). In Turkey, this genus is represented with about 37 taxa (Aykurt and Sümbül, 2010). Certain *Convolvulus* species are known for their medicinal utilization and exhibit some biological properties such as antidepressant, antioxidant, antinociceptive, anticancer and neuroprotective activities (Dhingra and Valecha, 2007; Nacef et al., 2010; Atta and El-Sooud, 2004; Sadeghi-Aliabadiet al., 2008; Bihagi et al., 2009). Previously, the NO scavenging activity of some Convolvulaceae members were reported (Gomathi et al., 2015; Baruah et al., 2014) but there hasn't been found any research on NO scavenging and anti-tyrosinase activity properties of the *Convolvulus* species in the literature.

The goal of this study was to investigate the NO scavenging activity of two *Convolvulus* methanolic extracts and to determine their inhibitory effect on tyrosinase activity.

## 2. Material and Method

### 2.1. Collection of Plant Material and Extraction

*C. galaticus* Rotsan ex Choisy and *C. phrygius* Bornm. were collected from Eskişehir-Turkey (900 m) and Antalya-Turkey (1100 m), respectively. The aerial parts of plants were air-dried over shadow at 25°C, powdered to as a fine grain. Then methanolic extracts were obtained by following the method of Ozay et al (2015). The extracts were lyophilized and stored at -20°C until use.

### 2.2. Nitric Oxide Scavenging Activity

Nitric oxide (NO) was produced from sodium nitroprusside (SNP) which measured as described by Balakrishnan et al (2009) by using the Griess reaction. The mixture containing SNP (5mM) in PBS (pH 7.3), with the plant extracts were prepared in PBS at different concentrations (125-1000 µg/mL) and incubated for 3 hours at 25°C. The absorbance value was determined at 546 nm wavelength. The positive control was ascorbic acid. The NO scavenging activity was calculated:

$$\text{NO scavenging activity (\%)} = [(Ac - At) / Ac] \times 100$$

where, Ac is the absorbance value of the control, At is the absorbance value of the *Convolvulus* extracts.

### 2.3. Tyrosinase Inhibitory Activity

Extract solution was mixed with phosphate buffer (pH 6.8) and tyrosinase solution (33.3 U/mL) in a 96-well microplate and incubated at 23°C for 10 min. Then, L-DOPA was added to start the reaction. Likewise, all reaction reagents were added to the extract solution without tyrosinase (blank). After 15 min incubation at 23°C, the blank and extract absorbances were measured at 475nm using ELISA microplate reader (Masuda et al., 2005). The percentage inhibition of the tyrosinase activity was calculated:

$$I (\%) = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100$$

where,  $A_0$  is the absorbance value of the control,  $A_1$  is the absorbance value of the *Convolvulus* extracts.

### 3. Statistical analysis

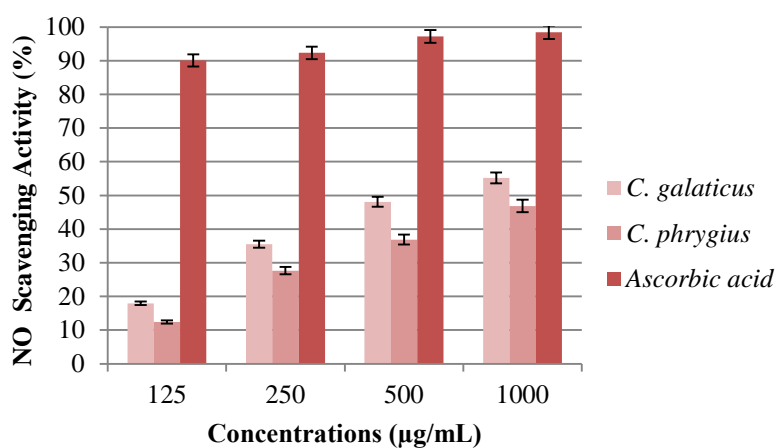
All the assays were performed in triplicate and all the results were presented as mean values and standard deviation (SD). Statistical analysis was conducted by using software SPSS17.0. Duncan test was used to determine the significance of experimental results and  $p$ -value  $< 0.05$  was considered to be statistically significant.

### 4. Results and Discussion

#### 4.1. NO Scavenging Activity

The free radical scavenging activity of the *C. galaticus* and *C. phrygius* extracts was determined

by NO radical scavenging assay, which was examined by using ascorbic acid as standard. NO created from SNP at appropriate pH in aqueous solution at physiological interacts with oxygen to generate nitrite ions, which were detected by Griess reagent. Scavengers of NO compete with oxygen leading to decreased formation of NO (Marcocci et al., 1994). The NO scavenging activity of *C. galaticus* extract was 17.98% at the minimum concentration of 125  $\mu\text{g/mL}$ , whereas the maximum activity was 55.20% at 1000  $\mu\text{g/mL}$ . Figure 1 shows the percentage of inhibition was increased with rising concentration of the extracts. Nevertheless, the activity of ascorbic acid was more pronounced than that of the extracts of two *Convolvulus* L. species.



**Figure 1.** NO scavenging activity of *Convolvulus* extracts. Data are presented as the mean value  $\pm$  SD

It can be concluded that *C. galaticus* extract has higher antioxidant activity than *C. phrygius*. Extracts of several members of *Convolvulus*, such as *C. althaeoides* (Tawaha et al., 2007), *C. fatmensis* (Atta et al., 2007) have been reported to exhibit antioxidant activity.

#### 4.2. Anti-tyrosinase Activity

Tyrosinase inhibitory activity was determined by dopachrome method with L-DOPA as substrate. The inhibitory effect of *C. galaticus* and *C. phrygius* extracts and ascorbic acid (positive control) on biological activity of tyrosinase were shown in Table 1. It can be clearly seen that tyrosinase inhibitory activity of two *Convolvulus* L. species increased by rising extract concentration, but this increase was not statistically significant ( $P < 0.05$ ).

*C. galaticus* extract has higher anti-tyrosinase activity than *C. phrygius*. The highest tyrosinase inhibitory activity was observed in *C. galaticus* as 53.16%, while the lowest activity was observed in *C. phrygius* as 26.18% at the maximum concentration of 4 mg/mL.

Plants active secondary metabolites are not definitely required for the normal plant growth but responsible for a lot of bioactive compounds used in health of organisms. The most important of secondary metabolites can be classified as alkaloids, phenols, terpenoids, saponins and glycosides (Taiz and Zeiger, 1998). Alkaloids are a class of secondary metabolites which have been accepted as the most characteristic and important chemical compounds in *Convolvulus* species. Some *Convolvulus* species contain tropane and pyrrolidine alkaloids (Todd et al., 1995; El-Shazly and Wink, 2008).

**Table 1:** Tyrosinase inhibitory activity of methanol extracts from two *Convolvulus* L. species

Concentration (mg/mL)	Tyrosinase inhibition%		
	<i>C. galaticus</i>	<i>C. phrygius</i>	Ascorbic acid
1	26.73 <sup>a</sup> ± 0.22	23.46 <sup>a</sup> ± 0.42	98.00 <sup>a</sup> ± 0.34
2	28.12 <sup>a</sup> ± 0.27	24.15 <sup>a</sup> ± 0.34	98.53 <sup>a</sup> ± 0.53
3	52.45 <sup>b</sup> ± 0.35	26.00 <sup>a</sup> ± 0.41	99.90 <sup>a</sup> ± 0.25
4	53.16 <sup>b</sup> ± 0.41	26.18 <sup>a</sup> ± 0.45	100.68 <sup>a</sup> ± 0.40

Data are expressed as mean ±SD.

Different letters within the given column are significantly different at P < 0.05.

## 5. Conclusion

From the above results it can be concluded that *C. galaticus* possesses more NO scavenging and anti-tyrosinase activity than *C. phrygius*. These activities may be due to alkaloids probably found in the extracts but further studies should be carried out on the identification of responsible active components.

## References

- Amaze, O.U., Ayoola, G.A., Sofidiya, M.O., Adepoju- Bello, A.A., Adegoke, A.O., Coker, H.A.B., 2011, Evaluation of antioxidant activity of *Tetracarpidium conophorum* (Mull. Arg) Hutch & Dalziel leaves, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Article ID 976701, 7 pages.
- Atta, A.H., El-Sooud, K.A., 2004, Antinociceptive effect of some Egyptian medicinal plant extracts, *Journal of Ethnopharmacology*, 95, 235-238.
- Atta, A.H., Mohamed, N.H., Nasr, S.M., Mouneir, S.M., 2007, Phytochemical and pharmacological studies on *Convolvulus fatmensis* Ktze., *Journal of Natural Remedies*, 7, 109-119.
- Aykurt, C., Sümbül, H., 2010, Varieties and chorology of *C. oleifolius* Desr. (Convolvulaceae) in Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 3(2), 155-162.
- Balakrishnan, N., Panda, A.B., Raj, N.R., Shrivastava, A., Prathani, R.B., 2009, The evaluation of nitric oxide scavenging activity of *Acalypha indica* Linn Root, *Asian Journal Research Chemistry*, 2(2), 148-150.
- Baruah, N.C., Das, S., Yadav, S.K., 2014, Preliminary Phyto-chemical Analysis and Antioxidant Activities of Methanol Extract of *Argyrea roxburghii* Choisy, *International Journal of Herbal Medicine*, 2(1), 126-131.
- Bhaskar, H.V. and Balakrishnan, N., 2009, *In vitro* antioxidant property of laticiferous plant species from Western Ghats Tamilnadu, India, *International Journal of Health Research*, 2(2), 163-170.
- Bihaqi, S.W., Sharma, M., Singh, A.P., Tiwari, M., 2009, Neuroprotective role of *Convolvulus pluricaulis* on aluminium induced neurotoxicity in rat brain, *Journal of Ethnopharmacology*, 124, 409-415.
- Cronquist, A., 1981, *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, New York.
- Dhingra, D. and Valecha, R., 2007, Evaluation of the antidepressant-like activity of *Convolvulus pluricaulis* Choisy in the mouse forced swim and tail suspension tests. *Medical Science Monitor*, 13, 155-161.
- El-Shazly, A. and Wink, M., 2008, Tropane and pyrrolidine alkaloids from *Convolvulus lanatus* Vahl, *Zeitschrift für Naturforschung*, 63c, 321-325.
- Friedman, M., 1996, Food browning and its prevention: An overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 631-653.
- Gomathi, D., Ravikumar, G., Kalaiselvi, M., Vidya, B., Uma, C., 2015, *In vitro* free radical scavenging activity of ethanolic extract of the whole plant of *Evolvulus alsinoides* (L.) L. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 21(6), 453-458.
- Karioti, A., Protopappa, A., Megoulas, N., Skaltsa, H., 2007, Identification of tyrosinase inhibitors from *Marrubium velutinum* and *Marrubium cylleneum*, *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15, 2708-2714.
- Lakhanpal, P. and Rai, D.K., 2007, Quercetin: a versatile flavonoid, *Internet Journal of Medical Update*, 2(2), 22-37.
- Lim, T.Y., Lim, Y.Y., Yule, C.M., 2009, Evaluation of antioxidant, antibacterial and antityrosinase

- activities of four *Macaranga* species, Food Chemistry, 114, 594-599.
- Marcocci, L., Maguire, J.J., Droy-Lefaix, M.T., Packer, L., 1994, The nitric oxide scavenging properties of *Ginkgo biloba* extract EGb 76J, Biochemical and Biophysical Research Communications, 201, 748-755.
- Masuda, T., Yamashita, D., Takeda, Y., Yonemori, S., 2005, Screening for tyrosinase inhibitors among extracts of seashore plants and identification of potent inhibitors from *Garcinia subelliptica*, Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 69(1), 197-201.
- Nacef, S., Jannet, H.B., Abreu, P. and Mighri, Z., 2010, Phenolic constituents of *Convolvulus dorycnium* L. flowers, Phytochemistry Letters, 3, 66-69.
- Nagmoti, D.M., Khatri, D.K., Juvekar, P.R., Juvekar, A.R., 2011, Antioxidant activity and free radical-scavenging potential of *Pithecellobium dulce* Benth seed extracts, Free Radical and Antioxidants, 2(2), 37-43.
- No, J.K., Soung, D.Y., Kim, Y.J., Shim, K.H., Jun, Y.S., Rhee, S.H., 1999, Inhibition of tyrosinase by green tea components, Life Science, 65, 241-246.
- Ozay, C., Mammadov, R., Tasdelen, G., Karagur, E.R., Akca, H., 2015, Potential antioxidant, antiproliferative and hepatoprotective effects of *Crataegus meyeri*, Journal of Food Biochemistry, 39, 548-553.
- Sadeghi-Aliabadi, H., Ghasemi, N., Kohi, M., 2008, Cytotoxic effect of *Convolvulus arvensis* extracts on human cancerous cell line. Research in Pharmaceutical Sciences, 3(1), 31-34.
- Taiz, L. and Zeiger, E., 1998, Plant Physiology, 2nd Edition, Sinauer Associates Publishers, pp. 778, Massachusetts.
- Tawaha, K., Alali, F.Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T., 2007, Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species, Food Chemistry, 104, 1372-1378.
- Todd, F.G., Stermitz, F.R., Schultheis, P., Knight, A.P., Traub-Dargatz, J., 1995, Tropane alkaloids and toxicity of *Convolvulus arvensis*, Phytochemistry, 39, 301-303.

## Pileki Taşı'nın (İyidere, Rize) Geopolimer Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Araştırılması

### *Investigation of the Potential of Pileki Stone (İyidere, Rize) for Geopolymer Cement Production*

Sevgi ÖZEN\*

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 19.10.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 29.11.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 14.12.2018

#### Öz

Bu çalışmanın sonuçları Rize ve çevresinde yöresel olarak rezerv veren Pileki Taşı esaslı geopolimer üzerinde yapılan deneylere dayanmaktadır. Pileki Taşı kullanılarak geopolimer üretim potansiyelinin araştırılması amacıyla  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranı, hammadde/aktivatör oranı, kür sıcaklığı ve kür süresi gibi parametrelerin basınç dayanım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan dayanım analizi sonuçlarına göre Pileki Taşı esaslı geopolimerin üretim potansiyeli bulunmaktadır.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranı 2 ve hammadde/aktivatör oranı 1.75 olan 28 günde  $70^\circ\text{C}$  sıcaklıkta kuru kür yapılan karışım en yüksek basınç dayanım değerini vermektedir. Erken dayanım söz konusu olduğunda ise yüksek sıcaklıklarda kür yapılması ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranının yüksek tutulması önerilmektedir. Ayrıca kür süresi arttıkça Pileki Taşı esaslı geopolimerlerin basınç dayanım değerlerinde düşüş tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Basınç dayanım, Geopolimer, Pileki Taşı

#### Abstract

The results of this study are based on experiments on geopolymer cement based Pileki Stone which gives local reserve in Rize and its surroundings. The effects of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  ratio, raw material / activator ratio, curing temperature and curing time on compressive strength were investigated in order to observe the potential production of Pileki Stone-based geopolymer cement. According to the results of the strength analysis, it is possible to produce the Pileki Stone-based geopolymer cement.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$  ratio 2 and raw material / activator ratio of 1.75 in 28 days at  $70^\circ\text{C}$  dry cure mixture gives the highest compressive strength value. In case of early resistance, it is recommended to cure at high temperatures and to keep the  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$  ratio high. In addition, as the curing time increased, the compressive strength values of Pileki Stone-based geopolymers were decreased.

**Keywords:** Compressive strength, Geopolymer, Pileki Stone

\* Sevgi ÖZEN; sevgi.ozen@erdogan.edu.tr, Tel: (464) 223 75 18; orcid.org/0000-0002-1875-3778

## 1. Giriş

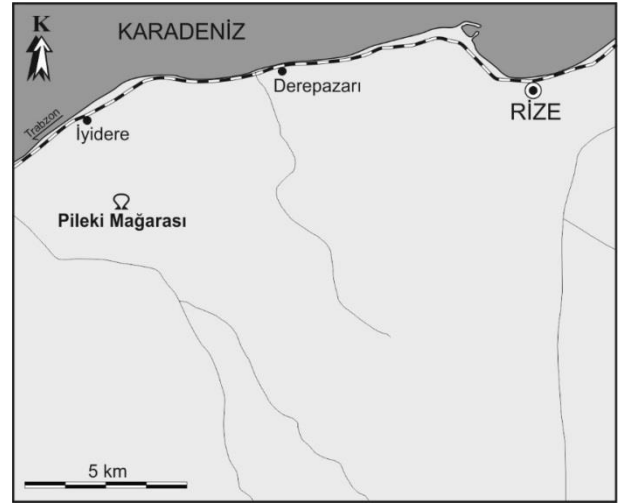
Doğu Karadeniz Bölgesi'nde el ile oyularak yapılan ekmek pişirme kaplarına Pileki adı verilmektedir. Bu kapları yapmak için kullanılan kayalara da Pileki Taşı adı verilmektedir. Siyah renkli, yayvan ve çanak biçimli Pileki kaplarının boyutları değişiklik gösterse de genellikle 25-35 cm çapında, 4-6 cm derinlikte ve 2-3 cm kalınlıkta olmaktadır (Kazancı ve Gürbüz, 2014). MÖ 2300'lü yıllardan son 30 yıla kadar, Doğu Karadeniz Bölgesi başta olmak üzere Kafkaslardan Balkanlara kadar oldukça geniş bir bölgede taş Pilekiler yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı (Uzun ve Uzun, 2001). Günümüzde ise Rize'nin İyidere ilçesinin Köşklü Köyü civarında bulunan insan yapımı pek çok taş ocağı arasından yalnızca bir tanesi turistik amaçla kullanılmaktadır. Mısır ekmeğine muazzam lezzet veren Pilekilerin üretimi ve kullanımı gelişen teknolojiyle birlikte yok denecek kadar azalmıştır.

Pilekiler çok uzun yıllardan beri Türk mutfak kültürüne yerleşmiş olsa da Geç Kretase yaşlı Pileki Taşı'nın litolojisi kısıtlı bir şekilde çalışılmıştır (Nazik vd., 2008; Şaroğlu vd., 2010). Genel itibariyle porfirik dokulu bazalt olarak isimlendirilen Pileki Taşı'nın ilk detaylı mineralojik karakterizasyon çalışması ise yalnızca bir kaynaktan verilmiştir (Yıldız ve Özen, 2017). Aslında taş Pilekiler, mağaralar içerisinde bulunan yastık lav şeklinde yerleşen bazalt biriminden seçilip çıkarılan ve ardından şekillenen kaplardır. Bu mağaraların içerisinde bazalt dışında tuf ve aglomeralar da bulunmaktadır. Tüm bu kayalar, kalınlığı ortalama 5000 metre olan Hemşindere Formasyonuna (Korkmaz ve Gedik, 1988) aittir. Bölgede yüksek miktarda rezerv veren, hem jeolojik miras niteliğinde hem de ticari bakımdan yüksek değere sahip olma potansiyeli olan Pileki Taşı'nın geopolimer yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışmada kullanılan Pileki Taşı, Rize'nin İyidere ilçesine bağlı Köşklü Köyü civarında bulunan Pileki Mağarası'ndan temin edilmiştir (Şekil 1). Örnek alımı birimin tuf ve bazalt kısmından alınmaya çalışılsa da baskın kayalık olarak tuf ağırlıklı olarak temin edilmiştir. Mağaradan yaklaşık 50 kg kadar alınan el örnekleri laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 2). Malzemenin mağara içerisinde nemli olması dolayısıyla Pileki Taşı öğütme işleminden önce 50°C'de 5 saat kadar kurutulmuştur. Daha sonra

çeneli kırıcı ile yaklaşık 2 cm boyutuna getirilmiş, ardından bilyeli değirmen ile yaklaşık 1 saat kadar öğütülerek toz numune haline getirilmiştir. Pileki Taşı'nın oksit değerleri XRF yöntemi ile Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda tayin edilmiştir. Blaine özgül yüzey alanı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Endüstriyel Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Kayacın mineralojik faz içeriği ise kantitatif X-ray difraksiyon (QXRD) yöntemi ile Amerika'da bulunan Pittsburg Mineral and Environmental Technology Inc (PMET Inc.) laboratuvarında yaptırılmıştır.



Şekil 1. Pileki Mağarası'nın yer bulduru haritası.



Şekil 2. Pileki Taşı'nın Pileki Mağarası'ndan temini.

Pileki Taşı'nın aktivasyonu için sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (NaSiO<sub>3</sub>) olmak üzere iki farklı aktivatör kullanılmıştır. %98 saflıktaki sodyum hidroksit pellet halinde, sodyum silikat ise (SiO<sub>2</sub> = %27.7, Na<sub>2</sub>O = %9.8, H<sub>2</sub>O = %62.5) solüsyon halinde temin edilmiştir. Sodyum hidroksit (10M) solüsyonu, sodyum hidroksit pelletlerin damıtılmış suda çözülerek elde edilmiştir.

Karışım numunelerinin hazırlanması esnasında ilk olarak Pileki Taşı ve NaOH solüsyonu 2-3 dakika kadar karıştırılmıştır. Ardından karışıma NaSiO<sub>3</sub> eklenmiş ve 3-5 dakika kadar daha karıştırılmıştır. Karışımlarda Pileki Taşı/aktivatör oranı olarak 1.75 ve 2, NaSiO<sub>3</sub>/NaOH oranı olarak ise 2 ve 10 olarak seçilmiştir. Elde edilen karışım 5x5x5 cm'lik küp kalıplara yerleştirilmiş, oda sıcaklığında bir gün bekletildikten sonra küp kalıplardan çıkarılarak etüvde 50°C ve 70°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kür uygulanmıştır. Ardından basınç dayanım analizleri altı adet küp numunesi üzerinde 7, 28 ve 56 günlerde yapılmıştır.

**Tablo 1.** Pileki Taşı'nın kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	L.O.I.	Toplam
48.03	17.89	9.58	4.31	5.48	4.7	5.27	4.74	100

**Tablo 2.** Pileki Taşı'nın kantitatif XRD analizi (QXRD)

Mineralojik Kompozisyon (%)								
Mineral	K-feldispat	Plajioklas	Diopsit	Analim	Klinoptilolit	Vermikülit	Volkan Camı	Toplam
Pileki Taşı	26.9	16.7	15.4	30.5	2.9	2.9	4.7	100

Genel itibarıyla silikat ya da alümina silikat içeren herhangi doğal ya da atık malzemenin geopolimerik reaksiyona katıldığı bilinmektedir. Ancak Pileki Taşı için geopolimerik reaksiyonu meydana getiren ana mineralin zeolit mineralleri (analim ve klinoptilolit) olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Parametrelerin Basınç Dayanım Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmanın ana konusu Pileki Taşı kullanılarak geopolimer elde edilip edilemeyeceğini araştırmak olduğundan farklı parametrelerin basınç dayanım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Böylece Pileki Taşı için en uygun parametreler ile geopolimer

## 3. Bulgular ve Tartışma

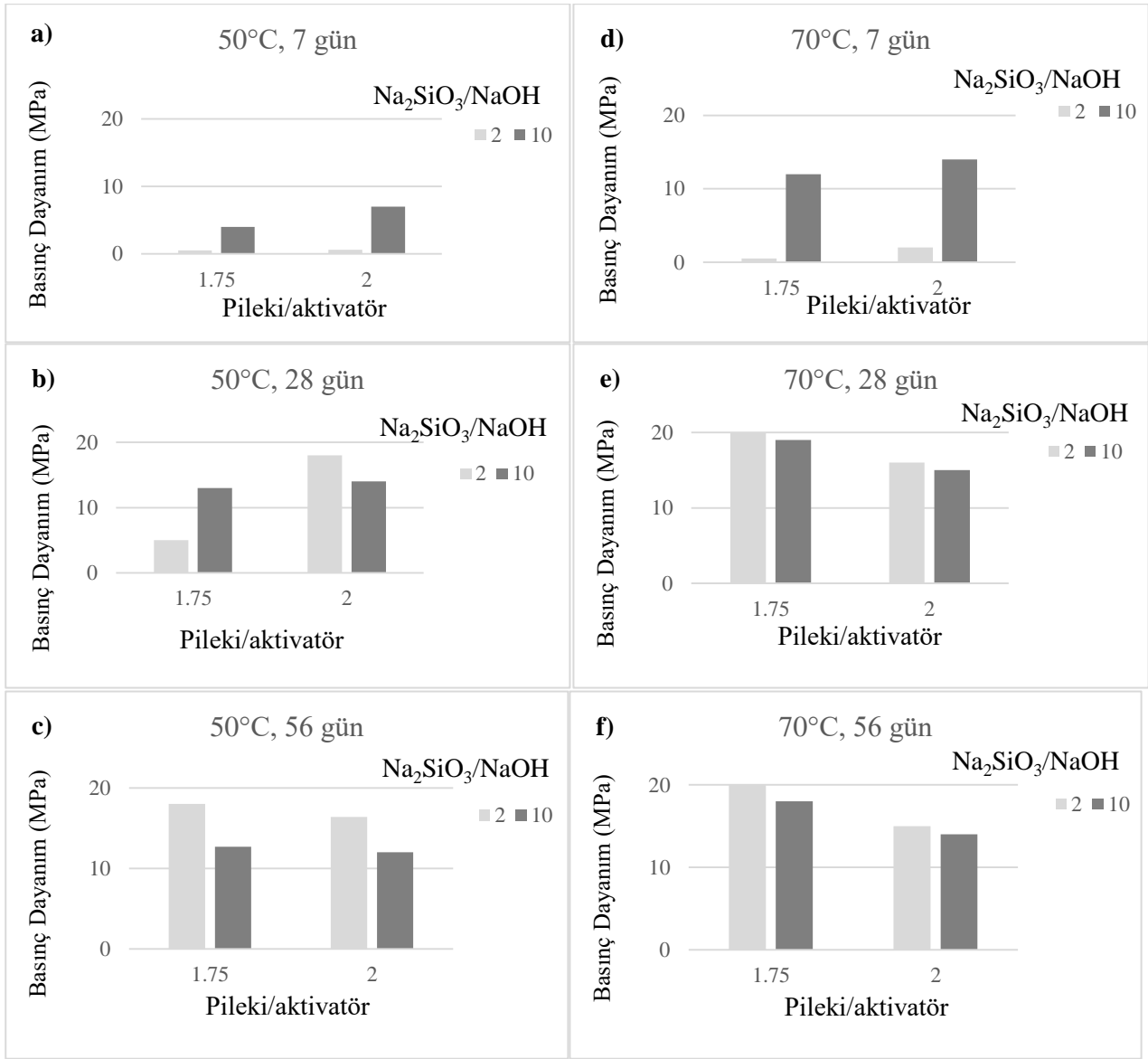
### 3.1. Pileki Taşı'nın Karakterizasyonu

Pileki Taşı'nın oksit değerleri Tablo 1'de verildiği gibidir. SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerinin toplamı % 65.92'dir. Bu değer Davidovits (1994)'in tipik geopolimer reaksiyonu için önerdiği değer aralığındadır. Tablo incelendiğinde Pileki Taşı'nın Na<sub>2</sub>O (%5.27) değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kızdırma kaybı (LOI) ise 4.74 olarak saptanmıştır. Malzemenin Blaine özgül yüzey alanı 5720 cm<sup>2</sup>/kg'dır.

Pileki Taşı'nın faz içerikleri Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde baskın mineral olarak Pileki Taşı'nın boşluklarında ikincil olarak oluşan zeolit minerallerinin olduğu (analim ve klinoptilolit, %33.4) görülmektedir. K-feldispat, plajioklas ve diopsit mineralleri majör miktarlarda bulunmaktadır. İkincil olarak oluşan kil minerali (vermikülit, %2.9) ve volkan camı (%4.7) ise minor miktardadır.

üretimi saptanmış ve Pileki Taşı'nın bu doğrultuda kullanılabilirliğinin önü açılmış olacaktır. İncelenen parametreler geopolimerik reaksiyona etki eden dört ana parametreden Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH oranı (2, 10), hammadde/aktivatör oranı (1.75, 2), kür sıcaklığı (50°C, 70°C) ve kür süresidir (7, 28 ve 56. gün). Bu parametreler kullanılarak elde edilen geopolimerlerin basınç dayanım değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

Basınç dayanım değerlerine göre en yüksek dayanımı (21 MPa) veren parametre 28 günlük, 70°C, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH 2, hammadde/aktivatör 1.75 olan sertleşmiş geopolimerdir (Şekil 3e). Aşağıda sırasıyla bu parametreler incelenmiştir.



Şekil 3. Pileki Taşı esaslı geopolimerin basınç dayanım değerleri.

### 3.2.1. $Na_2SiO_3/NaOH$ Oranı

$Na_2SiO_3/NaOH$  oranı geopolimerler açısından önemli parametrelerden biridir.  $Na_2SiO_3/NaOH$  oranının dayanıma etkisini incelemek amacıyla 2 ve 10 değerlerine sahip karışımların basınç dayanım gelişimleri incelenmiştir. 7 günlük geopolimerler açısından  $Na_2SiO_3/NaOH$  oranı 10 olan sertleşmiş geopolimerler daha yüksek dayanım değerleri (4-14 MPa) vermiştir (Şekil 3a,d). 28 ve 56 günlük geopolimerler açısından ise sıcaklığa bağlı olmaksızın  $Na_2SiO_3/NaOH$  oranı 2 olan geopolimerler daha yüksek mukavemet vermişlerdir (Şekil 3b,c,e,f).

Bu bilgiler ışığı altında malzemenin erken dayanım kazanması için  $Na_2SiO_3/NaOH$  oranının yüksek tutulması gerekliliği sonucu çıkmaktadır.

Ancak en yüksek basınç değerleri geç dayanımlar ile elde edilmiştir.

### 3.2.2. Hammadde/Aktivatör Oranı

7 günlük dökümler için sıcaklığa bağlı olmaksızın hammadde/aktivatör oranı 2 olan geopolimerler daha yüksek dayanım değerleri vermektedir (Şekil 3a,d). 28 günlük dökümler için ise 50°C'de hammadde/aktivatör oranı 2 (18 MPa), 70°C'de hammadde/aktivatör oranı 1.75 (21 MPa) daha iyi dayanım değerleri vermiştir. 56 günlük dökümler için ise sıcaklığa bağlı olmaksızın hammadde/aktivatör oranı 1.75 daha iyi mukavemet değerleri vermiştir (Şekil 3c,f). Ancak en yüksek basınç dayanım değerleri hammadde/aktivatör oranı 1.75 olan sertleşmiş geopolimerler ile elde edilmiştir (Şekil 3e).



### 3.2.3. Kür sıcaklığı

Alkaliler ile aktive edilmiş geopolimerlerin dayanım kazanmaları için çoğunlukla belli sıcaklık değerlerinde kuru kür yapılması gerekmektedir. Bu tür yeni nesil bağlayıcı malzemeler oda sıcaklığında kürlendiğinde ise genellikle dayanım kazanmamaktadır. Ayrıca kür sıcaklığı olarak genellikle 40°C ile 90°C arasındaki değerler seçilmektedir (Davidovits, 1994). Bu değer aralığında sıcaklık ne kadar artarsa geopolimer o kadar hızlı dayanım kazanmaktadır. Genel itibarıyla düşük kür sıcaklıklarında malzeme aktif olamamakla birlikte, yüksek sıcaklıklarda ise hızlı nem kaybından dolayı oluşan çatlaklar dolayısıyla sertleşmiş geopolimer kırılıp parçalanabilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığı altında Pileki Taşı'nın en yüksek dayanım değerini bulmak için genel geçerliliği olan 50°C ve 70°C olarak iki sıcaklık değeri seçilmiştir. Yapılan analizler neticesinde 50°C'de 7 günlük geopolimerlerin dayanımlarının düşük olduğu saptanmıştır (Şekil 3a). 70°C'de 7 günlük geopolimerlerin ise belli bir dayanım değerlerine (10-15 MPa civarı) ulaştığı görülmektedir (Şekil 3d). Elde edilen bu verilere dayanarak geopolimerlerin erken dayanımı için yüksek sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulduğunu söylemek mümkündür. 28 ve 56 günlük geopolimerler için ise 50°C'nin de belli bir dayanıma ulaşmak için yeterli olduğunu görmekteyiz. Ancak 70°C'lik geopolimerlerin daha yüksek basınç dayanım değerlerine ulaşması Pileki Taşı için yüksek sıcaklıkların yüksek dayanım elde etmek için daha uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 3d,e,f).

### 3.2.4. Kür Süresi

Portland çimentosunda olduğu gibi geopolimerler için de kür süresi arttıkça dayanım değerleri artmaktadır. Şekil 3'den de anlaşıldığı üzere 7 günlük dökümler ile belli bir dayanım değerine ulaşan geopolimerler, en yüksek dayanım değerlerine 28 günlük geopolimerler ile ulaşılmıştır. Bu noktadan sonra ise dayanım değerlerinde çok az miktarda da olsa düşüş tespit edilmiştir. Dayanım değerlerindeki bu düşüşün nedeni sıcaklıkla ilişkilidir. Etüvde kuru şekilde kürlenmiş numunelerde belli bir gün sınırını aştıktan sonra nem kaybından dolayı kırıklar ve çatlaklar oluşmaktadır. Elde edilen geopolimerlerin dayanımları artsa bile numunelerde bulunan çatlaklar dolayısıyla numuneler parçalanabilmektedir.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmadan çıkan sonuçlar ve ileriki çalışmalar için öneriler aşağıda sunulduğu gibidir:

- Rize ve çevresinde yüksek rezerv veren Pileki Taşı, geopolimer üretimi açısından uygundur.
- Basınç dayanım değeri en yüksek olan Pileki Taşı esaslı geopolimer  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranı 2 ve hammadde/aktivatör oranı 1.75 olan 28 günde 70°C sıcaklıkta kuru kür yapılan karışımdır.
- Pileki Taşı esaslı geopolimerin erken dayanım kazanması için yüksek sıcaklıklarda kür yapılması ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranının yüksek tutulması önerilmektedir.
- Kür süresi arttıkça Pileki Taşı esaslı geopolimerlerin basınç dayanım değerlerinde az miktarda düşüş tespit edilmiştir.
- Dayanım değerlerinin sunulan çalışmaya oranla arttırmak için KOH,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  gibi solüsyonlar ileriki çalışmalar için öneriler arasındadır.

## Kaynaklar

- Davidovits, J. 1994. Properties of geopolymer cements. In: First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Kiev, Ukraine. Pp. 131-149.
- Kazancı, N. ve Gürbüz, A., 2014. Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 57, Sayı 1.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol oluşumları. Jeoloji Mühendisliği, 32-33, 5-15.
- Nazik, L. Savaş, F. Kahraman, İ. Acar, C., 2008. Pileki Mağarası (Taşhane) İyidere- Rize araştırma raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor no 11012.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., Nazik, L., Aksoy, B., 2010. Pileki mağarası ve jeokültürel değeri. 1. Uluslararası Jeolojik Koruma Sempozyumu ve Güneydoğu Avrupa Ülkeleri ProGEO Toplantısı (15-19 Eylül 2010, Fırat Üniversitesi, Elazığ) Bildiri Özetleri, s. 34-35.
- Uzun, A. ve Uzun, S. 2001. Taşhaneden aşhaneye: Taş Pilekiler. Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Sayı 2.
- Yıldız, E. ve Özen, S. 2017. Pileki Taşı'nın mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri. TÜBİTAK, Proje No: 919B011503088.

## Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinde Etkili Gözlemlerin Belirlenmesine Yönelik Bir Yöntem

*A Method to Detect Influential Observations in Multiple Linear Regression Analysis*

Osman Ufuk EKİZ\*

Gazi University, Faculty of Sciences, Department of Statistics, 06500, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 31.07.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.12.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 21.12.2018

### Öz

Çoklu doğrusal regresyon analizinde aykırı, etkili ve kaldıraç noktaları belirlemek istatistiksel çıkarımların doğruluğu açısından son derece önemlidir. Nurunnabi vd. (2016) tarafından sağlam etkili uzaklık (*EU*) ölçüsü regresyon analizinde etkili gözlemlerin belirlenmesi için önerilmiştir. Ancak bu yöntemde hesaplamalarda kullanılmayacak gözlemlerin belirlenmesi sağlam olmayan istatistiklere dayanmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem aykırı gözlemlerden etkilenmektedir. Bu çalışmada sağlam tahmin edicilere dayalı etkili uzaklık (*SEU*) ölçüsünün etkili gözlemleri belirlemede kullanılması önerilmiştir. Ayrıca etkili gözlemleri belirlemede *EU* ve *SEU* 'ların iyi bilinen iki gerçek veriye uygulanması ve simülasyon çalışması ile karşılaştırılmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde en iyi sonuçlar yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler (*YEKK*) sağlam tahmin edicisine dayalı *SEU* 'lar üzerinden elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Aykırı Gözlem, Etkili Gözlem, Kaldıraç, Sağlam Tahmin Edici

### Abstract

It is so important to determine outlier, influence and leverage points in multiple linear regression analysis for the accuracy of statistical inferences. To detect the influence observations, Nurunnabi et al. (2016) proposed a robust influence distance (*ID*). However, the determination of observations that would not be used in the calculations of this distance are based on non-robust statistics. Thus, it is affected by outliers. In this paper, it is suggested that influence distance based on robust estimators (*RID*) could be used for detecting influence observations. Moreover *ID* and *RID*'s which were used to determine outliers, are applied to two known data sets and are compared based on simulation studies. The results show that *RID* based on *RLS* performs the best.

**Keywords:** Outlier, Influential observations, Leverage, Robust Estimator

\* Osman Ufuk EKİZ; ufukekiz@gazi.edu.tr; Tel: (0505) 319 6087; orcid.org/0000-0002-4004-0336

## 1. Giriş

Çoklu doğrusal regresyon, istatistikte bağımlı değişken ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkinin modellenmesi yöntemidir. Bu yöntem, mühendislik, fizik, kimya, biyoloji, eğitim ve sosyal bilimler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu model

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $Y$ ,  $n \times 1$  boyutlu bağımlı değişken vektörü,  $X$ ,  $(n \times p)$  boyutlu tam ranklı açıklayıcı değişkenler matrisi,  $\varepsilon$  ise  $E(\varepsilon) = 0$  ve  $Cov(\varepsilon) = \sigma^2 I$  olan  $n \times 1$  boyutlu normal dağılıma sahip hata vektörüdür.  $\beta$ ,  $(p \times 1)$  boyutlu bilinmeyen parametreler vektörü ve  $\sigma^2$  bilinmeyen varyanstır. Burada  $\ell$  açıklayıcı değişken sayısı olmak üzere  $p = \ell + 1$  dir. Tüm bu varsayımların geçerliliği altında  $\beta$  parametresinin en çok olabilirlik (EÇO) tahmin edicisi,

$$\hat{\beta}_{EÇO} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu tahmin edicinin en iyi, doğrusal ve sapmasız olduğu bilinmektedir (Graybill, 1976). Ancak aykırı gözlemler modelin yukarıda ifade edilen varsayımlardan sapmalar göstermesine, dolayısıyla (2)'deki tahmin edicinin kötü sonuçlar vermesine neden olabilmektedir (Rousseeuw ve Leroy, 1987). Bu sebeple aykırı gözlemler regresyon analizi literatüründe oldukça geniş yer tutmaktadır (Barnett vd., 1994; Cook vd., 1982). (2)'deki tahmin edici üzerinde kötü etkilere neden olan aykırı gözlemler etkili gözlemler (EG) olarak isimlendirilmektedir. EG'ler bağımlı değişken değerleri diğer gözlemlerden oldukça farklı olan gözlemlerdir. Bu gözlemler açıklayıcı değişken değerlerinin diğerlerinden çok farklılık gösterip göstermemesine göre  $Y$  yönünde veya  $X$  yönünde aykırı olarak da isimlendirilmektedir.  $X$  yönünde aykırı olan gözlemler literatürde kötü kaldıraç gözlem olarak da bilinir (Rousseeuw ve Leroy, 1987). EG'lerin model üzerindeki etkisini en aza indirmek için literatürde önerilmiş yöntemler iki temel gruba ayrılır. Bunlardan birincisi teşhise dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemler, aykırı gözlemler veriden çıkarıldıktan sonra (2)'deki tahmin edicinin kullanılması fikrine dayanır. İkinci grupta yer alan yöntemler ise sağlam olarak isimlendirilir. Burada temel fikir aykırı olabilecek gözlemlerin model parametre tahmin edicisi

üzerinde en az etkiye sebep olacak şekilde ağırlıklandırılmasıdır. Nurunnabi vd. (2016) EG'lerin belirlenmesinde etki uzaklığı (EU) 'yu önermişlerdir.  $i$ . gözlem için etki uzaklığı,

$$EU_i = \sqrt{(G_i - \bar{G}_R) \hat{\Sigma}_{G_R}^{-1} (G_i - \bar{G}_R)}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $R$ ,  $D$ 'nin elemanı olmayan gözlemlerden oluşmaktadır.  $D$  ise genelleştirilmiş student tipi artıklar ( $r_i$ ), genelleştirilmiş kaldıraç değerleri ( $h_i$ ) ve Welsch-Kuh uzaklığı ( $DIFITS_i$ ) gibi sırasıyla aykırı, kaldıraç ve EG'leri belirlemek üzere önerilmiş çeşitli istatistiklerin kullanılmasıyla tespit edilen gözlemler kümesini ifade etmektedir. Bu istatistiklerin tanımları Cook vd., (1982) çalışmada yer almaktadır. Bu kümelemeye göre  $X$  ve  $Y$ ,

$$X = \begin{bmatrix} X_R \\ X_D \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_R \\ Y_D \end{bmatrix}$$

şeklinde tanımlanır.  $R$ 'de yer alan gözlemler üzerinden parametre tahmini,

$$\hat{\beta}_R = (X_R' X_R)^{-1} X_R' Y_R \quad (4)$$

olarak ifade edilmektedir.  $G$ , ilk sütunu (4)'e dayalı elde edilmiş genelleştirilmiş student tipi artıklardan ( $r_i$ ), ikinci sütunu genelleştirilmiş kaldıraç ( $h_i$ ) değerlerinden oluşan  $n \times 2$  boyutlu matristir.  $\bar{G}_R$  ve  $\hat{\Sigma}_{G_R}^{-1}$  sırasıyla  $G$ 'nin  $R$  kümesinde yer alan gözlemler üzerinden hesaplanan ortalama ve kovaryans matrisinin tersini ifade etmektedir. Buna göre eğer

$$EU_i > \sqrt{\frac{(n-1)}{(n-p)} F_{\alpha, (p, n-p)}} \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

sağlandığında  $i$ . gözlem etkili olarak değerlendirilir. Burada  $F_{\alpha, (p, n-p)}$ ,  $p$  ve  $(n-p)$  serbestlik dereceli  $F$  dağılımı üzerinden birinci tip hata miktarı  $\alpha$ 'ya karşılık gelen kritik değeri ifade etmektedir. Ayrıca,  $r_i$ 'ler üzerinden aykırı gözlem değerlendirmesinde  $medyan(r_i) \mp 3(\text{medyan}(|r_i - \text{medyan}(r_i)|) / 0.6745)$ ,  $h_i$  değerleri üzerinden kaldıraç gözlemlerin değerlendirilmesinde

$medyan(h_i) \mp 3(medyan(|h_i - medyan(h_i)|)/0.6745)$  kritik değerleri kullanılmaktadır (Nurunnabi vd., 2016).

Ancak  $D$ 'de yer alan gözlemlerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin aykırı gözlemlerden etkilenmesi, yanlış gözlemlerin  $D$  kümesinde yer almasına neden olabilir. Bu sebeple gerçek aykırı, kaldıraç ve etkili gözlemlerin  $D$  kümesinde yer alması olasılığı düşük olacaktır. Bu çalışmada söz konusu olasılığı daha yüksek tutmak için (4) nolu tahmin ediciye dayalı  $r_i$  ve  $h_i$  değerlerini kullanmak yerine en küçük medyan kareler (EMK) ve yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler (YEKK) gibi sağlam tahmin edicilere dayalı elde edilen  $r_i$  ve  $h_i$  değerlerinin kullanılması önerilmiştir. Böylece  $D$  kümesinde sağlam bir tahmin edici tarafından aykırı ya da kaldıraç olarak belirlenmiş gözlemler yer almış olur. Önerilen bu yöntemle  $D$  kümesinde yer alan gözlemlerin gerçek aykırı ve kaldıraç olan gözlemlerden oluşması olasılığı artar. Dolayısıyla sağlam istatistiklere dayalı oluşturulan  $R$  kümesi üzerinden hesaplanan sağlam etkili uzaklık (SEU) değerleri ile  $EG$ 'ler daha doğru tespit edilir.

Yöntemin uygulamasını ve geçerliliğini ortaya koymak açısından ikinci bölümde EMK ve YEKK sağlam tahmin edicilerine yer verilmiştir. 3. bölümde önerilen yöntem ve bu yöntem üzerinden etkili gözlemlerin nasıl belirlendiği anlatılmıştır. Yöntemin gerçek veriler üzerine uygulanmasına 4. bölümde ve performansının değerlendirilmesi için bir simülasyon çalışmasına da son bölümde yer verilmiştir.

## 2. Çoklu Doğrusal Regresyonda Bazı Sağlam Tahmin Ediciler

(1) nolu eşitlikteki  $\beta$  parametre vektörüne ilişkin bilinen sağlam tahmin edicilerden ikisi EMK ve YEKK aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Rousseeuw ve Leroy, 1987).

### 2.1. EMK Tahmin Edici

$r_i$ ,  $i$ . Gözleme ilişkin artık olmak üzere, ( $i=1,2,\dots,n$ ),

i.  $n$  adet gözlemden  $p$  tanesi rastgele seçilir.

ii. Amaç fonksiyonu  $\min_{\hat{\beta}_i} \left\{ medyan \left( r_i^2 \right) \right\}$ ,

iii. ( $t=1,2,\dots,m$ ) olmak üzere  $\hat{\beta}_i$ ,  $n$ 'nin  $p$ 'lik kombinasyonlarından rastgele seçilen  $m$  tanesinden  $t$ . İçin elde edilen EÇÖ tahmini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonunu minimize eden  $\hat{\beta}_i$ ,  $\hat{\beta}_{EMK}$  olarak kabul edilir.

iv.  $S^0 = 1.4826 \left( 1 + \frac{5}{n-p} \right) \sqrt{medyan(r_i^2)}$  hesaplanır.

v.  $w_i = \begin{cases} 1, & |r_i/S^0| \leq 2.5 \\ 0, & \text{diğer hallerde} \end{cases}$

ağırlıkları elde edilir.

vi.  $\sigma^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i r_i^2}{\sum_{i=1}^n w_i - p}}$

ile ölçek parametresinin EMK tahmini belirlenir.

### 2.2. YEKK Tahmin Edici

$\hat{\beta}_{EMK}$  tahmin başlangıç değeri olarak kullanıldığında, amaç fonksiyonu  $\min_{\hat{\beta}_k} \sum_{i=1}^n w_i r_i^2$

olmak üzere  $k$ . Adımda elde edilen  $\hat{\beta}_k$ ,  $\hat{\beta}_{YEKK}$  olarak kabul edilir. Burada  $w_i$ , EMK'nin iv. Adımından belirlenir. Ancak bu adımda  $S^0$  yerine v. Adımda bulunan  $\sigma^*$  ( $\sigma^*$ 'nın EMK tahmini) kullanılır. Yani,

$w_i = \begin{cases} 1, & |r_i/\sigma^*| \leq 2.5 \\ 0, & \text{diğer hallerde} \end{cases}$

olur. Ölçek parametresi  $\sigma^*$ 'nın YEKK tahmin edicisi de

$\hat{\sigma}_{YEKK} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i r_i^2}{\sum_{i=1}^n w_i - p}}$  şeklinde belirlenir.

## 3. Sağlam Tahmin Edicilere Dayalı EU (SEU) Üzerinden Gözlemlerin Sınıflandırılması

Nurunnabi vd. (2016),  $D$  'de yer alacak şüpheli gözlemleri robust olmayan yöntemler kullanarak belirlemektedir. Bu yöntemlerin kendileri zaten aykırı gözlemlerden etkilenir olduklarından, yanlış gözlemlerin  $D$  kümesinde yer almasına neden olabilirler. Dolayısı ile aykırı, kaldıraç ve etkili gözlemlerin doğru belirlenmesi olasılığı düşük olacaktır.

Bu çalışmada söz konusu olasılığı daha yüksek tutmak için (4) nolu tahmin ediciye dayalı  $r_i$  ve  $h_i$  değerlerini kullanmak yerine  $EMK$  ve  $YEKK$  gibi sağlam tahmin edicilere dayalı olanları kullanmak önerilmiştir. Bu değerler, sağlam tahmin edicilerin hesaplanmasında kullanılan ve en son iterasyonda ağırlığı  $w_i=1$  olan, gözlemlerden oluşan küme  $R$  olmak üzere,

$$\begin{aligned} r_i &= Y_i - X_i \hat{\beta}_R \\ h_i &= X_i' (X_R' X_R)^{-1} X_i \end{aligned} \quad (5)$$

ile hesaplanır (Georgios, 2013).  $SEU$  'da (3) nolu eşitlikteki  $EU$  'ya benzer şekilde oluşturulmaktadır. Ancak burada  $G$  matrisinin sütunları sırasıyla (5) nolu eşitlikteki  $r_i$  ve  $h_i$  ' ler den oluşmaktadır. Buna göre eğer

$$SEU_i > \sqrt{\frac{(n-1)}{(n-p)}} F_{\alpha, (p, n-p)} \quad , \quad i=1,2,3,\dots,n$$

oluyorsa  $i$ . gözlem etkili olarak değerlendirilmektedir.  $r_i$  ve  $h_i$  değerleri için kritik değerler Bölüm 1'de verildiği gibidir.

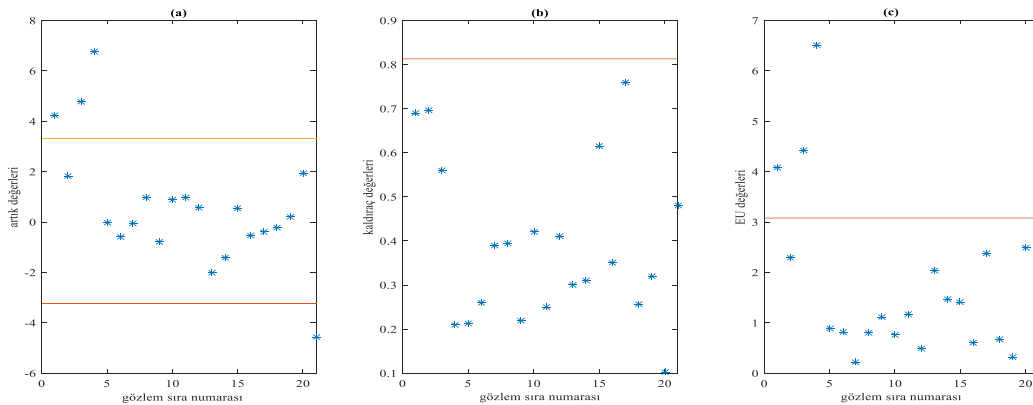
#### 4. Gerçek Veri Uygulamaları

Bu bölümde  $EU$  ve  $SEU$  'lar literatürde sık kullanılan veriler üzerine uygulanmıştır.  $SEU$  'lar  $EMK$  ve  $YEKK$  sağlam tahmin edicilere dayalıdır.

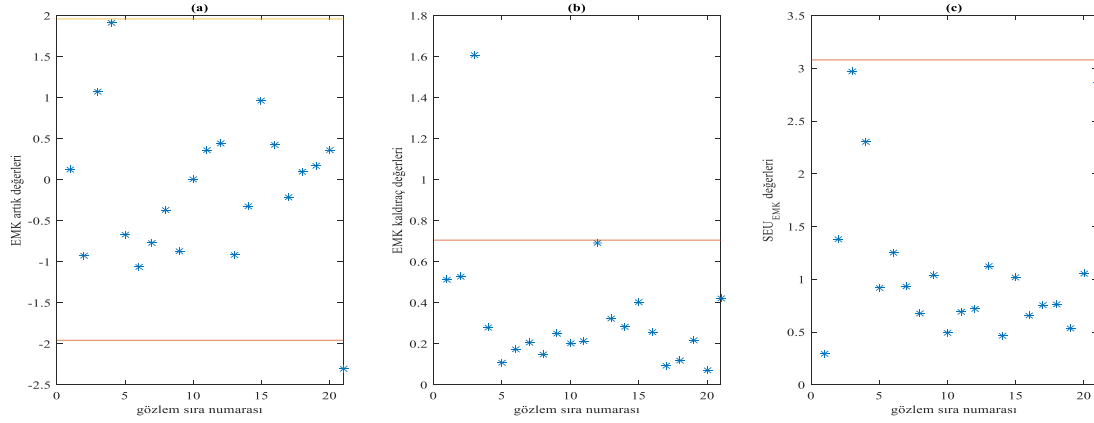
##### 4.1. Stack Loss Verisi

İlk örnek literatürde sıkça kullanılan ve Rousseeuw ve Leroy (1987) çalışmasında yer alan

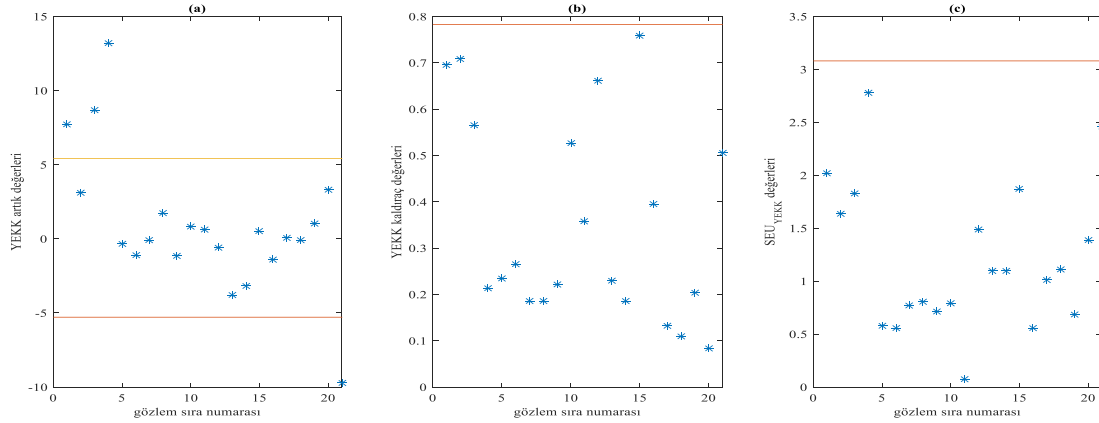
“stack loss” verisidir. Bu veri seti 21 gözlemden oluşmaktadır. Ayrıca hava akımı, soğutma suyu ve asit yoğunluğu isimli üç açıklayıcı değişken içermektedir. Rousseeuw ve van Zomeren (1990) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 3 tane  $X$  yönünde (1, 3 ve 21 numaralı gözlemler) ve bir tane  $Y$  yönünde aykırı gözlemin olduğunu ancak etkili gözlemin varlığına dair bir göstergenin olmadığını belirtmişlerdir. Nurunnabi vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada  $D$  kümesinde 1-4 ve 21 sıra numaralı beş gözleme yer verilmiştir. Bu beş gözlem  $r_i$ ,  $h_i$  ve  $DIFITS_i$  gibi farklı yöntemlerle tespit edilmiş gözlemlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Ancak, bu şekilde oluşturulan bir küme içerisinde gerçekte aykırı yada kaldıraç olmayan gözlemlerin bulunması ihtimali yüksek olabilir. Çünkü kullanılan yöntemler sağlam değildir. Bu çalışmada  $EU$  'lar üzerinden 1, 3, 4 ve 21 numaralı gözlemler etkili olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Önerilen yöntemle göre Şekil 2'deki  $EMK$  'ya dayalı sağlam etkili uzaklık ( $SEU_{EMK}$ ) değerlerinden veride etkili gözlem bulunmadığı,  $EMK$  'nın  $r_i$  değerlerinden 21 numaralı gözlemin aykırı olduğu tespit edilmiştir.  $EMK$  'nın  $h_i$  değerlerinden ise 3. Gözlemin kaldıraç olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3 'teki  $YEKK$  'nın  $r_i$  değerlerinden görüleceği üzere 1, 3, 4 ve 21 numaralı dört gözlem aykırı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca  $YEKK$  'ya dayalı sağlam etkili uzaklık ( $SEU_{YEKK}$ ) değerlerinden veride etkili gözlem bulunmadığı anlaşılmaktadır.  $YEKK$  tahmin edici üzerinden elde edilen bu sonuçlar Rousseeuw ve van Zomeren (1990) 'nin yapmış oldukları çalışmadakilerle aynıdır.



Şekil 1. Nurunnabi vd. (2016)'de önerilen tahmin ediciden elde edilen (a) artık ( $r_i$ ), (b) kaldıraç ( $h_i$ ) ve (c)  $EU$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.



**Şekil 2.** EMK tahmin edici üzerinden elde edilen (a) EMK artıkları ( $r_i$ ), (b) EMK kaldırmaçları ( $h_i$ ) ve (c)  $SEU_{EMK}$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.

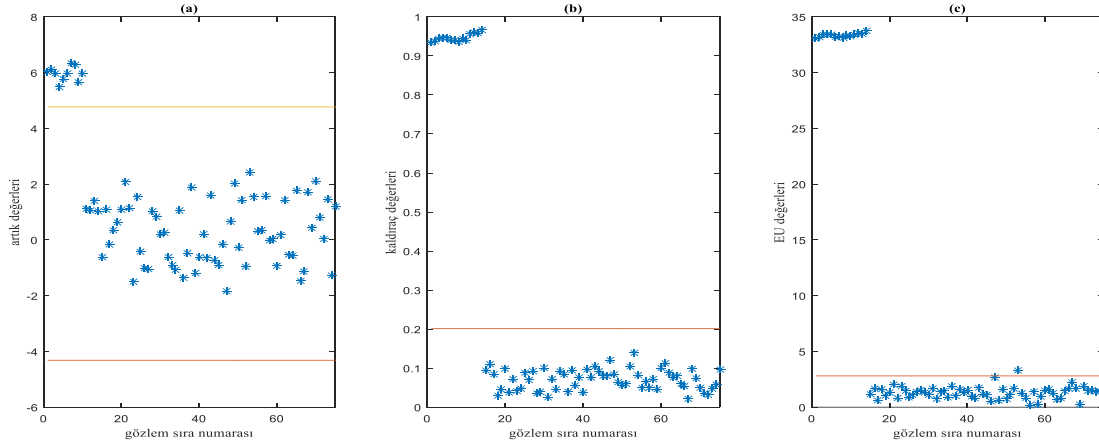


**Şekil 3.** YEKK tahmin edici üzerinden elde edilen (a) YEKK artıkları ( $r_i$ ), (b) YEKK kaldırmaçları ( $h_i$ ) ve (c)  $SEU_{YEKK}$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.

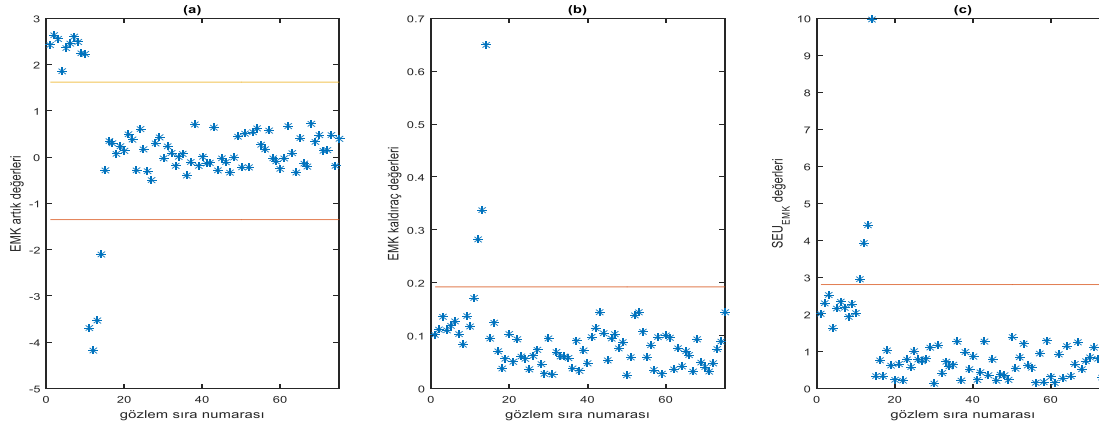
#### 4.2. Hawkins Bradu Kass Verisi

Literatürde sık kullanılan ve Rousseeuw ve Leroy (1987)'de yer alan ikinci veri seti "Hawkins Bradu Kass" olarak isimlendirilmektedir. 75 gözlemden oluşan bu veri setinde ilk 10 gözlem  $X$  yönünde aykırı (kötü kaldırmaç nokta) ve 11-14 sıra numaralı gözlemler ise kaldırmaç gözlem olarak bu yapay veriye eklenmiştir. Nurunnabi vd. (2016)'de yapılan çalışmada 1-14 numaralı gözlemler  $D$  kümesine alınmıştır. Bu çalışmada hangi gözlemlerin  $D$  kümesine alınması gerektiğine dair bir keyfiyet söz konusudur. Sonuçta 1-14 numaralı gözlemlerin etkili oldukları Şekil 4'teki  $EU$  değerlerinden

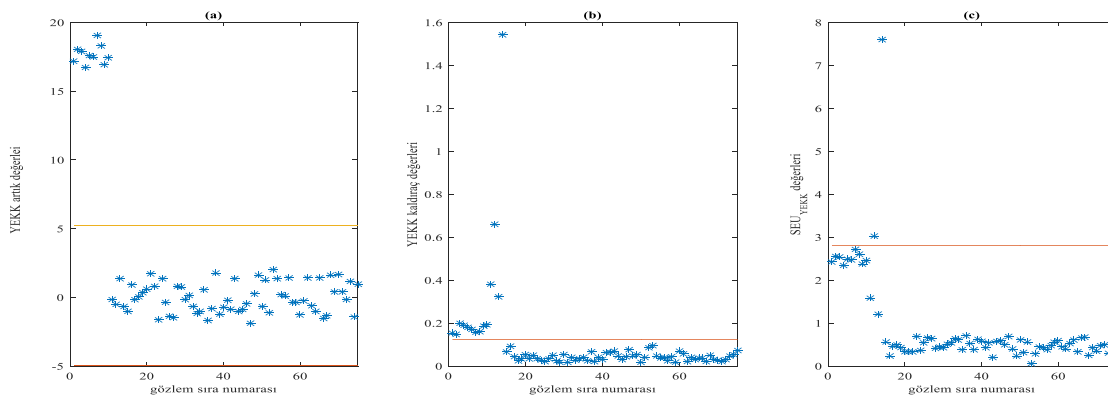
anlaşılmaktadır. Şekil 5'teki EMK'nin  $r_i$  değerlerinden 1-14 numaralı gözlemler aykırı olarak tespit edilmiştir. EMK'nin  $h_i$  değerlerinden 12, 13 ve 14 numaralı gözlemler kaldırmaç olarak belirlenmiştir. 11, 12, 13 ve 14 numaralı gözlemlerin ise  $SEU_{EMK}$ 'lar üzerinden etkili oldukları Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 6'daki YEKK'nin  $r_i$  değerlerinden 1-14 numaralı gözlemlerin aykırı, YEKK'nin  $h_i$  değerlerine göre de 1-14 numaralı gözlemlerin kaldırmaç olduğu görülmektedir. Ancak  $SEU_{YEKK}$  değerlerinden sadece 12 ve 13 numaralı gözlemlerin etkili olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



**Şekil 4:** Nurunnabi vd. (2016)'de önerilen tahmin ediciden elde edilen (a) artık ( $r_i$ ), (b) kaldıraç ( $h_i$ ) ve (c)  $EU$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.



**Şekil 5:** EMK tahmin edici üzerinden elde edilen (a) EMK artık ( $r_i$ ), (b) EMK kaldıraç ( $h_i$ ) ve (c)  $SEU_{EMK}$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.



**Şekil 6:** YEKK tahmin edici üzerinden elde edilen (a) YEKK artık ( $r_i$ ), (b) YEKK kaldıraç ( $h_i$ ) ve (c)  $SEU_{YEKK}$  değerlerine ilişkin serpilme diyagramları.

Yukarıda gerçekleştirilen iki farklı uygulamadan görüleceği üzere, yöntemler hangi gözlemlerin etkili olduğu hususunda farklılıklar göstermektedir.

Hangisinin daha iyi olduğunu ortaya koyabilmek için bir sonraki bölümde bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

**5. Simulation**

Bu bölümde  $EU$ ,  $SEU_{EMK}$  ve  $SEU_{YEKK}$ 'nin karşılaştırmasını doğru belirleme oranı ( $DBO$ ) bakımından yapabilmek için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Burada  $DBO$ , eklenen etkili gözlemlerin tam olarak doğru tespit edildiği,  $n$  çaplı örneklerin adedinin 10000 deneme içindeki oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada  $EU$ 'ların elde edilmesinde  $D$  kümesinde yer alacak gözlemler (4) nolu eşitliğe bağlı  $r_i$ ,  $h_i$  ve  $DIFITS_i$  değerleri üzerinden belirlenmiştir. Ayrıca örnek çapları 50, 100 ve 500 açıklayıcı değişken sayısı 2, 4 ve 6, örneğe eklenen  $EG$  oranı  $\lambda$  0.05 ve 0.10 olarak alınmıştır. Gözlemlerin  $n - [n\lambda]$  adedinin  $X$  değişken değerleri  $Normal(3,1)$  dağılımdan üretilmiştir. Bunlara bağlı bağımlı değişken değerleri de,

$$Y = \beta_0 + \beta_j X_j + \varepsilon, \quad j = 1, 2, \dots, \ell$$

modeli üzerinden üretilmiştir.  $[\cdot]$  virgülden sonraki birinci haneye göre bir alt yada üst tamsayıya yuvarlamayı ifade etmektedir.  $\beta_0 = 1$  ve  $\beta_j = 1$  olmak üzere  $\varepsilon$  rastgele değişkeninin dağılımı da  $Normal(0,0.5)$  olarak alınmıştır. Örneğe;  $\lambda_x$  her bir döngüde  $0 < \lambda_x < \lambda$  aralığında tekdüze dağılımdan üretilmiş bir değer

olmak üzere  $[n\lambda_x]$  adet  $X$  yönünde aykırı (kötü kaldıraç);  $\lambda_y$  her bir döngüde  $0 < \lambda_y < \lambda - \lambda_x$  aralığında tekdüze dağılımdan üretilmiş bir değer olmak üzere  $[n\lambda_y]$  adet  $Y$  yönünde aykırı;  $[n\lambda] - [n\lambda_x] - [n\lambda_y]$  adet kaldıraç (iyi kaldıraç) gözlem eklenmiştir.  $X$  yönünde aykırı gözlemler de  $X$  değerleri  $Normal(K,0.5)$ , buna bağlı  $Y$  değerleri de  $Normal(\beta_0 + \beta_i X_i + K, 0.5)$  dağılımından üretilmiştir. Burada  $K$  değerleri,

$$P(K = k) = \begin{cases} 0.5, & k = -10 \\ 0.5, & k = 10 \end{cases}$$

dağılımından üretilmiştir.  $Y$  yönünde aykırı gözlemler de,  $X$  değerleri  $Normal(3,1)$ , buna bağlı  $Y$  değerleri de  $Normal(\beta_0 + \beta_i X_i + K, 0.5)$  dağılımından üretilmiştir. Kaldıraç gözlemlerinde de  $X$  değerleri  $Normal(K,0.5)$ , buna bağlı  $Y$  değerleri de  $Normal(\beta_0 + \beta_i X_i, 0.5)$  dağılımından üretilmiştir. Tablo 1'deki  $DBO$  sonuçları 10000 döngü üzerinden elde edilmiştir. Tablo 1'de  $SEU$  'ların ve bunlar arasında da  $SEU_{YEKK}$  'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Açıklayıcı değişken sayısı arttıkça  $DBO$  'larının azaldığı ve örnek çapı arttığında bu oranda az da olsa bir azalmanın olduğu yine Tablo 1'deki sonuçlardan gözlenmektedir.

**Tablo 1:**  $DBO$  değerleri.

$n$	$\lambda$	$\ell = 2$			$\ell = 4$			$\ell = 6$		
		$EU$	$SEU_{EMK}$	$SEU_{YEKK}$	$EU$	$SEU_{EMK}$	$SEU_{YEKK}$	$EU$	$SEU_{EMK}$	$SEU_{YEKK}$
50	0.05	0.1821	0.2121	0.2692	0.1583	0.1804	0.2001	0.1229	0.1404	0.1594
	0.10	0.1595	0.1987	0.2463	0.1207	0.1553	0.1862	0.1008	0.1353	0.1503
100	0.05	0.1727	0.1845	0.2567	0.1471	0.1612	0.1837	0.1149	0.1282	0.1472
	0.10	0.1625	0.2128	0.2483	0.1388	0.1591	0.1752	0.0927	0.1201	0.1388
500	0.05	0.1585	0.2204	0.2584	0.1441	0.1754	0.1791	0.1094	0.1154	0.1254
	0.10	0.1461	0.1739	0.2327	0.1285	0.1437	0.1608	0.0858	0.1137	0.1177

**6. Sonuçlar**

Bu çalışmada sağlam tahmin edicilere dayalı etkili uzaklık ( $SEU$ ) ölçüsünün etkili gözlemlerin belirlenmesinde kullanılması önerilmiştir. Gerçek veri üzerinde yapılan uygulamalarda  $EU$  ve önerilen  $SEU$  'ların farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.  $SEU$  'ların elde edilmesinde sağlam tahmin edicilerin hesaplanmasında kullanılan

(yani sağlam bir tahmin edici üzerinden aykırı olmadığı tespit edilen) gözlemlere yer verildiği için  $DBO$  'larının daha yüksek çıktığı yapılan simülasyon çalışması üzerinden görülmüştür.  $EMK$  ve  $YEKK$  sağlam tahmin edicilerine dayalı  $SEU$  'lar üzerinden elde edilen  $DBO$  'lar daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca  $DBO$  bakımından  $SEU_{YEKK}$ ,  $SEU_{EMK}$  'ya göre daha iyi sonuç vermektedir.



**Referanslar**

- Barnett, V. and Lewis, T., 1994, *Outliers in Statistical Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Cook, R. D. and Weisberg, S., 1982, *Residuals and Influence in Regression* (Chapman & Hall, New York).
- Georgios Pitselis, 2013, A review on robust estimators applied to regression credibility., *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 239, 231-249.
- Graybill, F. A. 1976. *Theory and Application of the Linear Model*, North Scituate, Mass. Duxbury Press.
- Nurunnabi A.A.M., M. Nasser and A.H. M. R. Imon, 2016. Identification and classification of multiple outliers, high leverage points and influential observations in linear regression., *Journal of Applied Statistics*, Vol. 43, No. 3, 509-525.
- Rousseeuw P. J. and B.C. van Zomeren. 1990, Unmasking multivariate outliers and leverage points. *Journal of the American Statistical Association*, 85:633–651.
- Rousseeuw PJ, Leroy AM., 1987, *Robust regression and outlier detection*. NewYork: Wiley Interscience.

## Crack Problem in Nested Thick Pipes

### İç İçe Geçmiş Kalın Borularda Çatlak Problemi

Nurcan ASCI DEMIROZ\*<sup>1,a</sup>, Elif PUL<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Inonu Street, Highways Lodgements, A<sup>th</sup> Block, Building No.114/7, 61040, Trabzon

<sup>2</sup>Regional Offices of Provincial Bank, 61000, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 26.10.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 28.01.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 04.02.2019

#### Abstract

The paper considers the elastostatic axisymmetric problem for long nested thick-walled cylinders with two different crack cases under uniform axial load according to the theory of elasticity. Both of cylinders have different elastic constants. Using the Fourier and Hankel transform techniques, the problem is formulated in terms of an integral equation which has a simple Cauchy kernel. The singular integral equation is solved numerically. Some results for the stress intensity factors are presented graphically.

**Keywords:** Crack, Integral transform technique, Singular integral equation, Stress-intensity factor

#### Öz

Bu çalışmada düzgün yayılı çekmeye maruz iç içe geçmiş eksenel simetrik sonsuz uzun kalın borularda çatlak problemi elastisite teorisine göre incelenmiştir. Her iki borunun da elastik özellikleri birbirinden farklıdır. Fourier and Hankel dönüşüm tekniklerinden yararlanılarak problem basit Cauchy çekirdeğine sahip bir tekil integral denklem sistemine indirgenmiştir. Bu tekil integral sistemi, Gauss-Chebyshev integrasyon formülü kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Gerilme şiddeti faktörleri hesaplanmış ve grafik olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çatlak, İntegral dönüşüm tekniği, Tekil integral, Gerilme yoğunluk faktörü

\*<sup>a</sup> Nurcan ASCI DEMIROZ, nurcan\_asci@hotmail.com; Tel: (0532) 476 05 75; orcid.org/0000-0002-8461-5138

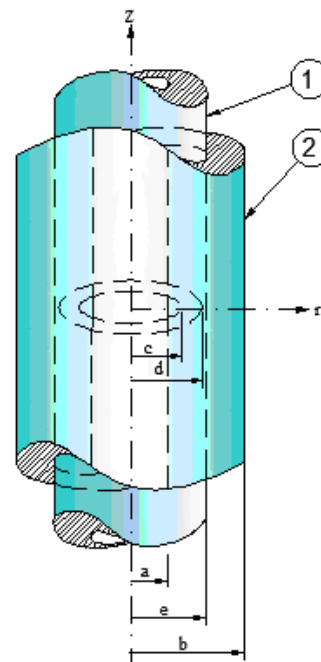
<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8506-7906

**1. Introduction**

The problems of a cylinder containing a crack are important for many engineering applications such as pressure vessels, pipes and other cylindrical containers. In this type of problems, axisymmetric field of displacements is often used due to its appropriateness. To find the maximum load to be carried by the structure with a crack, the most commonly used criteria is the stress intensity factor for linear elastic materials.

Many studies were done in the field of cylinder problems that contain cracks in the past. [Sneddon and Welch \(1963\)](#) examined the distribution of stress in a long and elastic cylinder containing a penny-shaped crack. [Sneddon and Tait \(1963\)](#) treated the effect of a penny shaped crack on distribution of stress in a long circular cylinder. [Erdogan and Ratwani \(1972\)](#) investigated the fracture problem for various geometric shaped shells with a through crack. [Gupta \(1974\)](#) investigated the problem of a semi-infinite cylinder with axial symmetry. [Erdogan and Erdol \(1978\)](#) examined an axisymmetric ring shaped internal and edge crack problem of hollow circular cylinder. The problem of a long cylinder containing a circumferential crack in axially symmetric under various loadings was solved by [Nied and Erdogan \(1983\)](#). The elastostatic axisymmetric problem for a long thick-walled cylinder containing an axisymmetric circumferential crack has been investigated by [Birinci \(2002\)](#), in which the crack was considered to be internal or edge crack with cladding. [Altundag Artem and Gecit \(2002\)](#) concerned with the fracture of an axisymmetric hollow cylindrical bar containing rigid inclusions. The cylinder is under the action of uniformly distributed axial tension applied at infinity. [Toygar and Geçit \(2006\)](#) considered the problem of an axisymmetric infinite cylinder with a ring shaped crack at  $z=0$  and two ring shaped rigid inclusions with negligible thickness at  $z = \pm L$ . The cylinder is under the action of uniformly distributed axial tension applied at infinity and its lateral surface is free of fraction. The elastostatic axisymmetric problem for a long thick walled cylinder containing internal crack with two cladding was investigated by [Birinci et al. \(2006\)](#). [Ayдын and Altundag Artem \(2008\)](#) examined the fracture of an infinite thick-walled cylinder. The inner surface of the cylinder is stress free and the outer is rigidly fixed. The cylinder having a ring-shaped crack located at the symmetry plane is subjected to distributed compressive load on its surface.

In this paper, the stress intensity factors at the crack tips for nested thick pipes containing a ring-shaped crack under axial symmetry are studied. In Fig. 1, two nested hollow-circular cylinders are shown. The cylinders are assumed to be elastic, homogeneous, and isotropic. The inner cylinder with inner radius 'a' and outer radius 'e' is included a crack having axial symmetry. The outer cylinder has inner radius 'e' and outer radius 'b'. The system is subjected to uniformly distributed tensile load. Two cases are considered: a) the internal crack case ( $a < c < d < e$ ), and (b) the internal edge crack case ( $a = c < d < e$ ). The elastic properties of the cylinders 1 and 2 are different. The effect of the body forces is neglected.



**Fig. 1.** Geometry of the problem

**2. Derivation of Integral Equation**

The solution of the problem in Fig.1 is obtained by using the superposition of solutions for two different problems such that an axisymmetric infinite thick pipe problem subjected to only a uniform axial tensile loads with no crack, and an axisymmetric infinite thick pipe problem containing annular crack at  $z=0$  symmetry plane. Crack free surface can be obtained under the influence of the uniform tensile load  $P_0$  with the superposition of these two cases ([Gupta, 1974](#); [Erdol and Erdogan, 1978](#); [Artem and Gecit, 2002](#)). The main problem in this paper is actually the second one, because the first part was solved in the earlier studies ([Erdol and Erdogan, 1978](#); [Gecit, 1986](#)). For this purpose, the stresses  $f(r)$  are

obtained from the solution of the first problem, then they are applied to the crack surfaces in opposite direction as external load in the problem of axisymmetric hollow cylinder containing a crack. Because the  $z=0$  is symmetry plane, only the interval  $0 \leq z < \infty$  is considered. Boundary conditions of the problem can be written as follows:

$$\sigma_{rr}^1(a, z) = 0 \quad 0 \leq z \leq \infty \quad (1)$$

$$\tau_{rz}^1(a, z) = 0 \quad 0 \leq z \leq \infty \quad (2)$$

$$\sigma_{rr}^2(b, z) = 0 \quad 0 \leq z \leq \infty \quad (3)$$

$$\tau_{rz}^2(b, z) = 0 \quad 0 \leq z \leq \infty \quad (4)$$

$$\tau_{rz}^1(r, 0) = \tau_{rz}^2(r, 0) = 0 \quad a \leq r < b \quad (5)$$

$$U_r^{(1)}(e, z) = U_r^{(2)}(e, z) \quad (6)$$

$$U_z^{(1)}(e, z) = U_z^{(2)}(e, z) \quad (7)$$

$$\sigma_{rr}^{(1)}(e, z) = \sigma_{rr}^{(2)}(e, z) \quad (8)$$

$$\tau_{rz}^{(1)}(e, z) = \tau_{rz}^{(2)}(e, z) \quad (9)$$

$$\sigma_{zz}^{(1)}(r, 0) = -f(r) \quad c < r < d \quad (10)$$

$$U_z(r, 0) = 0 \quad a < r < c, d < r < b \quad (11)$$

$$\lim_{z \rightarrow 0} \frac{\partial U_z}{\partial r} = 0 \quad a < r < c, d < r < b \quad (12)$$

$$\lim_{z \rightarrow 0} \frac{\partial U_r}{\partial r} = G(r) \quad c < r < d \quad (13)$$

Compatibility condition related with displacements through the  $z$  axis of points along the crack can be written as follows,

$$\int_c^d \frac{\partial U_z}{\partial r} dr \quad c \leq r \leq d \quad (14)$$

where  $U_r, U_z$  are  $r$  and  $z$  components of the displacement vector, respectively.

The plane of the ring crack symmetry is taken as the plane where the  $z$  axis of the cylinder is zero. The solution of the axial symmetry infinite cylinder without crack obtained by using the Fourier and Hankel transforms is added to the solution of the half space loaded (Erdol and Erdogan, 1978), which also has axial symmetry characterizing the crack. Thus, the displacement and the relevant stress components of problem for cylinders 1 and 2 are obtained as follows, respectively.

$$U_{r1}(r, z) = -\frac{1+\nu_1}{E_1} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 [A_1(\xi)I_1(\xi r) + B_1(\xi)\xi I_0(\xi r) - C_1(\xi)K_1(\xi r) - D_1(\xi)\xi r K_0(\xi r)] \text{Cos}(\xi z) d\xi \quad (15)$$

$$U_{z1}(r, z) = \frac{1+\nu_1}{E_1} \left\{ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 \{A_1(\xi)I_0(\xi r) + B_1(\xi)[4(1-\nu_1)I_0(\xi r) + \xi r I_1(\xi r)] + C_1(\xi)K_0(\xi r) + D_1(\xi)[\xi r K_1(\xi r) - 4(1-\nu_1)K_0(\xi r)]\} \text{Sin}(\xi z) d\xi + \int_0^\infty \lambda^3 \left[ \frac{(4\nu_1-2-z\lambda)F(\lambda)}{\lambda} - EF(\lambda) \right] e^{-\lambda z} J_0(\lambda r) d\lambda \right\} \quad (16)$$

$$\sigma_{r1}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 \{A_1(\xi)[- \xi I_0(\xi r) + I_1(\xi r)/r] + B_1(\xi)\xi[4(2\nu_1-1)I_0(\xi r) - \xi r I_1(\xi r)] - C_1(\xi)[\xi K_0(\xi r) + K_1(\xi r)/r] + D_1(\xi)\xi[(1-2\nu_1)K_0(\xi r) - \xi r K_1(\xi r)]\} \text{Cos}(\xi z) d\xi + \int_0^\infty \lambda^3 \left\{ E\lambda \left[ \frac{J_1(\lambda r)}{r} - \lambda J_0(\lambda r) \right] + F(\lambda)[(2\nu_1 - \lambda z + 1)J_0(\lambda r) + (\lambda z - 1)J_1(\lambda r)/\lambda r] \right\} e^{-\lambda z} d\lambda \quad (17)$$

$$\sigma_{\theta 1}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \left\{ \frac{A_1(\xi)I_1(\xi r)}{r} + B_1(\xi)\xi(2\nu_1-1)I_0(\xi r) + C_1(\xi)K_1(\xi r)/\xi r + D_1(\xi)(1-2\nu_1)K_0(\xi r) \right\} \text{Cos}(\xi z) d\xi + \int_0^\infty \lambda^3 \left\{ -E(\lambda) \frac{J_1(\lambda r)}{r} + F(\lambda)[2\nu_1 J_0(\lambda r) + (1-\lambda z)J_1(\lambda r)/\lambda r] \right\} e^{-\lambda z} d\lambda \quad (18)$$

$$\sigma_{z1}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \{A_1(\xi)I_0(\xi r) + B_1(\xi)[2(2\nu_1-1)I_0(\xi r) + \xi r I_1(\xi r)] + C_1(\xi)K_0(\xi r) + D_1(\xi)[\xi r K_1(\xi r) - 2(2-\nu_1)K_0(\xi r)]\} \text{Cos}(\xi z) d\xi + \int_0^\infty \lambda^3 [\lambda E(\lambda) + F(\lambda)(\lambda z + 1 - 2\nu_1)] e^{-\lambda z} J_0(\lambda r) d\lambda \quad (19)$$

$$\tau_{rz_1} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \{A_1(\xi)I_1(\xi r) + B_1(\xi)[2(1 - \nu_1)I_1(\xi r) + \xi r I_0(\xi r)] - C_1(\xi)K_1(\xi r) - D_1(\xi)[\xi r K_0(\xi r) - 2(1 - \nu_1)K_1(\xi r)]\} \text{Sin}(\xi z) d\xi + \int_0^\infty \lambda^3 [\lambda E(\lambda) + F(\lambda)(\lambda z - 2\nu_1)] e^{-\lambda z} J_1(\lambda r) d\lambda \tag{20}$$

$$U_{r_2}(r, z) = -\frac{1+\nu_2}{E_2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 [A_2(\xi)I_1(\xi r) + B_2(\xi)\xi r I_0(\xi r) - C_2(\xi)K_1(\xi r) - D_2(\xi)\xi r K_1(\xi r)] \text{Cos}(\xi z) d\xi \tag{21}$$

$$U_{z_2}(r, z) = \frac{1+\nu_2}{E_2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 \{A_2(\xi)I_1(\xi r) + B_2(\xi)[4(1 - \nu_2)I_0(\xi r) + \xi r I_1(\xi r)] + C_2(\xi)K_0(\xi r) + D_2(\xi)[\xi r K_1(\xi r) - 4(1 - \nu_2)K_0(\xi r)]\} \text{Sin}(\xi z) d\xi \tag{22}$$

$$\sigma_{r_2}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^2 \{A_2(\xi)[- \xi I_0(\xi r) + I_1(\xi r)/r] + B_2(\xi)\xi[(2\nu_2 - 1)I_0(\xi r) - \xi r I_1(\xi r)] - C_2(\xi)[\xi K_0(\xi r) + \frac{K_1(\xi r)}{r}] + D_2(\xi)\xi[(1 - 2\nu_2)K_0(\xi r) - \xi r K_1(\xi r)]\} \text{Cos}(\xi z) d\xi \tag{23}$$

$$\sigma_{\theta_2}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \left\{ -\frac{A_2(\xi)I_1(\xi r)}{\xi r} + B_2(\xi)\xi(2\nu_2 - 1)I_0(\xi r) + C_2(\xi)K_1(\xi r)/\xi r + D_2(\xi)(1 - 2\nu_2)K_0(\xi r) \right\} \text{Cos}(\xi z) d\xi \tag{24}$$

$$\sigma_{z_2}(r, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \{A_2(\xi)I_0(\xi r) + B_2(\xi)[2(2 - \nu_2)I_0(\xi r) + \xi r I_1(\xi r)] + C_2(\xi)K_0(\xi r) + D_2(\xi)[\xi r K_1(\xi r) - 2(2 - \nu_2)K_0(\xi r)]\} \text{Cos}(\xi z) d\xi \tag{25}$$

$$\tau_{rz_2} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \xi^3 \{A_2(\xi)I_1(\xi r) + B_2(\xi)[2(1 - \nu_2)I_1(\xi r) + \xi r I_0(\xi r)] - C_2(\xi)K_1(\xi r) + D_2(\xi)[-\xi r K_0(\xi r) + 2(1 - \nu_2)K_1(\xi r)]\} \text{Sin}(\xi z) d\xi \tag{26}$$

In the expressions given above,  $I_i, K_i$  and  $J_i (i = 0, 1)$  are the modified Bessel functions of the first and second kind, and the  $i$ th-order Bessel functions of the first kind, respectively.  $A_i(\xi), B_i(\xi), C_i(\xi), D_i(\xi), E(\lambda)$  and  $F(\lambda) (i = 1, 2)$  are unknown coefficients, and they are calculated from the boundary conditions depending on  $G(r)$ . By using boundary condition in Eq. (5), Eq. (27) is obtained.

$$\int_0^\infty \lambda^3 [\lambda E(\lambda) - 2\nu_1 F(\lambda)] J_1(\lambda r) d\lambda \tag{27}$$

Assuming the term in parenthesis is equal to zero in Eq. (27), boundary condition Eq. (5) is constantly verified such that

$$\lambda E(\lambda) - 2\nu_1 F(\lambda) = 0 \tag{28}$$

From Eq. (13), Eq. (29) can be written following form:

$$\frac{\partial u_{z_1}(r, 0)}{\partial r} = G(r) = \frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} \int_0^\infty \lambda^4 F(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda \tag{29}$$

where the function  $G(r)$  is unknown. Applying the inverse Henkel transform of both sides in Eq. (29), Eq. (30) can be expressed as:

$$\lambda^3 F(\lambda) = \frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \int_c^d \rho G(\rho) J_1(\lambda \rho) d\rho \tag{30}$$

Making use of Eqs. (15)-(26) and Eqs. (28)-(29), the boundary conditions Eqs. (1)-(5) and Eqs. (8)-(10) may be written as:

$$A_1(\xi)[- \xi a I_1(\xi a) + I_1(\xi a)] + \xi a B_1(\xi)[(2\nu_1 - 1)I_0(\xi a) - \xi a I_1(\xi a)] - C_1(\xi)[\xi a K_0(\xi a) + K_1(\xi a)] + \xi a D_1(\xi)[(1 - 2\nu_1)K_0(\xi a) - \xi a K_1(\xi a)] = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_1}{2(1-\nu_1)^2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{ \xi^2 \rho a I_0(\xi a) K_0(\xi \rho) + [2(\nu_1 - 1) - (\xi a)^2] I_1(\xi a) K_1(\xi \rho) + \xi a I_0(\xi a) K_1(\xi \rho) - \xi \rho I_1(\xi a) K_0(\xi \rho) \} G(\rho) d(\rho) \tag{31}$$

$$A_1(\xi) I_1(\xi a) + B_1(\xi)[2(1 - \nu_1) I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a)] - C_1(\xi) K_1(\xi a) + D_1(\xi)[2(1 - \nu_1) K_1(\xi a)] = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_1}{2(1-\nu_1)^2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{ \xi a I_0(\xi a) K_1(\xi \rho) - \xi \rho I_1(\xi a) K_0(\xi \rho) \} G(\rho) d(\rho) \tag{32}$$

$$A_2(\xi)[- \xi b I_0(\xi b) + I_1(\xi b)] + \xi b B_2(\xi)[(2\nu_2 - 1)I_0(\xi b) - \xi b I_1(\xi b)] - C_2(\xi)[\xi b K_0(\xi b) + K_1(\xi b)] + \xi b D_2(\xi)[(1 - 2\nu_2)K_0(\xi b) - \xi b K_1(\xi b)] = 0 \tag{33}$$

$$A_2(\xi) I_1(\xi b) + B_2(\xi)[2(1 - \nu_2) I_1(\xi b) + \xi b I_0(\xi b)] - C_2(\xi) K_1(\xi b) + D_2(\xi)[2(1 - 2\nu_2) K_1(\xi b) - \xi b K_0(\xi b)] = 0 \tag{34}$$

$$-\left(\frac{1+\nu_1}{1+\nu_2}\right) \frac{E_2}{E_1} \{A_1(\xi) I_1(\xi e) + B_1(\xi) \xi e I_0(\xi e) - C_1(\xi) K_1(\xi e) - D_1(\xi) \xi e K_0(\xi e)\} + \{A_2(\xi) I_1(\xi e) + B_2(\xi) \xi e I_0(\xi e) - C_2(\xi) K_1(\xi e) - D_2(\xi) \xi e K_0(\xi e)\} = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_2}{(1-\nu_1)(1+\nu_2)} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{2(1 - \nu_1) I_1(\xi \rho) K_1(\xi e) + \xi e I_1(\xi \rho) K_0(\xi e) - \xi \rho K_1(\xi e) I_0(\xi \rho)\} G(\rho) d(\rho) \tag{35}$$

$$-\left(\frac{1+\nu_1}{1+\nu_2}\right) \frac{E_2}{E_1} \{A_1(\xi) I_1(\xi e) + B_1(\xi)[4(1 - \nu_1) I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)] + C_1(\xi) K_0(\xi e) + D_1(\xi)[\xi e K_1(\xi e) - 4(1 - \nu_1) K_0(\xi e)]\} - \{A_2(\xi) I_0(\xi e) + B_2(\xi) \xi [4(1 - \nu_2) I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)] + C_2(\xi) K_0(\xi e) + D_2(\xi)[-4(1 - \nu_2) K_0(\xi e) \xi e + K_1(\xi e)]\} = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_2}{(1-\nu_1)(1+\nu_2)} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{ \xi e I_1(\xi \rho) K_1(\xi e) - 2(1 - \nu_1) I_1(\xi \rho) K_0(\xi e) - \xi \rho K_0(\xi e) I_0(\xi \rho) \} G(\rho) d(\rho) \tag{36}$$

$$A_1(\xi) \left[ -\xi I_0(\xi e) + \frac{I_0(\xi e)}{e} \right] + \xi B_1(\xi)[(2\nu_1 - 1)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)] - C_1(\xi) \left[ -\xi K_0(\xi e) + \frac{K_1(\xi e)}{e} \right] + \xi D_1(\xi)[(1 - 2\nu_1)K_0(\xi e) - \xi e K_1(\xi e)] - A_2(\xi) \left[ -\xi I_0(\xi e) + \frac{I_1(\xi e)}{e} \right] - \xi B_2(\xi)[(2\nu_2 - 1)I_0(\xi e) - \xi e I_1(\xi e)] - C_2(\xi) \left[ \xi K_0(\xi e) + \frac{K_1(\xi e)}{e} \right] - \xi D_2(\xi)[(1 - 2\nu_2)K_0(\xi e) - \xi e K_1(\xi e)] = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{ [2(\nu_1 - 1) - (\xi e)^2] I_1(\xi \rho) K_1(\xi e) - \xi e I_1(\xi \rho) K_0(\xi e) + (\xi \rho) K_1(\xi e) I_0(\xi \rho) + \xi^2 \rho e K_0(\xi e) I_0(\xi \rho) \} G(\rho) d(\rho) \tag{37}$$

$$A_1(\xi) I_1(\xi e) + B_1(\xi)[2(1 - \nu_1) I_1(\xi e) + \xi e I_0(\xi e)] - C_1(\xi) K_1(\xi e) + D_1(\xi)[2(1 - \nu_1) K_1(\xi e)] + D_1(\xi)[- \xi e K_0(\xi e)] - A_2(\xi) I_1(\xi e) - B_2(\xi)[2(1 - \nu_2) I_1(\xi e) + \xi e I_0(\xi e)] + C_2(\xi) K_2(\xi e) - D_2(\xi)[2(1 - \nu_2) K_2(\xi e) - \xi e K_0(\xi e)] = -\frac{1}{\xi^2} \frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_c^d \rho \{ \xi \rho K_1(\xi e) I_0(\xi \rho) - \xi \rho e K_0(\xi e) I_1(\xi \rho) \} G(\rho) d(\rho) \tag{38}$$

Now, substituting  $A_i(\xi)$ ,  $B_i(\xi)$ ,  $C_i(\xi)$ ,  $D_i(\xi)$ ,  $E(\lambda)$  and  $F(\lambda)$  given by Eqs. (31)-(38) into the condition Eq. (10), one may obtain the following singular integral equation for  $G(\rho)$ :

$$\frac{1}{\pi} \int_c^d G(\rho) \left\{ \frac{1}{\rho-r} + K(\rho, r) \right\} d\rho = -\frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} f(r) \quad c < r < d \tag{39}$$

The kernel  $K(\rho, r)$  in Eq. (39) is

$$K(\rho, r) = \frac{M(\rho, r)-1}{\rho-r} + \frac{M(\rho, r)}{\rho-r} - 2\rho L(\rho, r) \tag{40}$$

$$M(\rho, r) = \begin{cases} E\left(\frac{r}{\rho}\right) & \rho > r \\ \frac{r}{\rho} E\left(\frac{\rho}{r}\right) + \frac{\rho^2 - r^2}{\rho r} K\left(\frac{\rho}{r}\right) & \rho < r \end{cases} \quad (41)$$

$$L(\rho, r) = \int_0^{\infty} \frac{\xi}{\Delta} \left\{ (\sum_{i=1}^6 z_i a_i) I_0(\xi r) + (\sum_{i=1}^6 z_i b_i) [2(2 - \nu_1) I_0(\xi r) + \xi r I_1(\xi r)] + (\sum_{i=1}^6 z_i c_i) K_0(\xi r) + (\sum_{i=1}^6 z_i d_i) [-2(2 - \nu_1) K_0(\xi r) + \xi r K_1(\xi r)] \right\} d\xi \quad (42)$$

K and E are the complete elliptic integrals of the first and second kind in Eq. (41), respectively.  $\Delta, a_i, b_i, c_i, d_i, z_i (i = 1, \dots, 6)$  in Eq. (42) are described in Appendix A. The singular integral equation given by Eq. (39) has a simple Cauchy type singularity. From Eq. (14), Eq. (39) must be solved under the following single-valuedness condition

$$\int_c^d G(\rho) d\rho = 0. \quad (43)$$

### 3. Solution of the Integral Equation

#### 3.1. Internal Crack Case

Referring to Fig. 1, if the crack is not opened, i.e.,  $a < c$  and  $d < e$ , the kernel function is always finite. In this case, integral equation is solved by certain numerical methods (Erdol and Erdogan, 1978; Erdogan and Gupta, 1972). For this purpose, the normalized quantities are defined in Eq. (44).

$$\rho = \frac{d-c}{2} \tau + \frac{d+c}{2}, \quad r = \frac{d-c}{2} z + \frac{d+c}{2} \quad (44)$$

The singular integral equation in Eq. (39) and the single-valuedness condition Eq. (43) become as

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \phi(\tau) \left\{ \frac{1}{\tau-z} + K(\tau, z) \right\} d\tau = -\frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} f(z) \quad (-1 < \tau < 1) \quad (45)$$

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \phi(\tau) d\tau = 0 \quad (46)$$

where

$$K(\tau, z) = \frac{d-c}{2} K(\rho, r) \quad (47)$$

In this case, the index of the integral equation is (+1), thus, the solution may be expressed as (Erdogan and Gupta, 1972),

$$\phi(\tau) = G(\tau) (1 - \tau^2)^{-\frac{1}{2}} \quad (-1 < \tau < 1) \quad (48)$$

$G(\tau)$  in Eq. (48) is bounded in the closed interval  $(-1 \leq \tau \leq 1)$ . Then, using Gauss-Chebyshev integration equality (Erdogan and Gupta, 1972), Eqs. (45)-(46) are replaced by:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left\{ \frac{1}{\tau_i - z_k} + K(\tau_i - z_k) \right\} G(\tau_i) = -\frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} f(z_k) \quad (k = 1, \dots, n-1) \quad (49)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\pi}{n} G(\tau_i) = 0 \quad (50)$$

where

$$\tau_i = \text{Cos} \left( \frac{2i-1}{2n} \pi \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (51)$$

$$z_k = \text{Cos} \frac{k}{n} \pi \quad k = 1, \dots, n-1 \quad (52)$$

Here, Eqs. (49) - (50) are solved. Then, stress-intensity factors are calculated by

$$k_c = \lim_{r \rightarrow c} \sqrt{2(c-r)} \sigma_{z_1}(r, 0) = \frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \sqrt{\frac{d-c}{2}} G(-1) \quad (53)$$

$$k_d = \lim_{r \rightarrow d} \sqrt{2(r-d)} \sigma_{z_1}(r, 0) = -\frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \sqrt{\frac{d-c}{2}} G(+1) \quad (54)$$

By using the interpolation formulas (Krenk, 1975),  $G(-1)$  and  $G(+1)$  are obtained from  $G(\tau_i) (i = 1, \dots, N)$ . These stress intensity factors are normalized as  $K_d = k_d / (\sigma_1 \sqrt{(d-c)/2})$  and  $K_c = k_c / (\sigma_1 \sqrt{(d-c)/2})$ .

#### 3.2. Internal Edge Crack Case

In this specific case, the kernel  $L(\rho, r)$  has also point singularities at  $\rho = a$  and  $r = a$ . Singular terms in the kernel of integral equation may be obtained as following form:

$$K_s(\rho, r) = \int_0^\infty \frac{1}{2\sqrt{\rho r}} e - \xi(\rho + r - 2a) \{ 2\xi^2(\rho - a)(r - a) + \xi[-3(\rho - a) - (r - a) + 2] \} d\xi \quad (55)$$

If the singular terms are replaced by their closed-form integrals, the singularities in the kernels are removed. The closed-form integral of the above expression is:

$$K_k(\rho, r) = \frac{1}{2\sqrt{\rho r}} \left\{ -\frac{1}{\rho+r-2a} + \frac{6(r-a)}{(\rho+r-2a)^2} - \frac{4(r-a)^2}{(\rho+r-2a)^3} \right\} \quad (56)$$

The kernel  $K_1(\rho, r)$  may be designed as the total of three pieces as

$$K_1(\rho, r) = K_1(\rho, r) - K_s(\rho, r) + K_k(\rho, r) \quad (57)$$

Defining normalized variables in the following,

$$\rho = (d - a)\tau + a \quad 0 < \tau < 1 \quad (58)$$

$$r = (d - a)z + a \quad 0 < z < 1 \quad (59)$$

the integral Eq. (31) becomes

$$\frac{1}{\pi} \int_0^1 \left[ \frac{1}{\tau-z} + (d-a)K_1(\tau, z) \right] \phi(\tau) d\tau = -\frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} \sigma_1 \quad 0 < \tau < 1 \quad (60)$$

where,

$$\phi(\tau) = g(\tau)(1 - \tau)^{-\frac{1}{2}} \quad (61)$$

Using the technique described by Gupta and Erdogan (1974) and using the Gauss-Chebyshev integration formula (Erdogan and Gupta 1972), Eq. (60) is re-arranged in the form

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2n+1} \left[ \frac{1}{\tau_i - z_k} + (d-a)K_1(\tau_i, z_k) \right] g(\tau_i) = -\frac{2(1-\sigma_1^2)}{E_1} \sigma_1 \quad (k = 1, \dots, n) \quad (62)$$

where,

$$\tau_i = \text{Cos} \left( \frac{2i-1}{4n+2} \pi \right) \quad (i = 1, \dots, n) \quad (63)$$

$$z_k = \text{Cos} \left( \frac{k}{2n+1} \pi \right) \quad (k = 1, \dots, n) \quad (64)$$

The stress-intensity factor for the internal edge crack case may be given by

$$k_d = \lim_{\rho \rightarrow d} \sqrt{2(\rho - d)} \sigma_{z_1}(r, 0) = -\frac{E_1}{2(1-\nu_1^2)} \sqrt{(d-a)} g(1) \quad (65)$$

where  $g(1)$  is defined Gupta and Erdogan (1974) by

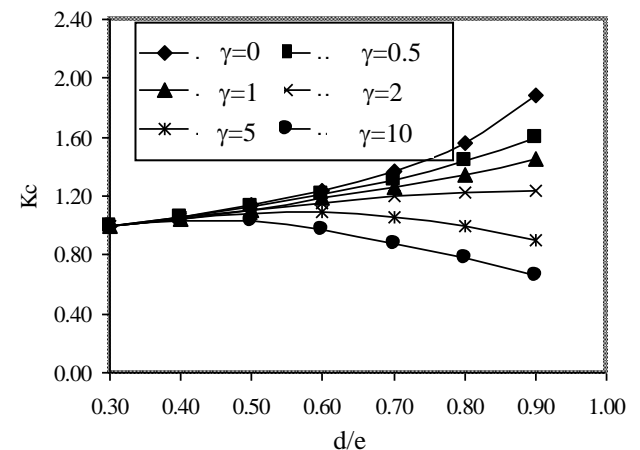
$$g(1) = \frac{2}{2n+1} \sum_{j=1}^n \text{Cot} \left[ \frac{2j-1}{2(2n+1)} \pi \right] \text{Sin} \left[ (2j-1) \frac{\pi}{2n+1} \right] g(\tau_j) \quad (66)$$

The stress intensity factor ( $k_d$ ) is given in the normalized form as  $K_d = k_d / (\sigma_1 \sqrt{d-a})$ .

### 4. Results and Discussion

The numerical solutions are obtained for a uniform axial tension load applied at  $z = 0$  plane of symmetry. Stress intensity factors at crack tips depending on the ratio of elastic constants and various geometric dimensionless quantities are obtained. The effect of geometric parameters on the stress-intensity factors has been investigated for two different crack cases. The results are presented in Tables 1-4 and Figs. 2-8.

Figs. 2 to 5 show the variation of the normalized stress-intensity factors with increasing crack length ( $d/e$ ) for the internal crack case. When the crack lengths are getting smaller, the values of  $K_c$  and  $K_d$  approach the unity. This is expected since the problem reduces to that of a finite crack in an infinite medium when the ratio  $\{[(d-c)/e] = 1 \times 10^{-6}\}$  is small enough.



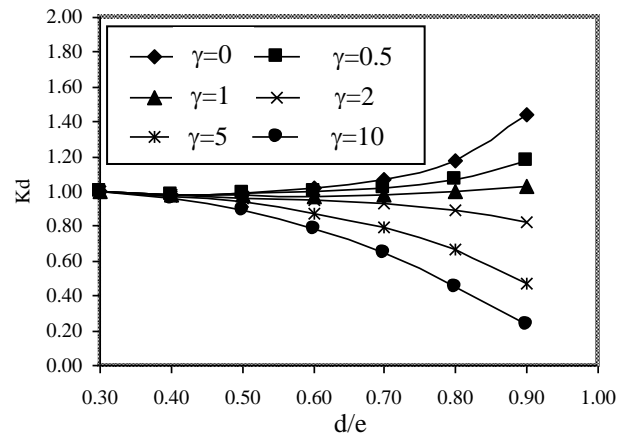
**Fig. 2.** Variation of normalized  $K_c$  with crack length ( $d/e$ ) for an internal crack

$$\begin{aligned} & (a/e = 0.1, c/e = 0.2, b/e = 1.5, \gamma \\ & = E_2(1 + \nu_1)/E_1(1 + \nu_2), K_c \\ & = k_c / (P_0 \sqrt{(d-c)/2}) \end{aligned}$$



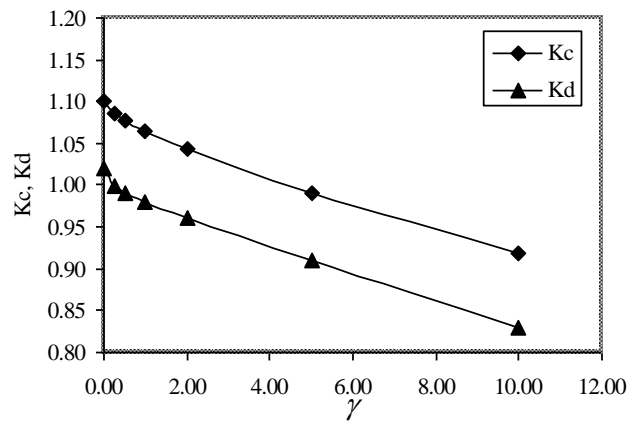
It may be seen in Tables 1 and 2 and Figs. 2 to 6 that  $K_c$  is always bigger than  $K_d$ . In case the stiffness of the inner pipe is greater than that of the outer one ( $\gamma \leq 1$ ), the values of the stress intensity factors at the crack tips also increase with increasing crack width. On the other hand, in case the stiffness of the inner pipe is smaller than that of the outer one ( $\gamma > 1$ ), the values of the stress intensity factors at the crack tips gradually decrease with increasing the crack length as seen in Figs. 2 and 3.

Another observation is that for a certain rate of shear moduli, the values of the stress intensity factors at the crack tips increase with decreasing of the thickness of the inner and outer pipes both. The values of the stress intensity factors decrease at the crack tips for the internal crack case and approach a constant asymptotic value as shown in Fig. 6. These results are also presented in Tables 1 and 2 for various  $\gamma$  and (b/e) values.

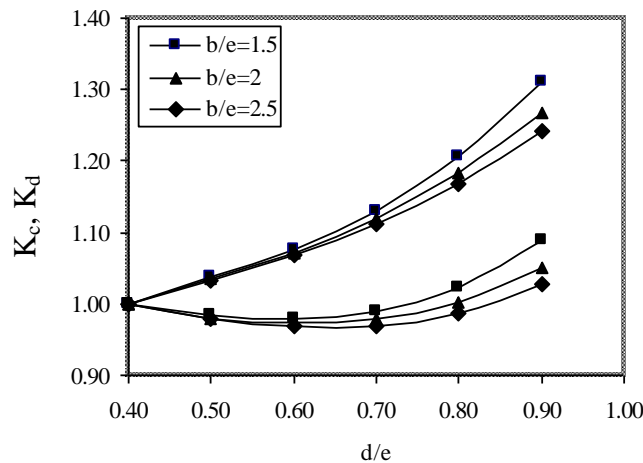


**Fig. 3.** Variation of normalized  $K_d$  with crack length ( $d/e$ ) for an internal crack

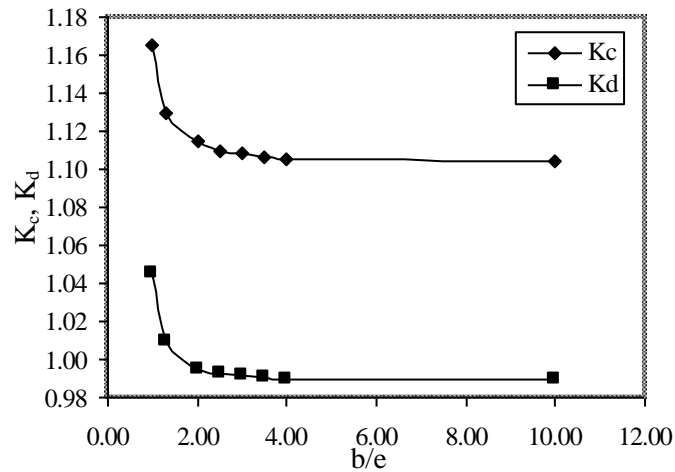
$$\left( a/e = 0.1, c/e = 0.2, b/e = 1.5, \gamma = E_2(1 + \nu_1)/E_1(1 + \nu_2), K_d = k_d / (P_0 \sqrt{(d - c)/2}) \right)$$



**Fig. 4.** Variation of normalized  $K_c, K_d$  with ' $\gamma$ ' for an internal crack ( $a/e = 0.2, c/e = 0.5, d/e = 0.7, b/e = 2, \gamma = E_2(1 + \nu_1)/E_1(1 + \nu_2), K_c = k_c / (P_0 \sqrt{(d - c)/2}), K_d = k_d / (P_0 \sqrt{(d - c)/2})$ )



**Fig. 5.** Variation of normalized  $K_c, K_d$  with crack length ( $d/e$ ) for an internal crack ( $a/e = 0.1, c/e = 0.4, \gamma = 0.5, K_c = k_c / (P_0 \sqrt{(d - c)/2}), K_d = k_d / (P_0 \sqrt{(d - c)/2})$ )



**Fig. 6.** Variation of normalized  $K_c, K_d$  with ‘b/e’ for an internal crack  
 $(a/e = 0.2, c/e = 0.5, \gamma = 0.5, K_c = k_c / (P_0 \sqrt{(d - c)/2}), K_d = k_d / (P_0 \sqrt{(d - c)/2}))$

**Table 1.** Normalized values of  $K_c, K_d$  for an internal crack  
 $(a/e = 0.1, c/e = 0.3, b/e = 0.2, \nu_1 = \nu_2 = 0.2)$

d/e	$\gamma = 0$		$\gamma = 0.5$		$\gamma = 1$		$\gamma = 2$		$\gamma = 5$	
	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$
0.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.4	0.9781	1.0473	0.9759	1.0450	0.9728	1.0417	0.9748	1.0437	0.9739	1.0468
0.5	0.9788	1.1090	0.9685	1.0976	0.9537	1.0814	0.9629	1.0914	0.9415	1.0824
0.6	1.0008	1.1899	0.9727	1.1579	0.9325	1.1134	0.9573	1.1406	0.8864	1.0873
0.7	1.0529	1.3017	0.9901	1.2291	0.9025	1.1333	0.9559	1.1912	0.7987	1.0544
0.8	1.1584	1.4677	1.0275	1.3176	0.8553	1.1373	0.9584	1.2436	0.6678	0.9871
0.9	1.4031	1.7456	1.1081	1.4358	0.7704	1.1224	0.9648	1.2988	0.4721	0.9029

**Table 2.** Normalized values of  $K_c, K_d$  for an internal crack  
 $(a/e = 0.1, c/e = 0.3, \gamma = 0.2, \nu_1 = \nu_2 = 0.2)$

d/e	$b/e = 1.5$		$b/e = 2$		$b/e = 4$		$b/e = 5$		$b/e = 10$	
	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$	$K_d$	$K_c$
0.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.4	0.9735	1.0424	0.9728	1.0417	0.9725	1.0413	0.9725	1.0413	0.9725	1.0413
0.5	0.9569	1.0850	0.9537	1.0814	0.9521	1.0796	0.9521	1.0795	0.9520	1.0795
0.6	0.9406	1.2229	0.9325	1.1134	0.9285	1.1087	0.9283	1.1085	0.9282	1.1084
0.7	0.9185	1.1526	0.9025	1.1333	0.8949	1.1239	0.8946	1.1236	0.8945	1.1234
0.8	0.8819	1.1706	0.8553	1.1373	0.8431	1.1217	0.8427	1.1211	0.8424	1.1207
0.9	0.8088	1.1728	0.7704	1.2224	0.7540	1.0995	0.7534	1.0986	0.7530	1.0981

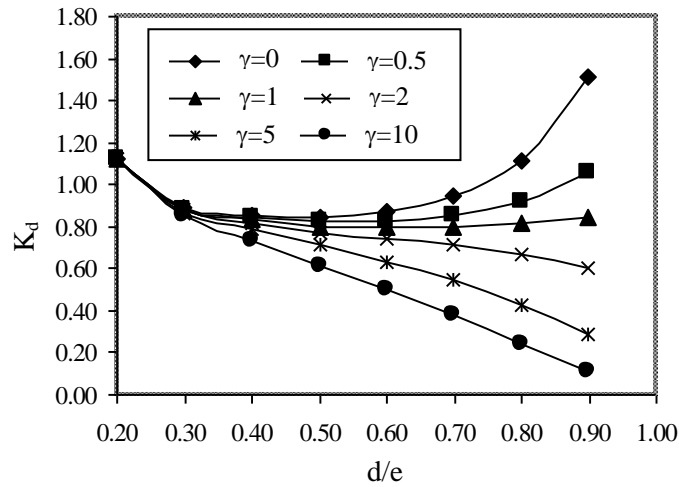
Figs. 7 to 9 and Tables 3 and 4 show the variation of normalized stress-intensity factors ( $K_d$ ) with increasing the crack length ( $d/e$ ) for the internal edge crack. As crack length decreases, the stress intensity factors at the crack tip approach a certain limit value. For a very small crack ratio  $\{(d - c)/e\} = 1 \times 10^{-6}$ , the limit value is obtained as 1.12. In case the stiffness of the inner pipe is greater than that of the outer pipe ( $\gamma \leq 1$ ), the

value of the stress intensity factor at the crack tips increase with increasing the crack length. Whereas, in case the stiffness of the inner pipe is smaller than that of the outer pipe ( $\gamma > 1$ ), the stress intensity factor at the crack tips decreases with increasing the crack length as seen in Fig. 7.

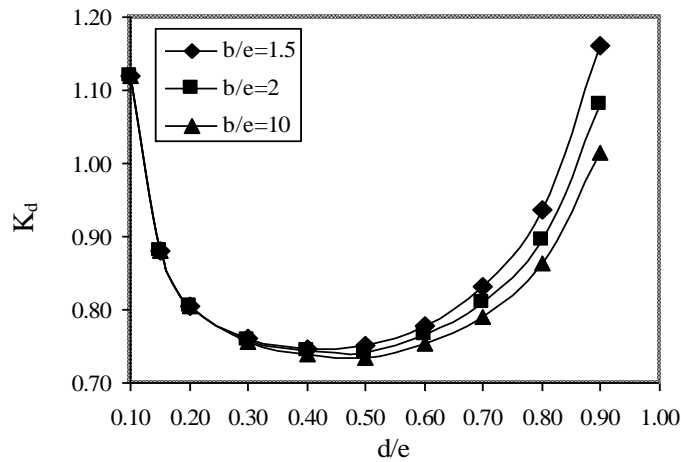
Stress intensity factors at crack tips increase when the stiffness of the outer pipe is greater than that

of the inner pipe. For a certain rate of shear moduli, with increasing the thickness of the outer pipe, the stress intensity factors decrease and

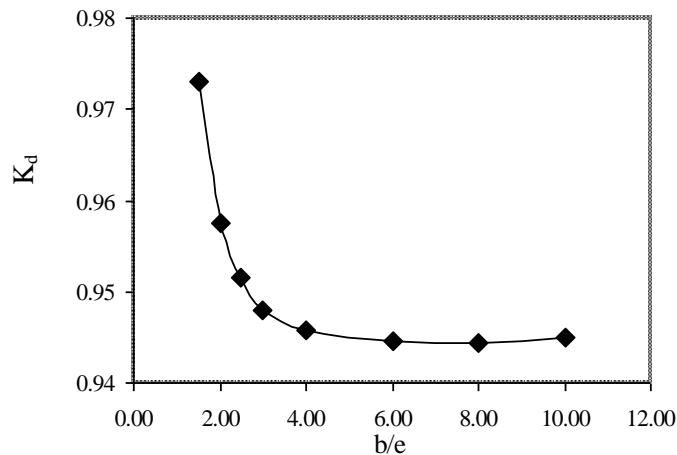
approach a constant asymptotic value as seen in Fig. 9.



**Fig. 7.** Variation of normalized stress-intensity factors ( $K_d$ ) with crack length ( $d/e$ ) for an internal edge crack ( $a/e = 0.2, b/e = 1.5, \nu_1 = \nu_2 = 0.2, \gamma = E_2(1 + \nu_1)/E_1(1 + \nu_2), K_d = k_d / (P_0\sqrt{(d - c)/2})$ )



**Fig. 8.** Variation of normalized stress-intensity factors ( $K_d$ ) with crack length ( $d/e$ ) for an internal edge crack ( $a/e = 0.1, b/e = 1.5, \gamma = 0.25, K_d = k_d / (P_0\sqrt{(d - c)/2})$ )



**Fig. 9.** Variation of normalized stress-intensity factors ( $K_d$ ) with ( $b/e$ ) for an internal edge crack ( $a/e = 0.4, d/e = 0.7, \gamma = 0.25, \nu_1 = \nu_2 = 0.2, K_d = k_d / (P_0\sqrt{(d - c)/2})$ )

**Table 3.** Values of  $K_d$  for an internal edge crack ( $a/e = 0.1, b/e = 2, \nu_1 = \nu_2 = 0.2$ )

d/e	$\gamma = 0$	$\gamma = 0.25$	$\gamma = 0.5$	$\gamma = 1$	$\gamma = 2$	$\gamma = 10$
	$K_d$	$K_d$	$K_d$	$K_d$	$K_d$	$K_d$
0.1	1.1215	1.1215	1.1215	1.1215	1.1215	1.1215
0.2	0.8072	0.8066	0.8061	0.8054	0.8041	0.7945
0.3	0.7636	0.7603	0.7582	0.7551	0.7499	0.7136
0.4	0.7512	0.7422	0.7367	0.7287	0.7159	0.6340
0.5	0.7637	0.7441	0.7325	0.7159	0.6902	0.5448
0.6	0.8031	0.7644	0.7421	0.7110	0.6645	0.4439
0.7	0.8835	0.8085	0.7672	0.7117	0.6332	0.3342
0.8	1.0461	0.8935	0.8157	0.7170	0.5892	0.2181
0.9	1.4442	1.0741	0.9124	0.7269	0.5182	0.1003

**Table 4.** Values of  $K_d$  for an internal edge crack ( $a/e = 0.3, \gamma = 2, \nu_1 = \nu_2 = 0.2$ )

d/e	$b/e = 1.5$	$b/e = 2$	$b/e = 4$	$b/e = 5$	$b/e = 10$
	$K_d$	$K_d$	$K_d$	$K_d$	$K_d$
0.3	1.1215	1.1215	1.1215	1.1215	1.1215
0.4	0.9077	0.9054	0.9044	0.9043	0.9043
0.5	0.8496	0.8420	0.8385	0.8384	0.8383
0.6	0.7968	0.7819	0.7750	0.7747	0.7746
0.7	0.7503	0.7262	0.7152	0.7147	0.7145
0.8	0.6980	0.6636	0.6484	0.6478	0.6475
0.9	0.6196	0.5764	0.5576	0.5576	0.5573

**4. Conclusion**

The elastostatic axisymmetric problem for long nested thick-walled cylinders with two different crack cases under uniform axial load is presented. It is determined that the stress-intensity factors vary according to the crack length, shear moduli and the rigidity of the inner and outer pipes. The values of the stress intensity factors decrease at the crack tips for the internal crack case and these values approach a constant asymptotic value. Note that, if the edge crack starts from the wall which is under tension, the stress intensity factor is always positive and decreases as the crack length increases. For a certain rate of shear moduli, with increasing the thickness of the outer pipe, the stress intensity factors decrease and approach a constant asymptotic value for the internal edge crack case.

**References**

Altundag Artem, H.S. and Gecit, M.R. 2002. An elastic hollow cylinder under axial tension containing a crack and two rigid inclusions of ring shape. *Computers and Structures*, 80, 27-30, 2277-2287.

Aydin, L. and Altundag Artem, H.S. 2008. Axisymmetric crack problem of thick-walled cylinder with loadings on crack surfaces.

Engineering Fracture Mechanics, 75, 6, 1294-1309.

Birinci, A. 2002. Axisymmetric crack problem of a thick-walled cylinder with cladding. *International Journal of Engineering Science*, 40, 1729-1750.

Birinci, A., Ozsahin, T.S. and Erdol, R. 2006. Axisymmetric circumferential internal crack problem of a thick-walled cylinder with inner and outer claddings. *European Journal of Mechanics- A/Solids*, 25, 5, 764-777.

Erdelyi, A.1953. *Tables of Integral Transform*, McGraw Hill, New York, USA.

Erdogan, F. and Gupta, G. D. 1972. On the numerical solution of singular integral equations. *Quarterly of Applied Mathematics*, 30, 533-547.

Erdogan, F. and Ratwani, M. 1972. Fracture of cylindrical and spherical shells containing a crack. *Nuclear Engineering and Design*, 20, 265-286.

Erdol, R. and Erdogan, F. 1978. A thick-walled cylinder with an axisymmetric internal or edge crack. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 281-286.

Gecit, M. R. 1986. Axisymmetric contact problem for a semi-infinite cylinder and a half space. *International Journal of Engineering Science*, 24(8), 1245-1256.

- Gupta, G. D. 1974. The analysis of the semi-infinite cylinder problem. *International Journal of Solids and Structures*, 10, 137-148.
- Gupta, G. D. and Erdogan, F. 1974. The problem of edge cracks in an infinite strip. *Journal of Applied Mechanics*, 41, 1001-1006.
- Krenk, S. 1975. A note on the use of the interpolation polynomial for solutions of singular integral equations. *Quarterly of Applied Mathematics*, 32, 479-485.
- Muskhelishvili, N.I. 1958. *Singular Integral Equations*, Noordhoff Publishing, Leiden, Netherland.
- Nied, H. F. and Erdogan, F. 1983. The elasticity problem for a thick-walled cylinder containing a circumferential crack. *International Journal of Fracture*, 22, 277-301.
- Sneddon, L. N. and Welch, J. Y. 1963. A note on the distribution of stress in a cylinder containing a penny-shaped crack. *International Journal of Engineering Science*, 1, 411-419.
- Sneddon, L.N. and Tait, R. J. 1963. The effect of a penny shaped crack on distribution of stress in a long circular cylinder. *International Journal of Engineering Science*, 1, 391-409.
- Toygar, M.E. and Gecit, M.R. 2006. Crack infinite cylinder with two rigid inclusions under axisymmetric tension. *International Journal of Solids and Structures*, 43, 16, 4777-4794.

**APPENDIX A**

$$\gamma = \frac{E_2(1 + \nu_1)}{E_1(1 + \nu_2)}$$

$$m^* = -\frac{1}{\xi^2} \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{E_1}{2(1 - \nu_1^2)}}$$

$$z_1 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ \xi^2 a \rho I_0(\xi a) K_0(\xi \rho) - [2(1 - \nu_1) + \xi^2 a^2] I_1(\xi a) K_1(\xi \rho) + \xi a I_0 K_1(\xi \rho) - \xi \rho I_1(\xi a) K_0(\xi \rho) \} d\rho$$

$$z_2 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ \xi a I_0(\xi a) K_1(\xi \rho) - \xi \rho I_1(\xi a) K_0(\xi \rho) \} d\rho$$

$$z_3 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ 2(1 - \nu_1) K_1(\xi e) I_1(\xi \rho) + \xi e K_0(\xi e) I_1(\xi \rho) - \xi \rho K_1(\xi e) I_0(\xi \rho) \} d\rho$$

$$z_4 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ 2(1 - \nu_1) K_0(\xi e) I_1(\xi \rho) - \xi e K_0(\xi e) I_0(\xi \rho) + \xi \rho K_1(\xi e) I_1(\xi \rho) \} d\rho$$

$$z_5 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ \xi^2 e \rho K_0(\xi e) I_0(\xi \rho) - [2(1 - \nu_1) + \xi^2 e^2] K_1(\xi e) I_1(\xi \rho) - \xi e K_0(\xi e) I_1(\xi \rho) + \xi \rho K_1(\xi e) I_0(\xi \rho) \} d\rho$$

$$z_6 = m^* \int_c^d \rho G(\rho) \{ -\xi e K_0(\xi e) I_1(\xi \rho) + \xi \rho K_1(\xi e) I_0(\xi \rho) \} d\rho$$

$$a_i = \{ \{ 2(1 - \nu_1) [K_1(\xi a) I_1(\xi a) + \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2 \} c_i + \xi a y_1 \{ (\xi a)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_1) \} d_i + \{ 2(1 - \nu_1) I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a) \} \delta_{i1} \Delta + \{ (1 - 2\nu_1) \xi a I_0(\xi a) + (\xi a)^2 I_1(\xi a) \} \delta_{i2} \Delta \} / y_7$$

$$b_i = \{ -\xi a y_1 c_i - \{ 2(1 - \nu_1) [K_1(\xi a) I_1(\xi a) - \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2 \} d_i - I_1(\xi a) \delta_{i1} \Delta - [I_1(\xi a) - (\xi a) I_0(\xi a)] \delta_{i2} \Delta \} / y_7$$

$$c_i = \{ m^2 \alpha_1 (-x_{31} y_{i1} + x_{42} y_{i2}) - m (\alpha_{17} y_{i1} - \alpha_{18} y_{i2} + \alpha_{19} y_{i3} - \alpha_{20} y_{i4}) + \alpha_6 (-x_{12} y_{i3} + x_{22} y_{i4}) \} (\delta_{i1} + \delta_{i2}) - y_7 \{ (m \alpha_{20} + x_{22} \alpha_6) \delta_{i3} - (m \alpha_{19} + x_{12} \alpha_6) \delta_{i4} + m (m x_{42} \alpha_1 + \alpha_{18}) \delta_{i5} - m (m x_{32} \alpha_1 + \alpha_{17}) \delta_{i6} \}$$

$$d_i = \{m^2 \alpha_1(x_{31}y_{i1} - x_{41}y_{i2}) + m(\alpha_{13}y_{i1} - \alpha_{14}y_{i2} + \alpha_{15}y_{i3} - \alpha_{16}y_{i4}) + \alpha_6(x_{11}y_{i3} - x_{21}y_{i4})\}(\delta_{i1} + \delta_{i2}) - \{y_7(m\alpha_{16} + x_{21}\alpha_6)\delta_{i3} - (m\alpha_{15} + x_1\alpha_6)\delta_{i4} + m(mx_{41}\alpha_1 + \alpha_{14})\delta_{i5} - m(mx_{31}\alpha_1 + \alpha_{13})\delta_{i6}\} \quad (i = 1, \dots, 6)$$

$$\Delta = -m^2 \alpha_{11} \alpha_1 + m(-\alpha_5 \alpha_8 + \alpha_3 \alpha_{10} + \alpha_4 \alpha_7 - \alpha_9 \alpha_2) - \alpha_6 \alpha_{12}$$

$$y_1 = I_0(\xi a)K_1(\xi a) + I_1(\xi a)K_0(\xi a)$$

$$y_2 = I_0(\xi a)K_0(\xi a) + I_1(\xi a)K_1(\xi a)$$

$$y_3 = K_0(\xi b)I_1(\xi b) + I_0(\xi b)K_1(\xi b)$$

$$y_4 = I_0(\xi b)K_0(\xi b) + I_1(\xi b)K_1(\xi b)$$

$$y_5 = I_1(\xi e) - \xi e I_0(\xi e)$$

$$y_6 = K_1(\xi e) + \xi e K_0(\xi e)$$

$$y_7 = (\xi a)^2 [I_1(\xi a)^2 - I_0(\xi a)^2] + 2(1 - \nu_1)I_1(\xi a)^2$$

$$y_8 = (\xi b)^2 [I_1(\xi b)^2 - I_0(\xi b)^2] + 2(1 - \nu_2)I_1(\xi b)^2$$

$$y_{11} = I_1(\xi e)\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a)\} - I_1(\xi a)\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi e) + \xi e I_0(\xi e)\}$$

$$y_{12} = y_5\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a)\} - I_1(\xi a)\{2(\nu_1 - 1)\xi e I_0(\xi e) - (\xi e)^2 I_1(\xi e)\}$$

$$y_{13} = I_0(\xi e)\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a)\} - I_1(\xi a)\{4(1 - \nu_1)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\}$$

$$y_{14} = \xi e I_0(\xi e)I_1(\xi a) - I_1(\xi e)\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi a) + \xi a I_0(\xi a)\}$$

$$y_{21} = I_1(\xi e)\{(1 - 2\nu_1)\xi a I_0(\xi a) + (\xi a)^2 I_1(\xi a)\} + [I_1(\xi a) - (\xi a)I_0(\xi a)]\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi e) + \xi e I_0(\xi e)\}$$

$$y_{22} = y_5\{(1 - 2\nu_1)\xi a I_0(\xi a) + (\xi a)^2 I_1(\xi a)\} + [I_1(\xi a) - (\xi a)I_0(\xi a)]\{(2\nu_1 - 1)\xi e I_0(\xi e) - (\xi e)^2 I_1(\xi e)\}$$

$$y_{23} = I_0(\xi e)\{(1 - 2\nu_1)\xi a I_0(\xi a) + (\xi a)^2 I_1(\xi a)\} + [I_1(\xi a) - (\xi a)I_0(\xi a)]\{4(1 - \nu_1)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\}$$

$$y_{24} = \xi e [I_1(\xi a) - (\xi a)I_0(\xi a)]I_0(\xi e) + I_1(\xi e)\{(1 - 2\nu_1)\xi a I_0(\xi a) + (\xi a)^2 I_1(\xi a)\}$$

$$x_{11} = -I_1(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) + \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\} + \xi^2 e a y_1 I_0(\xi e) + y_7 K_1(\xi e)$$

$$x_{12} = -\xi a y_1 I_1(\xi e)\{(\xi a)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_1)\} + \xi e I_0(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) - \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\}$$

$$x_{13} = I_1(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) + \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\} - \xi^2 e b y_3 I_0(\xi e) - y_7 K_1(\xi e)$$

$$x_{14} = -\xi b y_3 I_1(\xi e)\{(\xi b)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_2)\} - \xi e I_0(\xi e)\{2(1 - \nu_2)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) - \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\}$$

$$x_{21} = I_0(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) + \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\} - \xi^2 a y_1 I_0(\xi e) - y_7 K_1(\xi e)$$

$$x_{22} = \{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) - \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\}\{4(1 - \nu_1)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\} + \xi a y_1 I_0(\xi e)\{(\xi a)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_1)\} + K_1(\xi e)\{-4(1 - \nu_1)K_0(\xi e) + \xi e K_1(\xi e)\}$$

$$x_{23} = -I_0(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) + \xi a y_3] + (\xi b)^2 y_4\} + \xi b y_3\{4(1 - \nu_2)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\} - y_8 K_0(\xi e)$$

$$x_{24} = -\xi b y_3 I_0(\xi e)\{(\xi b)^2 - 2(1 - \nu_2)(1 - 2\nu_2)\} + y_8\{4(1 - \nu_2)K_0(\xi e) - \xi e K_1(\xi e)\} + \{2(1 - \nu_2)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) - \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\}\{4(1 - \nu_2)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\}$$

$$x_{31} = y_5\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) + \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\} - \xi^2 e a y_1\{(2\nu_1 - 1)I_0(\xi e) - \xi e I_1(\xi e)\} - y_6 y_7$$

$$x_{32} = \xi a y_1 y_5\{(\xi a)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_1)\} + y_7\{(1 - 2\nu_1)\xi e K_0(\xi e) - (\xi e)^2 K_1(\xi e)\} - \{(2\nu_1 - 1)\xi e I_0(\xi e) - (\xi e)^2 I_1(\xi e)\}\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) - \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\}$$

$$x_{33} = y_6 y_8 - y_5\{2(1 - \nu_2)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) + \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\} - \xi^2 e b y_3\{(1 - 2\nu_2)I_0(\xi e) + \xi e I_1(\xi e)\}$$

$$x_{34} = -\xi b y_3 y_5\{(\xi b)^2 - 2(1 - \nu_2)(1 - 2\nu_2)\} + y_8\{(2\nu_2 - 1)\xi e K_0(\xi e) + (\xi e)^2 K_1(\xi e)\} - \{2(1 - \nu_2)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) - \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\}\{(1 - 2\nu_2)\xi e I_0(\xi e) + (\xi e)^2 I_1(\xi e)\}$$

$$x_{41} = I_1(\xi e)\{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) + \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\} - \xi a\{2(1 - \nu_1)I_1(\xi e) + (\xi e)I_0(\xi e)\} - y_7 K_1(\xi e)$$

$$\begin{aligned}
 x_{42} &= \xi a y_1 I_1(\xi e) \{(\xi a)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_1)\} + y_7 \{2(1 - \nu_1)K_1(\xi e) - \xi e K_0(\xi e)\} \\
 &\quad - \{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi a)I_1(\xi a) - \xi a y_1] + (\xi a)^2 y_2\} \{2(1 - \nu_1)I_1(\xi e) + (\xi e)I_1(\xi e)\} \\
 x_{43} &= -I_1(\xi e) \{2(1 - \nu_1)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) + \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\} \\
 &\quad + \xi b y_3 \{2(1 - \nu_2)I_1(\xi e) + (\xi e)I_0(\xi e)\} + y_8 K_1(\xi e) \\
 x_{44} &= -\xi b y_3 I_1(\xi e) \{(\xi b)^2 - 2(1 - \nu_1)(1 - 2\nu_2)\} + y_8 \{-2(1 - \nu_2)K_1(\xi e) + \xi e K_0(\xi e)\} \\
 &\quad + \{2(1 - \nu_2)[K_1(\xi b)I_1(\xi b) - \xi b y_3] + (\xi b)^2 y_4\} \{2(1 - \nu_2)I_1(\xi e) + (\xi e)I_0(\xi e)\} \\
 \alpha_1 &= x_{13}x_{24} - x_{23}x_{14} \quad \alpha_2 = x_{14}x_{22} - x_{12}x_{24} \quad \alpha_3 = x_{12}x_{23} - x_{13}x_{22} \quad \alpha_4 = x_{32}x_{43} - x_{42}x_{33} \\
 \alpha_5 &= x_{34}x_{42} - x_{44}x_{32} \quad \alpha_6 = x_{33}x_{44} - x_{34}x_{43} \quad \alpha_7 = x_{21}x_{14} - x_{11}x_{24} \quad \alpha_8 = x_{11}x_{23} - x_{13}x_{21} \\
 \alpha_9 &= x_{31}x_{43} - x_{41}x_{33} \quad \alpha_{10} = x_{41}x_{34} - x_{31}x_{44} \quad \alpha_{11} = x_{42}x_{31} - x_{41}x_{32} \quad \alpha_{12} = x_{11}x_{22} - x_{21}x_{12} \\
 \alpha_{13} &= x_{33}\alpha_7 + x_{34}\alpha_8 \quad \alpha_{14} = x_{43}\alpha_7 + x_{44}\alpha_8 \quad \alpha_{15} = x_{14}\alpha_9 + x_{13}\alpha_{10} \quad \alpha_{16} = x_{24}\alpha_9 + x_{23}\alpha_{10} \\
 \alpha_{17} &= x_{33}\alpha_2 + x_{34}\alpha_3 \quad \alpha_{18} = x_{43}\alpha_2 + x_{44}\alpha_3 \quad \alpha_{19} = x_{14}\alpha_4 + x_{13}\alpha_5 \quad \alpha_{20} = x_{14}\alpha_4 + x_{23}\alpha_5
 \end{aligned}$$

## Antioxidant and Antibacterial Potencies of *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale and *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. Lichens from Black Sea Region in Turkey

*Türkiye’de Karadeniz Bölgesi’ndeki Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale and *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. Likenlerinin Antioksidan ve Antibakteriyel Potansiyelleri

Zeynep KARAAHMET<sup>a</sup>, Kadir KINALIOĞLU<sup>b</sup>, Sinem AYDIN<sup>\*c</sup>

Giresun University, Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Giresun University, 28100, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 20.10.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 04.01.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2019

### Abstract

Antibacterial properties of *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann and *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale lichens were investigated by disc diffusion and Minimum Inhibitory Concentration (MIC) methods. Antioxidant capacity of the lichens were examined by utilizing 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzenotiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) radical scavenging activity, metal chelating activity, total antioxidant capacity, determination of total phenolic and total flavonoid contents. Extracts showed antibacterial effect against all bacteria except for *Escherichia coli* and *Salmonella enterica*. When compared antibacterial efficiency of the tested lichens, it is concluded that *X. conspersa* lichen is more active than *D. miniatum* lichen. DPPH radical scavenging activity of the extracts are increased in the following order: ethanol extract of *X. conspersa* > acetone extract of *D. miniatum* > ethanol extract of *D. miniatum* > acetone extract of *X. conspersa*. Studied lichen extracts showed relatively weak metal chelating activity. According to the obtained results, it is concluded that *D. miniatum* and *X. conspersa* lichen extracts can be alternative antibacterial and antioxidant agents.

**Keywords:** Antibacterial Activity, Antibiotic, Antioxidant Activity, Lichen

### Öz

*Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann ve *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. Ex. Ach.) Hale likenlerinin antibakteriyel özellikleri disk difüzyon ve Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) yöntemleri ile araştırıldı. Likenlerin antioksidan kapasitesi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal temizleme aktivitesi, 2,2'-Azino-bis (3-etilbenzenotiazolin-6-sülfonik asit (ABTS) radikali temizleme aktivitesi ve metal şelatlama aktivitesi kullanılarak incelenmiştir. Toplam antioksidan kapasite toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriğinin belirlenmesi yöntemleri kullanılarak araştırıldı. Ekstraktlar *Escherichia coli* ve *Salmonella enterica* dışındaki diğer tüm bakterilere karşı antibakteriyel etki göstermiştir. Test edilen likenlerin antibakteriyel etkinliği karşılaştırıldığında, *X. conspersa* likeninin *D. miniatum* likeninden daha aktif olduğu belirlenmiştir. *D. miniatum* liken ekstraktların DPPH radikal temizleme aktiviteleri *X. conspersa*'nın etanol ekstraktı > *D. miniatum*'un aseton ekstraktı > *D. miniatum*'un etanol ekstraktı > *X. conspersa*'nın aseton ekstraktı şeklinde sıralanmıştır. Çalışılan liken ekstraktları oldukça zayıf metal şelatlama aktivitesi göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar *D. miniatum* ve *X. conspersa* liken ekstraktlarının antibakteriyel ve antioksidan ajanlara alternatif olarak kullanılabileceklerini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Antibiyotik, Antibakteriyel Aktivite, Antioksidan Aktivite, Liken

\*c Sinem AYDIN; sinem.aydin@giresun.edu.tr; Tel: (0454) 310 40 11; orcid.org/0000-0002-0484-7191

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-0842-4241

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6564-7778



## 1. Introduction

The outbreak of resistance to pathogenic bacteria to the current antibacterial agents is a very general and threatening trouble around the world. Besides intrinsic ability of bacteria, extrinsic factors cause acquiring resistance of bacteria to antibiotics. These extrinsic factors are using improper and extensive antibiotics and deficiency of appropriate or late diagnosis of infection. Consequently, there is a perpetual demand for brand and effective antibacterial drugs (Rani et al., 2017).

Medicinal plants have been utilized in the treatment of many infectious diseases. Medicinal plants are natural alternatives to antimicrobial agents (Mahesh and Satish, 2008). Antibiotics are occasionally have side effects but using medicinal plants have some benefits like little side effects, relatively cheap and better patient tolerance (Joshi and Sahu, 2014).

Nowadays, there has been a rising demand in utilizing of traditional plants for curative antioxidant agents. An antioxidant can be described as any substance that retards, hinders or eliminates oxidative detriment to a target molecule. Natural antioxidants are known to demonstrate a great deal of biological impacts such as antibacterial, anti-inflammatory, antiviral, antiallergic and anticancer efficiency (Aadesariya et al., 2017).

Recently, most of the antioxidants are produced synthetically. Butylated hydroxyl anisole (BHA), Butylated hydroxyl toluene (BHT) and gallic acid which are synthetic antioxidants are known to possess possible side influence carcinogenicity. Because of this situation, using synthetic antioxidants are restricted. Antioxidant substances derived from plants are reliable and complete the effect of free radicals thus preserving the organism from many different kind of diseases. For this reason, an interest to investigate medicinal plants for the existence of natural antioxidants has risen (Reddey and Grace, 2016).

Lichens are the symbiotic associations including a fungal partner and an algal partner and they are recognize to possess medicinal effects on many illnesses in folk medicine in worldwide (Sharma and Kalikotay, 2012).

Antibacterial and antioxidant properties of lichen species have been recognized for long years. These activities of lichens has been recorded by

several researchers (Rankovic et al., 2010; Buçukoğlu et al., 2013; Sisodia et al., 2013).

Antibacterial and antioxidant activities of acetone and methanol extracts of *Usnea rubratincta*, *Ramalina dumeticola* and *Cladonia verticillata* were investigated and it was found that some extracts inhibited *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*. Moreover, it was found that DPPH activity of the extracts ranged from 16.4 % and 33.09 % (Gunasekaran et al., 2016).

Paudel et al. (2012) searched antioxidant and antibacterial activities of twenty four lichen species. It was found that extracts of twenty one lichen species were active against *Bacillus subtilis* and seven species were active against *Staphylococcus aureus*. Besides, in DPPH assay, *Peltigera* sp., *Cladonia* sp., and *Canoparmelia* sp. exhibited comparable activity with standard antioxidant BHA. However in ABTS assay, extracts of *Parmotermia* sp., *Ramalina* sp., *Peltigera* sp. and *Cladonia* sp. showed stronger activity than standard antioxidant ascorbic acid.

Antioxidant and antimicrobial activities of chloroform, methanol and water extracts of *Cladonia rangiformis* Hoffm. were also screened. Extracts exhibited weak antibacterial activity but no antifungal activity against test microorganisms (Yücel et al., 2007).

*Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann traditionally used in China to reduce high blood pressure, diuretic, inadequate nutrition in children, dysentery, regulation of digestion and elimination of abdominal distension (Crawford, 2015).

The other lichen species that makes up our work is the *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale. It is utilized in the treatment of snake bites, cuts, treatment of inflammatory gingivitis, and treatment of sore throat (Crawford, 2015).

In this study, we targeted to search antibacterial and antioxidant activities of *X. conspersa* and *D. miniatum* lichens.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Lichen Materials

*D. miniatum* and *X. conspersa* specimens used in the study were collected from the following localities which located in Giresun in 2016 (Table 1).

These specimens were dried at room temperature and identified using Smith et al. (2009). A voucher specimens of the lichens (*D. miniatum*: Herb. no: 6396, *X. conspersa* Herb. no: 6397) were kept in the Biology Department, Faculty of Science and Arts, Giresun University, Giresun, Turkey.

**Table 1.** Localities where lichens are collected

<i>D. miniatum</i>	Giresun, E of Giresun Castle, 110 m, 40°55'13" N, 38°23'25 E", 12.03.2006.
<i>X. conspersa</i>	Giresun, Keşap, Değirmenağzı village, sea shore, 2 m, 40°58'23" N, 38°37'29 E", 19.06.2015.

**Table 2.** Bacteria which used in the study.

Bacteria	Gram (+) Bacteria / Gram (-) Bacteria	Where obtained from
<i>Salmonella enterica</i> ATCC 14028	Gram (-)	Giresun Province Control Laboratory
<i>Proteus vulgaris</i> FMC 1	Gram (-)	Firat University
<i>Enterobacter aerogenes</i> CCM 2531	Gram (-)	Firat University
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i> ATCC 911	Gram (-)	Rize University
<i>Escherichia coli</i> ATCC 35218	Gram (-)	Giresun University
<i>Klebsiella pneumoniae</i> (laboratory isolate)	Gram (-)	Yeditepe University
<i>Gordonia rubripertincta</i> (lab isolate)	Gram (+)	Yeditepe University
<i>Bacillus megaterium</i> (laboratory isolate)	Gram (+)	Yeditepe University
<i>Staphylococcus aureus</i> subsp. aureus ATCC 25923	Gram (+)	Giresun Province Control Laboratory
<i>Bacillus cereus</i> 702 ROMA	Gram (+)	Firat University
<i>Bacillus cereus</i> 702 ROMA	Gram (+)	Rize University

#### 2.4. Antibacterial Activity of the Lichens

On Mueller-Hinton agar each bacterial inoculum was swab streaked that has been formerly arranged by inoculating bacterial strains into nutrient broth with overnight incubation. Crude extracts were dissolved with DMSO at 15 mg/mL. Then, they were sterilized by using 0.45 µm pore sized filter. The discs were put into agar plates and filled with 25 µL ethanol extract of *D. miniatum*, 25 µL acetone extract of *D. miniatum*, 25 µL ethanol extract of *X. conspersa*, 25 µL acetone extract of *X. conspersa* and 25 µL DMSO. Tetracycline and gentamycin discs were utilized as standard antibacterial agents. Plates were then incubated for 24 h at 37 °C. The clear zone of inhibition was observed and measured in mm (Murray et al., 1995; Šarić et al., 2009).

#### 2.5. Determination of MIC

The MIC was defined by the broth tube dilution method (NCCLS, 1993). A series of dilutions with concentrations ranging from 15 to 0.02929 mg/mL for extracts was utilized in the assay against each microorganism tested. Extracts

#### 2.2. Test Microorganisms

Six gram negative and five gram positive bacteria were utilized in the current study.

#### 2.3. Extract Preparation

15 g of the powdered sample were extracted with Soxhlet apparatus utilizing 150 mL acetone and ethanol solvents, separately. The extraction process followed by filtration with Whatman filter paper no 1. The filtered extract concentrated in vacuo at 40°C using a rotary evaporator. Extracts were kept at -80°C for other tests (Kumar et al., 2012).

dissolved in DMSO. Two-fold dilutions of extracts were prepared in Mueller-Hinton broth in test tubes (Marijana et al., 2010).

#### 2.6. Antioxidant Capacity of *X. conspersa* and *D. miniatum*

##### 2.6.1. Total Phenolic Content

Total phenolic content of lichen extracts was determined by the procedure of Slinkard and Singleton (1977) using gallic acid standard. The absorbance was measured at 760 nm. The quantity of the total phenolic compounds was denoted as µg gallic acid equivalent (GAE)/mL. The tests were carried out three times. The tests were carried out three times.

##### 2.6.2. Total Flavonoid Content

Total flavonoid content of lichen extracts was determined by the method of Zhishen et al. (1999). Absorbance was read spectrometrically at 510 nm. The amount of total flavonoid compounds was calculated as µg catechin

equivalent (CE)/mL. The tests were carried out three times.

### 2.6.3. Metal Chelating Activity

Lichen extracts and standard (EDTA) were prepared at concentrations of 250-1000 µg/mL. The absorbance was measured at 562 nm (Loizzo et al., 2012). Results are calculated from the following equation:

$$\% \text{ Activity: } \left[ \frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \times 100 \quad (1)$$

A<sub>0</sub>=Absorbance of control

A<sub>1</sub>= Absorbance of sample

### 2.6.4. ABTS Radical Scavenging Activity

ABTS radical scavenging activity of lichen samples were made according to the method developed by Arnao et al. (2001). The absorbance was measured at 734 nm. BHT and rutin used as standards. The tests were carried out three times. The results are calculated from the following equation:

$$\% \text{ Activity: } \left[ \frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \times 100 \quad (2)$$

A<sub>0</sub>=Absorbance of control

A<sub>1</sub>= Absorbance of sample

### 2.6.5. Total Antioxidant Capacity

Total antioxidant capacity of the extracts was defined according to Prieto et al., (1999). Absorbance was measured at 695 nm. The results were calculated as µg ascorbic acid equivalent (AAE)/mL lichen sample from ascorbic acid

standard graphical equation. The tests were carried out three times.

### 2.6.6. DPPH Radical Scavenging Activity

The free radical scavenging activity of ethanol and acetone solvent extracts of *D. miniatum* and *X. conspersa* were measured by utilizing the method of Brand-Williams et al. (1995). Lichen extracts were prepared at 250-1000 µg/mL concentrations. The percentage inhibition was established by comparing the results of the test and the control. The tests were carried out three times. Percentage of activity was calculated using the following formula:

$$\% \text{ Activity: } \left[ \frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \times 100 \quad (3)$$

A<sub>0</sub>=Absorbance of control

A<sub>1</sub>= Absorbance of sample

## 4. Results and Discussion

### 4.1. Antibacterial Activity

The existence of biologically active compounds in lichens is studied in worldwide (Molnar and Farkas, 2010). The utilization of lichens in medicinally is based on their unique and biologically active substances, such as antimicrobial actions (Manojlovic et al., 2002; Saenz et al., 2006).

Results acquired in the present study demonstrated that the studied lichen extracts have possible antibacterial effect against all the test bacteria except for *S. enterica* and *E. coli*. Acetone extracts showed higher activity when compared to ethanol extracts (Table 3).

**Table 3.** Inhibition zones of the lichen extracts (mm)

Microorganisms	EED	AED	EEX	AEX	Tetra	Genta	DMSO
<i>E. coli</i>	NA	NA	NA	NA	18	17	NA
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	NA	8	8	6	NA	18	NA
<i>B. cereus</i>	7	16	9	18	18	21	NA
<i>S. enterica</i>	NA	NA	NA	NA	17	18	NA
<i>B. subtilis</i>	12	11	12	18	12	18	NA
<i>P. vulgaris</i>	8	12	10	16	10	16	NA
<i>B. megaterium</i>	NA	7	14	NA	20	15	NA
<i>S. aureus</i> subsp. <i>aureus</i>	NA	6	9	11	22	14	NA
<i>K. pneumoniae</i>	NA	NA	8	6	15	19	NA
<i>G. rubripertincta</i>	NA	NA	10	15	17	14	NA
<i>E. aerogenes</i>	6	9	10	15	NA	20	NA

EED: Ethanol extract of *D. miniatum*; AED: Acetone extract of *D. miniatum*; EEX: Ethanol extract of *X. conspersa*; AEX: Acetone extract of *X. conspersa*; NA: No Activity; Tetra: Tetracycline 10µg/disc; Genta: Gentamycine 10µg/disc

The highest antibacterial activity obtained against *B. subtilis* (18 mm) and *B. cereus* (18 mm) and the lowest activity was found against *E. aerogenes* (6 mm), *S. aureus* (6 mm), *K. pneumoniae* (6 mm) and *Y. pseudotuberculosis* (6 mm). DMSO which was used as negative control exhibit no activity against bacteria. Tetracycline demonstrated higher effect than the lichen extracts. When antibacterial activity of the extracts was compared, it was found that *X. conspersa* extracts was more active than *D. miniatum*.

The antibacterial efficiency of the extracts of *X. conspersa* and *D. miniatum* are seen in Table 4. The results revealed that the lichen extracts exhibited antibacterial activities at variable degrees against test bacteria, with MIC values varying from 3.75 to 0.02929 mg/mL. The extracts of *X. conspersa* have lower MIC values than *D. miniatum*.

There are very limited studies about antimicrobial activity of *D. miniatum*. For example, Aslan et al. (2006) determined that methanol extract of *D. miniatum* weak antimicrobial activity. The extract showed no antifungal activity but the extract was active against *B. subtilis* and *Clavibacter michiganensis*. In agreement with this study we also found activity against *B. subtilis*. On the other hand, there are studies about antimicrobial activity of different *Dermatocarpon* species. Balasubramanian and Nirmala (2014a) evaluated antimicrobial activity of ethyl acetate, acetone,

chloroform, diethyl ether, methanol, ethanol and hexane extracts of *Dermatocarpon vellereum* Zschacke. Sharma et al. (2012) searched methanol and acetone extracts of *Dermatocarpon* spp. against five pathogenic clinical isolates of *E. coli*, and *S. aureus*. Results of these studies and our study are different because of collecting lichens different localities and using different *Dermatocarpon* species.

*X. conspersa* lichen was also studied by other researchers. For example, Duman (2009) investigated acetone extract of *X. conspersa* against *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Pseudomonas aeruginosa*. Acetone extract of *X. conspersa* lichen was active against all the tested bacteria except for *S. aureus* and *P. aeruginosa*. *X. conspersa* lichen was effective against *Colletotrichum acutatum*, *C. coccodes* and *C. gloeosporioides* which cause anthracnose in red pepper (Jeon et al., 2009). Laska and Kiercul (2014) studied pharmacologic activity (antibacterial, antiviral and anticancer) of metabolites isolated from *X. conspersa* lichen. Acetone extract of *X. conspersa* lichen inhibited biofilm formation of *Candida albicans* (Millot et al., 2017). It was also reported that stictic acid which was obtained from *X. conspersa* lichen has antioxidant activity (De Paz et al., 2010). Studies of mentioned above and our study are different because of using different solvent.

**Table 4.** MIC values of the lichen extracts (mg/mL)

Bacteria	EED	AED	EEX	AEX
<i>E. coli</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	NA	3.75	3.75	3.75
<i>B. cereus</i>	3.75	0.234375	0.46875	0.05859
<i>S. enterica</i>	NA	NA	NA	NA
<i>B. subtilis</i>	3.75	0.1171875	0.1171875	0.05859
<i>P. vulgaris</i>	3.75	0.1171875	0.05859	0.02929
<i>B. megaterium</i>	NA	1.875	0.46875	NA
<i>E. aerogenes</i>	15	3.75	1.875	0.1171875
<i>S. aureus</i> subsp. <i>aureus</i>	NA	3.75	0.46875	0.1171875
<i>K. pneumoniae</i>	NA	-	3.75	1.875
<i>G. rubripertincta</i>	NA	NA	0.46875	0.234375

NA: No Activity

#### 4.2. Antioxidant Activity

Ethanol and acetone extracts of *X. conspersa* and *D. miniatum* collected from Black Sea Region were screened with regard to their contents of total phenols. Table 5 is seen the total phenol contents that were determined by Folin Ciocalteu

reagent in terms of gallic acid equivalent (GAE). Total phenolic content of the extracts are ranged from 25.08±0.002 to 209.92±0.01 µg GAE/mL lichen extract. The highest and the lowest phenolic content were measured in acetone extract of *X. conspersa* and acetone extract of *D. miniatum*, separately. Phenolic compounds have

been declared to be linked with antioxidative effect in biological systems, acting as scavengers of singlet oxygen and free radicals (El Hajaji et al., 2010).

Flavonoids are one class of secondary plant metabolites that are recognised as Vitamin P. They are commonly utilized in plants to generate yellow and other coloured pigments which have a crucial role in the colors of plants. Moreover, flavonoids exhibit significant anti-cancer, anti-inflammatory and anti-allergic activities (Rebeya et al., 2014).

The amount of total flavonoid content is expressed as  $\mu\text{g CE/mL}$  lichen extract. Total flavonoid content of the lichens was given in Table 5. Acetone extract of *X. conspersa*

exhibited maximum and ethanol extract of *D. miniatum* showed minimum flavonoid content. *X. conspersa* lichen possesses higher total flavonoid activity than *D. miniatum* lichen.

The phosphomolybdenum procedure is primarily based on the reduction of molybdenum, Mo (VI) to Mo (V) by the effect of antioxidant substances and the generation of a green phosphate, Mo (V) complex with a highest absorption at 695 nm (Hossain et al., 2017). Total antioxidant capacities of the extracts are given in Table 5. Total antioxidant capacity of the extracts increased in the following order: Ethanol extract of *D. miniatum* > acetone extract of *X. conspersa* > ethanol extract of *X. conspersa* > acetone extract of *D. miniatum*.

**Table 5.** Total phenolic and flavonoid contents and total antioxidant capacity of the tested lichen extracts

Lichen	Total phenolic content ( $\mu\text{g GAE/mL}$ lichen extract)	Total flavonoid content ( $\mu\text{g CE/mL}$ lichen extract)	Total antioxidant capacity ( $\mu\text{g AAE/mL}$ lichen extract)
Ethanol extract of <i>D. miniatum</i>	86.27 $\pm$ 0.007	44.79 $\pm$ 0.006	92.59 $\pm$ 0.02
Acetone extract of <i>D. miniatum</i>	25.08 $\pm$ 0.002	52.20 $\pm$ 0.01	48.43 $\pm$ 0.07
Ethanol extract of <i>X. conspersa</i>	67.72 $\pm$ 0.01	68.68 $\pm$ 0.03	52.58 $\pm$ 0.05
Acetone extract of <i>X. conspersa</i>	209.92 $\pm$ 0.01	83.60 $\pm$ 0.02	63.54 $\pm$ 0.006

Values are expressed as means of three replicates  $\pm$  SD

DPPH radical scavenging activity of the extracts was indicated in Table 6. DPPH radical quenching activity of the studied lichen extracts increase as ethanol extract of *X. conspersa* > acetone extract of *D. miniatum* > ethanol extract of *D. miniatum* > acetone extract of *X. conspersa*. In addition, DPPH radical scavenging activity of extracts is a dose-dependent manner.

ABTS radical scavenging activities of the extracts are given in Table 6. The highest activity was detected in ethanol extract of *X. conspersa*. ABTS radical scavenging activity of extracts is a dose-dependent manner.

ABTS and DPPH radicals scavenging activities of the extracts and standards also are expressed as half maximal inhibitory concentrations ( $\text{SC}_{50}$ ) values, calculated from the regression equations prepared from the concentrations of samples. A

higher scavenging activity is associated with a lower  $\text{SC}_{50}$  value.

Chelating agents can inhibit radical formations by stabilizing transition metals consequently reducing free radical injury. Moreover, some phenolic compounds demonstrate antioxidant action through the chelating of metal ions (Yumrutas and Saygideger, 2012). Metal chelating activity of the lichens is shown in Table 6. Only extracts of *X. conspersa* exhibited too weak metal chelating activity. EDTA which is standard antioxidant showed very high activity when compared with the extracts.

There are some studies about antioxidant activity of *Dermatocarpon* and *X. conspersa* lichen species. For example, Aslan et al., (2006) was stated that  $\text{IC}_{50}$  values of the methanol extract of *D. miniatum* was found as 396.1  $\mu\text{g/mL}$  and total phenolic content was 2.9 %.

**Table 6.** DPPH and ABTS radical scavenging activities and metal chelating activity of the tested lichen extracts

Lichen	Concentration (µg/mL)	DPPH radical scavenging activity (% activity)	SC <sub>50</sub> values for DPPH radical scavenging activity	Metal chelating activity (% activity)	ABTS radical scavenging activity (% activity)	SC <sub>50</sub> values for ABTS radical scavenging activity
Ethanol extract of <i>D. miniatum</i>	250	6.87±0.01	939.34±8.73	NA	21.14±0.05	531.33±14.24
	500	22.72±0.03		NA	59.21±0.008	
	750	34.17±0.04		NA	77.20±0.010	
	1000	41.63±0.03		NA	83.87±0.02	
Acetone extract of <i>D. miniatum</i>	250	10.43±0.02	1072.66±26.03	NA	8.73±0.03	633.87±0.64
	500	16.49±0.02		NA	38.36±0.04	
	750	35.20±0.02		NA	63.41±0.02	
	1000	49.03±0.01		NA	81.12±0.02	
Ethanol extract of <i>X. conspersa</i>	250	44.34±0.01	614.68±1.95	0.345±0.005	85.48±0.03	209.00±5.55
	500	50.22±0.06		0.522±0.02	93.39±0.002	
	750	57.92±0.02		1.27±0.01	94.07±0.006	
	1000	64.92±0.005		4.11±0.02	96.84±0.007	
Acetone extract of <i>X. conspersa</i>	250	18.84±0.01	1350±34.32	NA	NA	NA
	500	24.61±0.03		NA	NA	
	750	29.20±0.03		NA	NA	
	1000	32.25±0.01		5.71±0.02	24.36±0.007	
BHT	250	88.85±0.01	204.25±2.62	NS	93.48±0.01	170.1±0.80
	500	89.55±0.005		NS	93.92±0.006	
	750	90.27±0.01		NS	94.43±0.004	
	1000	91.55±0.008		NS	96.65±0.008	
Rutin	250	86.80±0.008	209.13±5.77	NS	78.54±0.04	272±8.93
	500	87.91±0.003		NS	81.94±0.01	
	750	90.60±0.004		NS	85.26±0.01	
	1000	91.89±0.01		NS	87.63±0.006	
EDTA	250	NS	NS	94.27±0.03	NS	NS
	500	NS	NS	97.53±0.01	NS	NS
	750	NS	NS	99.89±0.0004	NS	NS
	1000	NS	NS	99.91±0.0004	NS	NS

NA: No Activity; NS: No Studied. Values are expressed as means of three replicates ± SD

On the other hand, we found total phenolic contents of ethanol and acetone extracts of *D. miniatum* as 86.27±0.007 µg GAE/mL and 25.08±0.002 µg GAE/mL, respectively in the study. Total antioxidant activity, total phenolic content and reducing power of methanol and water extracts of *Dermatocarpon intestiniformis* was also screened (Odabasoglu et al., 2005). Balasubramanian and Nirmala (2014b) investigated antioxidant properties of *Dermatocarpon vellereum* lichen.

Kumar et al. (2014) explained that methanol extract of *X. conspersa* exhibited high antioxidant activity. Similarly, Sökmen et al. (2018) found high CUPRAC activity in acetonitrile extracts of *X. stenophylla* lichen. We also found antioxidant activity in *X. conspersa* extracts at varying degrees.

## Conclusion

The results of the current research proposed that *D. miniatum* and *X. conspersa* lichens might be a possible natural alternative of synthetic antioxidants and might have gained significance as healing agent in hindering or decelerating oxidative stress linked with degenerative diseases. Furthermore, these lichens might be utilized to produce brand, different and more effective antimicrobial medicines of natural origin in curing infectious illnesses. Detailed studies are needed to determine the biologically effective compounds of *D. miniatum* and *X. conspersa* lichens.

## Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Aadesariya, M.K., Ram, V.R. and Dave, P.N., 2017. Evaluation of antioxidant activities by use of various extracts from *Abutilon pannosum* and *Grewia tenax* in the Kachchh Region. *International Journal of Research in Engineering and Innovation*, 1 (3), 97-112.
- Arnao, M.B., Cano, A. and Acosta, M., 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73, 239-244.
- Aslan, A., Güllüce, M., Sökmen, M., Adıgüzel, A., Şahin, F. and Özkan, H., 2006. Antioxidant and antimicrobial properties of the lichens *Cladonia foliacea*, *Dermatocarpon miniatum*, *Evernia divaricata*, *Evernia prunastri* and *Neofuscalia pulla*. *Pharmaceutical Biology*, 44 (4), 247-252.
- Balasubramanian, M. and Nirmala, P. 2014a. Antimycobacterial activity of foliose lichens on plant and animal pathogens. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5 (11), 4825-4831.
- Balasubramanian, M. and Nirmala, P. 2014b. Evaluation of anti-oxidant properties of foliose lichens. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (9), 177-184.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Buçukoğlu, T.Z., Albayrak, S., Halıcı, M.G. and Tay, T. 2013. Antimicrobial and antioxidant activities of extracts and lichen acids obtained from some *Umbilicaria* species from Central Anatolia, Turkey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37 (6), 1103-1110.
- Crawford, S.D. 2015. Lichens used in traditional medicine In: Rankovic B (ed) *Lichen secondary metabolites*, Springer International Publishing, Switzerland, pp 27-80.
- De Paz, G.A., Raggio, J., Gómez-Serranillos, M.P., Palomino, O.M., González-Burgos, E., Carretero, M.E. and Crespo, A. 2010. HPLC isolation of antioxidant constituents from *Xanthoparmelia* spp. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 53, 165-171.
- Duman, D.C. 2009. Türkiye’de bazı liken türlerindeki usnik asitin HPLC yöntemi ile değerlendirilmesi ve antimikrobiyal aktiviteleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 66 (4), 153-160.
- El Hajaji, H., Lachkar, N., Alaoui, K., Cherrah, Y., Farah, A., Ennabili, A., Bali, B.E. and Lachkar, M. 2010. Antioxidant properties and total phenolic content of three varieties of Carob tree leaves from Morocco. *Records of Natural Products*, 4 (4), 193-204.
- Gunasekaran, S., Rajan, V.P., Ramanathan, S., Murugaiyah, V., Samsudin, M.W. and Din, L.B. 2016. Antibacterial and antioxidant activity of lichens *Usnea rubratincta*, *Ramalina dumeticola*, *Cladonia verticillata* and their chemical constituents. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20 (1), 1-13.
- Hossain, M.S., Uddin, M.S., Kabir, M.T., Begum, M.M., Koushal, P., Herrera-Calderon, O., Akter, R., Asaduzzaman, M. and Abdel-Daim, M.M. 2017. *In vitro* screening for phytochemicals and antioxidant activities of *Syngonium podophyllum* L.: An Incredible therapeutic plant. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 10 (3), 1267-1277.
- Jeon, H.S., Lököš, L., Han, K.S., Ryu, J.A., Kim, J.A., Koh, Y.J. and Hur, J.S. 2009. Isolation of lichen-forming fungi from Hungarian lichens and their antifungal activity against fungal pathogens of hot pepper anthracnose. *The Plant Pathology Journal*, 25 (1), 38-46.
- Joshi, J. and Sahu, O. 2014. *Azadirachta Indica* leaves as antibacterial treatment on drinking water. *International Journal of Clinical Nutrition*, 2 (2), 36-40.
- Kumar, J., Dhar, P., Tayade, A.B., Gupta, D. , Chaurasia, O.P., Upreti, D.K., Arora, R. and Srivastava, R.B. 2014. Antioxidant capacities, phenolic profile and cytotoxic effects of saxicolous lichens from Trans-Himalayan cold desert of Ladakh. *Plos One*, 9 (6), 1-19.
- Kumar, S., Dhankhar, S., Arya, V.P., Yadav, S. and Yadav, J.P. 2012. Antimicrobial activity of *Salvadora oleoides* Decne. against some microorganisms. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6 (14), 2754-2760.
- Laska, G. and Kiercul, S. 2014. Pharmacological activity of secondary metabolites isolated from *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh ex Ach.) Hale lichen. *Planta Medica*, 80-84.
- Loizzo, M.R., Tundis, R., Bonesi, M., Menichini, F., Mastellone, V., Avallone, L. and Menichini, F. 2012. Radical scavenging, antioxidant and metal chelating activities of *Annola cherimola* Mill. peel and pulp in relation to their total phenolic and total flavonoid contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25, 179-184.
- Mahesh, B. and Satish, S. 2008. Antimicrobial activity of some important medicinal plant against plant and human pathogens. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4, 839-843.

- Manojlovic, N.T., Solujic, S. and Sukdolak, S. 2002. Antimicrobial activity of an extract and anthraquinones from *Caloplaca schaeferi*. *Lichenologist*, 34 (1), 83–85.
- Marijana, K., Branislav, R. and Slobodan, S. 2010. Antimicrobial activity of the lichen *Lecanora frustulosa* and *Parmeliopsis hyperopta* and their divaricatic acid and zeorin constituents. *African Journal of Microbiology Research*, 4 (9), 885-890.
- Millot, M., Girardot, M., Dutreix, L., Mambu, L. and Imbert, C. 2017. Antifungal and anti-biofilm activities of acetone lichen extracts against *Candida albicans*. *Molecules*, 22, 651-662.
- Molnár, K. and Farkas, E. 2010. Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65, 157-173.
- Murray, P.R., Baron, E.J., Pfaller, M.A., Tenovar, F.C. and Tenover, R.H. 1995. *Manual of Clinical Microbiology*. ASM Press, Washington DC, 2256 p.
- NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards) (1993). Performance standards for antimicrobial disk susceptibility test, Approved Standard pp. 2-6.
- Odabasoglu, F., Aslan, A., Cakir, M., Süleyman, H., Karagöz, Y., Bayır, Y. and Halici, M. 2005. Antioxidant activity, reducing power and total phenolic content of some lichen species. *Fitoterapia*, 76 (2), 216-219.
- Paudel, B., Bhattarai, H.D., Pandey, D.P., Hur, J.S., Hong, S.G., Kim, I. C. and Yim, J.H. 2012. Antioxidant, antibacterial activity and brine shrimp toxicity test of some mountainous lichens from Nepal. *Biological Research*, 45 (4), 387-391.
- Prieto, P., Pineda, M. and Aguilera, M. 1999. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of Vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269, 337-341.
- Rani, R., Sharma, D., Chaturvedi, M. and Yadav, J.P. 2017. Antibacterial activity of twenty different endophytic fungi isolated from *Calotropis procera* and time kill assay. *Clinical Microbiology*, 6, 280-286.
- Rankovic, B., Rankovic, D. and Maric, D. 2010. Antioxidant and antimicrobial activity of some lichen species. *Microbiology*, 79 (6), 809-815.
- Rebaya, A., Belghith, S.I., Baghdikian, B., Leddet, V.M., Mabrouki, F., Olivier, E., Cherif, J.K. and Ayadi, M.T. 2014. Total phenolic, total flavonoid, tannin content and antioxidant capacity of *Halimium halimifolium* (Cistaceae). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5 (1), 52-57.
- Reddey, A.R.K. and Grace, J.R. 2016. *In Vitro* evaluation of antioxidant activity of methanolic extracts of selected mangrove plants. *Medicinal and Aromatic Plants*, 5 (3), 1-5.
- Saenz, M.T., Garcia, M.D. and Rowe, J.G. 2006. Antimicrobial activity and phytochemical studies of some lichens from south of Spain. *Fitoterapia*, 77 (3), 156–159.
- Šarić, L., Čabarkapa, I., Beljkaš, B., Mišan, A., Sakač, M.B. and Plavšić, D. 2009. Antimicrobial activity of plant extracts from Serbia. *Food Processing Quality and Safety*, 1 (2), 1-5.
- Sharma, B.C. and Kalikotay, S. 2012. Screening of antioxidant activity of lichens *Parmotrema reticulatum* and *Usnea* sp. from Darjeeling hills, India. *IOSR Journal of Pharmacy*, 2 (6), 54-60.
- Sharma, P., Sharma, P.C., Patil, S., Sen, R. and Kumar, A. 2012. In vitro evaluation of antibacterial activity of extract from *Parmelia* and *Dermatocarpon* spp. of lichen against the MDR clinical isolates of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Advances in Pharmacology and Toxicology*, 13 (1), 15-21.
- Sisodia, R., Geol, M., Verma, S., Rani, A. and Dureja, P. 2013. Antibacterial and antioxidant activity of lichen species *Ramalina roesleri*. *Natural Product Research*, 27 (23), 2235-2239.
- Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
- Smith, C.W., Aprot, A., Coppins, B.J., Fletcher, A., Gilbert, O.L., James, P.W. and Wolseley, P.A. 2009. *The Lichens of Great Britain and Ireland*. British Lichen Society, London, P. 1046 pp.
- Sökmen, B.B., Kınalıoğlu, S. and Aydın, S. 2018. Evaluation of antifungal potentials and antioxidant capacities of some foliose lichen species. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22 (1), 148-152.
- Yumrutas, Ö. and Saygıdeger, S.D. 2012. Determination of antioxidant and antimutagenic activities of *Phlomis armeniaca* and *Mentha pulegium*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2 (1), 36-40.
- Yücel, O., Odabaşoğlu, F., Güllüce, M., Çalık, Z.Z., Çakır, A., Aslan, A., Yazıcı, K. and Halıcı, M.



2007. Antioxidant and antimicrobial properties of a lichen species, *Cladonia rangiformis* growing in Turkey. Turkish Journal of Pharmaceutical Science, 4 (2), 101-109.

Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry, 64, 555-559.

## Uzaktan Algılanmış Görüntülerin SURF Özellik Verileri ve RANSAC Algoritması ile Otomatik Çakıştırılması

### *Automatic Registration of Remotely Sensed Images by Using SURF Features and RANSAC Algorithm*

Mustafa DİHKAN\*

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 22.11.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 31.01.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 11.02.2019

#### Öz

Günümüzde algılayıcı çeşitliliği ile birlikte artan veri yoğunluğu sebebiyle, uzaktan algılama ve fotogrametrik değerlendirme süreçlerinde çakıştırma aşamasının otomatizasyonuna yönelik araştırmalar yoğunlaşmıştır. Otomatik çakıştırma algoritmalarından; çevresel izleme, değişim analizi, sınıflandırma, görüntü kaynaştırma gibi birçok çalışmada faydalanılmaktadır. Bu çalışmada farklı zamanlarda değişik sensörlerle (alıcılarla) kaydedilen uzaktan algılanmış çok bantlı görüntülerin otomatik çakıştırılmasına yönelik özellik tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımın özellik çıkarma aşamasında SURF (Speeded-up Robust Feature) algoritmasının TBA (Temel Bileşen Analizi) yardımıyla iyileştirilmiş çok bantlı veri setlerinin ilk bandına uygulanması yoluyla verinin tüm bantlarındaki spektral bilgiden optimum düzeyde faydalanılmıştır. Bu aşamada belirlenen ilgi noktalarına ilişkin 64 boyutlu özellik vektörleri yardımıyla hesaplanan KFT(Karesel Farklar Toplamı) değerleri kritize edilerek eşlenik noktalar tespit edilmiştir. Ardından eşlenik noktalar arasında zayıf olanlar RANSAC (Random Sample Consensus) yardımıyla elemine edilerek kalan noktalar ile projektif dönüşüm modeli için homografi tanımlanmıştır. Son aşamada hesaplanan homografi matrisi kullanılarak geometrik dönüşüm uygulanan görüntüler yeniden örnekleme sonrasında jeoreferanslı olarak kaydedilmiştir. Önerilen yaklaşımın testi için 2003, 2008 ve 2015 tarihlerinde farklı sensörlerle algılanmış çok bantlı dijital hava görüntülerinden faydalanılmıştır. Bunlardan 2015 tarihli görüntü ortofoto olup referans görüntüsü olarak kullanılmıştır. Çalışmada önerilen yaklaşımın uygulanması sonucunda; 2003 görüntüsü için  $\pm 0.61m$ , 2008 görüntüsü için ise  $\pm 0.53m$  KOH (Karesel Ortalama Hata) düzeyinde konumsal doğruluk elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Otomatik görüntü çakıştırılması, RANSAC, SURF, TBA

#### Abstract

Intensive work has been carried out for optimization of automatic registration using remotely sensed data and photogrammetric techniques because of very large and various datasets availability. Automatic registration is used in many remote sensing mapping applications such as environmental monitoring, change detection, classification, image fusion, etc. In this study, a feature based approach was proposed for automatic registration which can be used for automatic registration of multispectral images acquired in different periods. This technique suggests an optimization of multiband spectral data generated by PCA (Principal Component Analysis) transformation. The multispectral image data was first evaluated using PCA then the SURF (Speeded up Robust Feature) algorithm was applied on the optimized first band of the processed image to detect interest points. In order to decide on matching points used SSD (Sum of Square Distances) values are calculated using interest points data with 64 dimensional feature vectors. As a step forward weak points were eliminated by applying RANSAC (Random Sample Consensus) method and the remaining point data were used for determining homography which is necessary for projective transformation. In the last step, georeferenced images that were geometrically transformed using homography matrix were saved after resampling process. In order to test the proposed approach multispectral aerial images from 2003, 2008 and 2015 were used. The orthophoto image of 2015 was used as reference data. As a result spatial accuracies were found with RMSE values as  $\pm 0.61m$  and  $\pm 0.53m$  for the years 2003 and 2008 respectively.

**Keywords:** Automatic image registration, RANSAC, SURF, PCA

\* Mustafa DİHKAN; mdihkan@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 27 68; orcid.org/0000-0002-0027-236X

## 1. Giriş

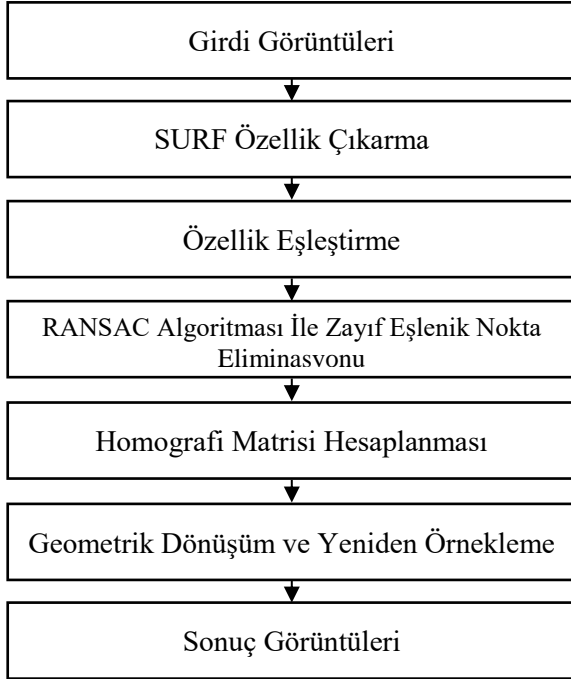
Son yıllarda Uzaktan Algılama ve Fotogrametri alanlarında meydana gelen gelişim süreçleri; yüksek konumsal, spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüklü çok boyutlu dijital görüntü verilerinin yoğun olarak elde edilebilmesine olanak tanımaktadır. Veri yoğunluğunda meydana gelen bu artış söz konusu alanlardaki çeşitli temel operasyonların otomatizasyon düzeyinin önemli oranda artırılması gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Bu uygulamaların en önemlilerinden birisi hiç şüphesiz görüntü çakıştırılması olup çevresel izleme, değişim analizi, görüntü kaynaştırma gibi askeri veya sivil amaçlı faaliyetlerin önemli çoğunluğunda gerçekleştirilmesi gereklidir. Uzaktan algılanmış görüntülerde çakıştırma kavramı aynı alana ait iki veya daha fazla sayıda; farklı görüş noktalarından, aynı/farklı sensörlerle, aynı/farklı zamanlarda kaydedilmiş görüntü verilerinin eşleştirilmesi olarak ifade edilebilir (Fonseca ve Manjunath, 1996). Literatürde dijital görüntülerin otomatik çakıştırılması probleminin çözümüne yönelik olarak yapılmış çalışmalarda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş olmasına karşın, uydu/hava görüntüleri söz konusu olduğunda bu işlem önerilen metotlar ile yeterli doğruluk düzeyine ulaşılamamasından ötürü çoğu zaman manuel olarak gerçekleştirilmektedir (Zitova ve Flusser, 2003; Gonçalves vd., 2011a). Uzaktan algılanmış görüntüler çoğu zaman oldukça geniş alanlarda, çok çeşitli geometrik ve spektral karakteristiğe sahip yüzeylere ilişkin bilgi içeren veri setleridir. Özellikle yüzey geometrisinden kaynaklanan değişken rölyef etkileri, farklı alım noktası konumlarından ötürü meydana gelen geometrik deformasyonlar, alım zamanındaki farklardan dolayı yüzey aydınlanmasında meydana gelen değişimler, görüntü radyometrisinde meydana gelen farklılıklar, farklı sensör kullanımından ötürü oluşan değişken distorsiyon etkileri gibi nedenlerle uzaktan algılanmış görüntülerin otomatik çakıştırılması işlemini oldukça güçleştirmektedir (Yang vd., 2017).

Uzaktan algılanmış görüntülerin otomatik çakıştırma süreci genel olarak; özellik çıkarma, özellik eşleştirme, geometrik dönüşüm ve yeniden örnekleme gibi aşamalardan oluşmaktadır. Literatürde otomatik çakıştırma teknikleri faydalanılan özellik çıkarma algoritmasına bağlı olarak alan tabanlı ve özellik tabanlı olmak üzere iki ana kategoride değerlendirilmektedir (Brown, 1992). Alan tabanlı yaklaşımlarda referans ve rektifiye edilecek görüntüler üzerinde seçilen görüntü pencerelerindeki piksel gri değerlerinden

faydalanılarak alansal benzerlik düzeyi belirlenebilmekte ve görüntü yöneltmesi için gerekli parametreler elde edilebilmektedir. Bu tür yaklaşımlar basit görüntüler için kullanılabilir olmalarına karşın; yeterli ayırt edici detay barındırmayan, monoton görüntüler içeren, görüntü oranı yüksek, karmaşık distorsiyon etkileri altında olan ve aralarında ciddi radyometrik farklılıklar bulunan görüntü çiftlerinin çakıştırılmasında arama uzayı genişleyerek dönüşüm hesaplamalarını oldukça kompleks ve zaman alıcı bir hale getirmektedir (Li vd., 2009). Özellikle tabanlı yaklaşımlarda ilk aşamada kenar, köşe, eğri, spesifik bölge merkezleri gibi özelliklerin görüntülerden çıkarılmasının ardından bunlar arasındaki korelasyon düzeyi irdelenerek görüntüler arasındaki dönüşüm doğruluğu optimum seviyeye çıkarılmaya çalışılmaktadır (Li vd., 2009, Acar vd., 2017). Hiç şüphesiz bu tür yaklaşımların özellik çıkarma aşamasında kullanılan; Harris (Harris ve Stephens, 1988), SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) (Smith ve Brady, 1997), FAST (Features from Accelerated Segment Test) (Rosten ve Drummond, 2006), SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Lowe, 2004), SURF (Bay vd., 2008), vb. algoritmalar dönüşüm doğruluğu üzerinde önemli oranda etkili olabilmektedir. SIFT algoritması özellikle aynı bölgeyi kapsayan uzaktan algılanmış görüntüler arasında büyük oranlarda değişken olabilen; dönüklük, öteleme ve ölçek gibi konumsal dönüşüm parametrelerinden tamamen bağımsız, görüntü alım noktası konum değişimi ve yüzey aydınlanma farklılıklarından kısmen bağımsız olarak çalışabilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Ma vd., 2017). Bununla birlikte SIFT algoritmasının en önemli dezavantajı tespit ettiği her bir nokta için oluşturduğu 128 boyutlu özellik vektörü kullanılarak yapılan eşleştirme işleminin oldukça zaman alıcı olmasıdır. Aynı koşullar altında eşlenik görüntüler üzerinde en az SIFT algoritması kadar iyi performans elde edebilmek ve işlem süresini önemli oranda azaltabilmek amacıyla Bay vd. (2008) tarafından SURF algoritması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada uzaktan algılanmış çok bantlı görüntülerin otomatik olarak çakıştırılmasına yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu amaçla ilk aşamada çok bantlı veri setlerinin tüm bantlarındaki spektral bilgiden optimum oranda faydalanabilmek adına TBA uygulanmıştır. Ardından özellik çıkarma aşamasında SURF algoritması birinci ana bileşen bandına uygulanarak ilgi noktaları tespit edilmiştir. Sonrasında özellik eşleştirme adımıyla farklı

görüntüler üzerindeki ilgi noktaları arasından eşlenik çiftler belirlenmiştir. Bu işlemin ardından RANSAC yardımıyla zayıf eşleşmeler elimine edilmiştir. Son aşamada ise kalan güçlü noktalar ile projektif dönüşüm modeli için homografi tanımlanarak görüntülere geometrik dönüşüm uygulanmış ve çakıştırma işlemi tamamlanmıştır. Önerilen yaklaşıma ilişkin akış diyagramı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yaklaşıma ilişkin akış diyagramı

### 1.1. SURF Algoritması ve Özellik Çıkarma

SURF özellik yakalama algoritması ikinci derece Hessian matris determinantına dayalı olarak çalışmaktadır. Algoritmada hesaplama hızını arttırmak için kutu filtre ve integral görüntülerinden faydalanılmaktadır. İntegral görüntüsü her bir  $p(x,y)$  noktasına karşılık gelen, bu nokta merkezde kalmak üzere soldan-sağa ve yukarıdan-aşağıya oluşan dörtgensel bölgedeki tüm piksellerin değerleri toplamının meydana getirdiği kümülatif bir görüntüdür. Her bir  $X$  noktası için  $\sigma$  ölçeğinde tanımlanan  $H_{(x,\sigma)}$  Hessian matrisi eşitlik (1)'de ifade edilmiştir.

$$H(x,\sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x,\sigma) & L_{xy}(x,\sigma) \\ L_{xy}(x,\sigma) & L_{yy}(x,\sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eşitlikte  $L_{xx}(x,\sigma)$ ,  $X$  noktasındaki görüntü ile Gaussian ikinci dereceden türevinin (LoG) konvolüsyonunu ifade etmektedir. SURF

algoritmasında hesaplama hızını arttırmak için kullanılan kutu filtre sayesinde Gaussian ikinci dereceden yaklaşık kısmi türev değerleri elde edilmektedir. Bu aşamada (2) eşitliği yardımıyla elde edilen yeni Hessian matris için determinant değeri hesaplanmaktadır (Bay vd. 2008).

$$\det(H_{yaklaşık}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (2)$$

Eşitlikte  $D_{xx}$ ,  $D_{yy}$  ve  $D_{xy}$  kutu filtre yardımıyla yaklaşık değerleri hesaplanan  $L_{xx}$ ,  $L_{yy}$  ve  $L_{xy}$  Hessian matris elemanlarını ifade etmektedir.

Farklı görüntü ölçeklerinde ilgi noktaların belirlenebilmesi için ölçek uzaylarından faydalanılmaktadır. Ölçek uzayları genellikle görüntü piramitleri olarak tanımlanmaktadır. Bir üst piramit seviyesine ulaşabilmek için görüntüler; Gauss filtresi yardımıyla tekrarlı olarak yumuşatılmakta ve ardı sıra alt-örnekleme operasyonu uygulanmaktadır. SURF algoritmasında yoğun hesaplama gerektiren ve oldukça zaman alıcı bu işlemleri hızlandırabilmek amacıyla kutu filtresi ve integral görüntülerinden faydalanılmaktadır. Bu sayede çeşitli boyutlarda filtreler doğrudan orjinal görüntüye uygulanabilmektedir. Bu aşamada filtre boyutunun üst-ölçeklemesi yoluyla ölçek uzayı analiz edilebilmektedir.

Algoritmada ölçek uzayında tespit edilen ilgi noktaları arasından zayıf olanların ayıklanabilmesi amacıyla  $3 \times 3 \times 3$  komşuluğunda maksimum olmayanların eliminasyonu tekniğinden faydalanılmaktadır. Bu aşamada her bir piksel; ölçek uzayında bir üst ve bir alt boyutta 9, mevcut bulunduğu boyutta ise 8 komşusu olmak üzere toplam 26 komşusu ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Bu amaçla Brown vd. (2002) tarafından önerilen yaklaşım ile Hessian matrisinin determinantının maksimumları ölçek ve görüntü uzayında nokta konumlarının tespiti için entepole edilmektedir. Güçlü ilgi noktalarının konumları Hessian matrisinin türevi kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu aşamada tüm komşu pikseller ile mutlak fark değerlerinin hesaplanması yoluyla türev alma işlemi gerçekleştirilmekte ve belirlenen eşik değere göre iteratif olarak kritize edilerek güçlü ilgi noktası konumları tespit edilmektedir.

Güçlü ilgi noktalarının belirlenmesinin ardından bu noktaların komşu pikselleri yardımıyla özellik vektörleri oluşturulmaktadır. Özellik vektörlerinden farklı görüntüler üzerindeki eşlenik noktaların eşleştirilmesi sürecinde faydalanılmaktadır. SURF özellik tanımlayıcısı benzerlik

tabanlı olarak çalışmaktadır. Görüntü dönüklüğüne karşı değişmezliğin sağlanabilmesi amacıyla her bir ilgi noktası için 6s (ilgi noktasına ilişkin ölçek düzeyini s parametresi ile ifade edilmektedir) yarıçapında dairesel komşulukta Haar dalgacık tepkisine dayalı olarak tanımlanan tekrarlanabilir baskın yön bilgisi belirlenmektedir. Dalgacık cevapları ilgi noktasında merkezlenmiş bir Gaussian ( $\sigma = 2s$ ) kernel fonksiyonu ile ağırlıklandırılmaktadır. Bu aşamada her bir ilgi noktası merkezinde konumlanacak şekilde 20s boyutunda dörtgensel bir tanımlayıcı pencere oluşturulmasının ardından bu pencere  $4 \times 4$  dörtgensel alt-bölgeye ayrılmaktadır. Bu 16 alt-bölgenin her biri için x ve y yönlerinde  $d_x$  ve  $d_y$  Haar dalgacık tepki değerleri hesaplanmakta ve bu değerler Gauss kerneli ile ağırlıklandırılmaktadır. Ayrıca Haar dalgacık tepki değerlerinin mutlak değerleri  $|d_x|$  ve  $|d_y|$ 'de hesaplanmaktadır. Her bir alt bölge için toplam 4 değer elde edilmektedir. Bu sayede 64 boyutlu özellik vektörleri her bir ilgi noktası için belirlenmektedir.

### 1.2. Özellik Eşleştirme

Farklı görüntü alım noktalarından algılanmış görüntüler üzerinde tespit edilen ilgi noktalarına ilişkin oluşturulan 64 boyutlu SURF özellik vektörleri sayesinde bu noktalardan eşlenik olanlar tespit edilebilmektedir. Bu amaçla öncelikle tüm görüntü çiftleri için KFT mesafe matrisleri oluşturulmaktadır. Sonrasında ikinci en yakın mesafe değeri ilk en yakın mesafe değerinden öncül olarak belirlenen bir orandan fazla olduğunda bu ilgi noktaları eşlenik olarak atanmaktadır.

### 1.3. RANSAC İle Güçlü Eşlenik Nokta Tespiti ve Homografi Hesaplanması

Son yıllarda çeşitli alanlarda üretilen veri kümelerinin seçilen matematik modele uyumluluk düzeyinin iteratif olarak irdelenmesi ve veri içinden çözümde istenilen düzeyde başarımlı sağlayanların otomatik olarak ayıklanmasına yönelik olarak RANSAC metodundan yaygın olarak faydalanılmaktadır (Fishler ve Bolter, 1987). Uzaktan algılanmış görüntülerin otomatik çakıştırılması sürecinde özellik çıkarma ve eşleştirme aşamaları sonucunda üretilen eşlenik noktalar arasında zayıf olanların elemine edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada RANSAC yardımı ile yapılan iteratif analizler sonucunda zayıf eşlenik noktalar elenerek homografi en yüksek doğruluk düzeyinde hesaplanabilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003). Çok-bakışlı eşlenik görüntüler arasında geometrik ilişki homografi yardımıyla

kurulabilmektedir (3). Homografi matrisi benzerlik, afin, projektif, vb. çeşitli geometrik dönüşüm modelleri için tanımlanabilmektedir. 8 serbestlik derecesine sahip projektif dönüşüm modeli için homografi matrisi (4) elemanları en az 4 veya daha fazla sayıda eşlenik nokta çifti yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$x' = Hx \quad (3)$$

Eşitlikte x referans görüntü üzerindeki noktaları, x' ikinci görüntü üzerindeki noktaları, H homografi matrisini ifade etmektedir.

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

RANSAC yardımı ile yapılan optimizasyon sonucunda veri kümesi içindeki noktalar arasında eşleşme düzeyi yüksek olan güçlü noktalar kullanılarak H matrisi elemanları dengelemeli olarak hesaplanmakta ve iki görüntü arasında projektif dönüşüm için gerekli tüm parametreler elde edilebilmektedir.

## 2. Yöntem

Çalışmada farklı tarihlerde farklı sensörlerle kaydedilmiş uzaktan algılanmış görüntülerin otomatik çakıştırılmasına yönelik özellik tabanlı bir yaklaşım geliştirilmesi ve elde edilen sonuçların test edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla USGS portalı üzerinden Amerika Birleşik Devletleri San Francisco Eyaletinde bulunan; yarı-kentsel arazi örtüsü/kullanım karakterine sahip, spektral çeşitliliğin yoğun olduğu, yüzölçümü 288 hektar olan bir bölge test alanı olarak seçilmiştir. Çalışma bölgesine ait sırasıyla; ADS40, ADS60 ve ADS100 sensörleri tarafından 2003, 2008 ve 2015 yıllarında algılanmış, 30cm YÖA (Yer Örnekleme Aralığı) boyutuna sahip, 3 çok-bantlı (Kırmızı/Yeşil/Mavi) dijital hava görüntüsü temin edilmiştir (Şekil 2a, b ve c). Bunlar arasında 2015 tarihine ait olan görüntü ortorektifiye edilmiş olup; UTM projeksiyonu, NAD83 datumunda referanslandırılmıştır. Söz konusu ortofoto görüntüden çalışma kapsamında referans görüntü olarak faydalanılmıştır.

Şekil 2 de verilen akış diyagramında önerilen yaklaşım kapsamında uygulanan özellik tabanlı otomatik çakıştırma prosedürü görülebilmektedir. Çok yüksek konumsal çözünürlüklü çok bantlı uzaktan algılanmış görüntü verileri söz konusu olduğunda bu tür verilerin sahip olduğu detay

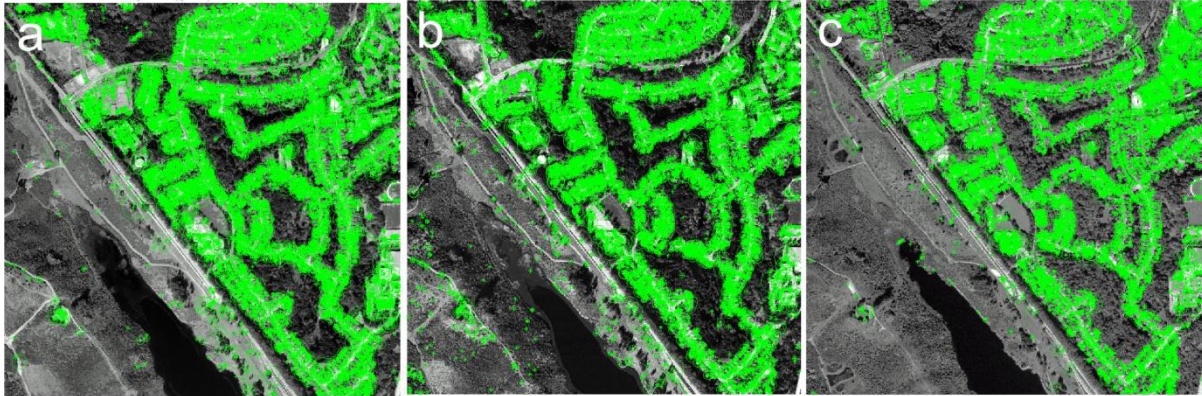
yoğunluğu beraberinde spektral ve radyometrik bilginin önemli oranda çeşitlilik kazanmasına ve farklı bantlarda temsil edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında bu spektral ve radyometrik bilgi çeşitliliğinden optimum düzeyde faydalanabilme amacıyla ana bileşenler dönüşümü yardımıyla görüntü iyileştirme uygulanmıştır. Bu dönüşüm çok bantlı görüntülerde farklı bantlarda bulunan

diğer bantlar ile korelasyonu düşük değerli spektral bilgilerin önemli bir kısmını dönüşüm sonrasında oluşan ilk bantta toplayan bir algoritmadır (Gonçalves vd., 2011b).

Çalışmada kullanılan 3 bantlı görüntüleri ana bileşenler dönüşümü uygulanması sayesinde ayırt edici spektral bilginin önemli bir kısmı dönüşüm sonrası oluşturulan 1. bantta temsil edilebilmiştir.



Şekil 2. (a) 2003 (b) 2008 (c) 2015 tarihli dijital hava görüntüleri



Şekil 3. (a) 2003 (b) 2008 (c) 2015 tarihli dijital hava görüntüleri üzerinde SURF ile tespit edilen ilgi noktaları

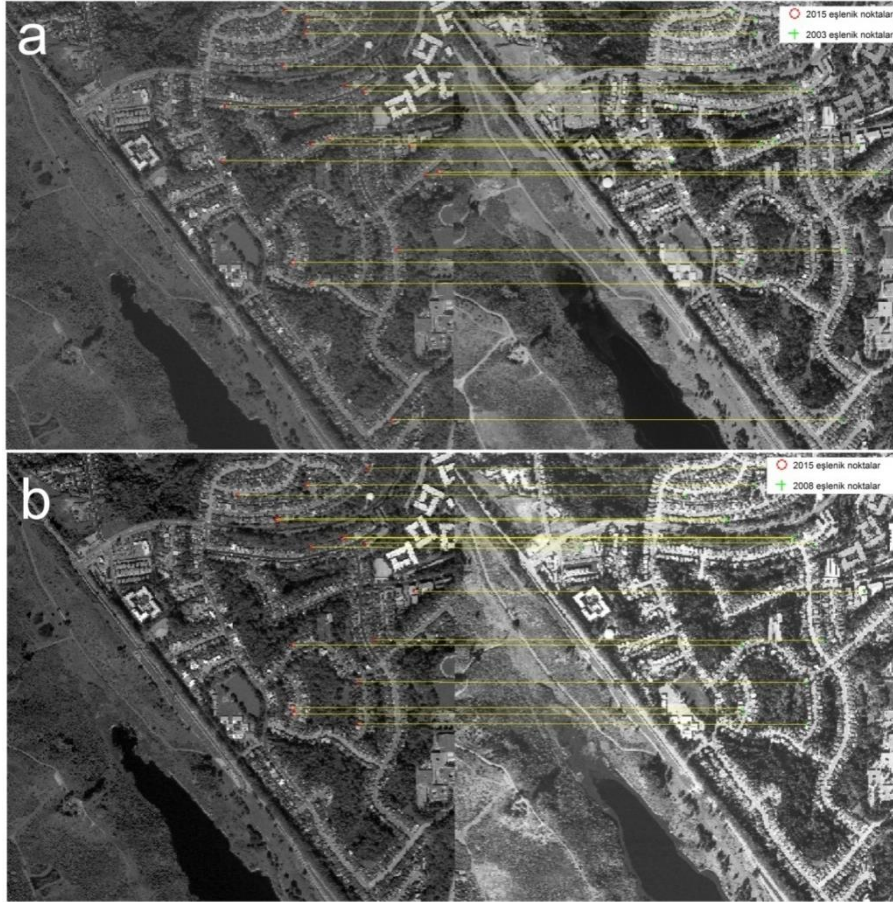
Önerilen yaklaşımda özellik çıkarma aşamasında SURF algoritmasının 1. ana bileşen bantı üzerinde uygulanması sayesinde tespit edilen ilgi noktası sayısının ve eşleştirme doğruluğunun olumlu yönde etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu aşamada tespit edilen ilgi noktaları Şekil 3a, b ve c de görülebilmektedir.

Özellik eşleştirme aşamasında tespit edilen ilgi noktaları için hesaplanan 64 boyutlu özellik vektörleri yardımıyla 2003 - 2015 ve 2008 - 2015 görüntü çiftleri için KFT mesafe matrisleri oluşturulmuştur. Sonrasında KFT mesafeleri

analiz edilerek eşlenik noktalar tespit edilmiştir. Bu aşamada yakın özellik değerlerine sahip ilgi noktaları arasında hatalı eşlemeler meydana gelebilmektedir. Bu tür zayıf eşlenik noktaların veri seti içinden ayıklanması amacıyla RANSAC yardımı ile eliminasyon yapılmıştır. RANSAC yaklaşımı ile yapılan iterasyonlar sayesinde projektif dönüşüm modeline ilişkin homografi matrisleri arasından en yüksek dönüşüm doğruluğu ile çözüm sağlayan matris, ayıklanan güçlü eşlenik noktalar yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 4a ve b).

Çalışmada kullanılan orto-rektifiye edilmiş referans görüntüsüne ilişkin geo-referans bilgisi yardımıyla referans görüntüsü piksel koordinat sisteminde bulunan eşlenik noktaların piksel koordinatlarına karşılık gelen UTM koordinatları belirlenmiştir. Ardından, güçlü eşlenik noktalar ile projektif dönüşüm modeli için tanımlanan

homografi matrisi yardımıyla geometrik dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada uygulanan en yakın komşu gri değer örnekleme ile 2003 ve 2008 girdi görüntülerin otomatik çakıştırılması gerçekleştirilmiştir (Şekil 5a, b ve c).



Şekil 4. (a) 2003 - 2015 (b) 2008 - 2015 tarihli hava görüntüleri üzerinde güçlü eşlenik noktalar

### 3. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan otomatik görüntü çakıştırma işlemleri sonrasında her görüntü için KOH değerleri hesaplanmış ve dönüşüm sonrası elde edilen konumsal doğruluk düzeyleri ortaya koyulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1’de ilgili görüntüler üzerinde tespit edilmiş olan her bir eşlenik nokta çifti için dönüşüm sonrası hesaplanan koordinat bileşenleri ile referans değerler arasındaki karesel farklar ( $\Delta x^2$ ,  $\Delta y^2$ ) gözlemlenebilmektedir. Söz konusu değerler incelendiğinde; 2003 görüntüsü için maksimum karesel farklar toplamının 0.69m, 2008 görüntüsü için ise 0.68m düzeylerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamada eşitlik (5) yardımıyla; 2003 görüntüsü için  $\pm 0.61m$ , 2008 görüntüsü için

ise  $\pm 0.53m$  KOH değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu konumsal doğruluk düzeylerinin birçok uygulama için yeterli düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Çakıştırma aşaması sonrasında jeo-referanslı olarak kaydedilen sonuç görüntüleri Şekil 5a ve b de görülebilmektedir.

$$KOH = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_i'')^2 + (y_i - y_i'')^2} \quad (5)$$

Eşitlikte;  $n$  her bir görüntü üzerindeki toplam nokta sayısını,  $(x_i, y_i)$  referans görüntü UTM koordinat sisteminde her  $i$  noktası için koordinat bileşenlerini,  $(x_i'', y_i'')$  dönüşüm sonrası her  $i$  noktası için hesaplanan koordinat bileşenlerini ifade etmektedir.

**Tablo 1.** Projektif dönüşüm sonrası her bir nokta için hatalar

Görüntü	Nokta No	$\Delta x^2$ (m)	$\Delta y^2$ (m)	$\Sigma$ (m)
2003	1	0.325	0.176	0.501
	2	0.425	0.039	0.464
	3	0.086	0.001	0.087
	4	0.442	0.034	0.476
	5	0.244	0.008	0.252
	6	0.566	0.000	0.567
	7	0.460	0.031	0.491
	8	0.301	0.099	0.400
	9	0.094	0.000	0.094
	10	0.000	0.372	0.372
	11	0.222	0.139	0.360
	12	0.217	0.033	0.250
	13	0.069	0.095	0.163
	14	0.645	0.046	0.691
2008	1	0.142	0.026	0.169
	2	0.067	0.006	0.073
	3	0.087	0.028	0.115
	4	0.036	0.088	0.124
	5	1.054	0.037	1.090
	6	0.155	0.042	0.197
	7	0.654	0.022	0.676
	8	0.410	0.035	0.445
	9	0.037	0.014	0.051
	10	0.036	0.002	0.038
	11	0.063	0.007	0.070

Bu çalışmada değişik sensörlerle tarafından farklı zamanlarda kaydedilmiş çok-bantlı uzaktan algılanmış görüntülerin otomatik çakıştırılmasına yönelik özellik tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım sayesinde alım noktası konumlarının farklılığı, dönüklük, ölçek gibi geometrik parametrelerden bağımsız olarak özellik çıkarma eşleştirme ve çakıştırma işlemleri yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmiştir. Bununla birlikte uzaktan algılanmış görüntü verilerinde çoğu zaman aynı detayların sahip olabildiği radyometrik, spektral farklılıklar ve gürültü gibi etmenler otomatik çakıştırma performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum bir yandan SURF algoritması ile tespit edilen ilgi noktası sayısını azaltabilmekte bir yandan da her iki görüntü çifti üzerinde uygun konumsal dağılımlı arzulanan sayıda güçlü eşlenik nokta tespitini güçleştirmektedir. Önerilen yaklaşımda görüntü iyileştirme aşamasında uygulanan ana bileşenler dönüşümü sayesinde görüntülerin spektral ve radyometrik karakteristiğinden kaynaklı bu tür olumsuzluklar çok-bantlı verideki değerli bilgiden faydalanılarak minimum düzeye indirgenmiştir. Bu sayede hem SURF özellik çıkarma performansı hem de otomatik çakıştırma işleminin konumsal doğruluğu artmıştır.

Gelecek çalışmalarda önerilen yaklaşım üzerinde, tespit edilen eşlenik noktaların konumsal

dağılımını dikkate alabilecek ve elde edilen güçlü eşlenik nokta sayısının arttırabilecek şekilde çeşitli iyileştirmeler yapılması amaçlanmaktadır. Ayrıca yaklaşımın spektral bant sayısı daha fazla yüksek konumsal çözünürlüklü farklı veri setleri üzerinde performansının irdelenmesi amaçlanmaktadır.

**Şekil 5.** Otomatik çakıştırılması yapılmış (a) 2003 ve (b) 2008 tarihli hava görüntüleri

### Teşekkür

Yazar çok bantlı hava görüntülerini sağladıkları için GLCF (Global Land Cover Facility) organizasyonuna teşekkür eder.



**Kaynakça**

- Acar, H., Karsli, F., Dihkan, M. (2017). Automatic 3D Coordinate Extraction from High Resolution Digital Aerial Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(2), 209-216.
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2008). Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*, 110(3), 346-359.
- Brown, L. G. (1992). A survey of image registration techniques. *ACM computing surveys (CSUR)*, 24(4), 325-376.
- Brown, M., Lowe, D. G. (2002). Invariant features from interest point groups. In: *BMVC*, 4.
- Fischler, M. A., Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 381-395.
- Fonseca, L. M., & Manjunath, B. S. (1996). Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery. *PE & RS-Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62(9), 1049-1056.
- Gonçalves, H., Corte-Real, L., Gonçalves, J. A. (2011b). Automatic image registration through image segmentation and SIFT. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(7), 2589-2600.
- Gonçalves, H., Gonçalves, J. A., Corte-Real, L. (2011a). HAIRIS: A method for automatic image registration through histogram-based image segmentation. *IEEE transactions on image processing*, 20(3), 776-789.
- Harris, C., Stephens, M. (1988). A combined corner and edge detector. In: *Alvey vision conference*, 15(50), 10-5244.
- Hartley, R., Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.
- Li, Q., Wang, G., Liu, J., Chen, S. (2009). Robust scale-invariant feature matching for remote sensing image registration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6(2), 287-291.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Ma, W., Wen, Z., Wu, Y., Jiao, L., Gong, M., Zheng, Y., Liu, L. (2017). Remote sensing image registration with modified SIFT and enhanced feature matching. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(1), 3-7.
- Rosten, E., Drummond, T. (2006). Machine learning for high-speed corner detection. In: *European conference on computer vision*, 430-443, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Smith, S. M., Brady, J. M. (1997). SUSAN - a new approach to low level image processing. *International journal of computer vision*, 23(1), 45-78.
- Yang, K., Pan, A., Yang, Y., Zhang, S., Ong, S. H., Tang, H. (2017). Remote sensing image registration using multiple image features. *Remote Sensing*, 9(6), 581.
- Zitova, B., Flusser, J. (2003). Image registration methods: a survey. *Image and vision computing*, 21(11), 977-1000.

## Mevlana Türbesi Civarında Oluşan Kentsel Gelişim ve Değişimlerin Hava Fotogrametrisi Verilerinden Yararlanarak Görüntülenmesi

### Urban Growing and Change Visualization in Mevlana Region Using Spatial Data from Aerial Images

Cihan ALTUNTAŞ\*

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya

• Geliş tarihi / Received: 25.09.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 25.01.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 18.02.2019

#### Öz

Fotogrametrik görüntülerden otomatik olarak tanımlanan yerel özellik noktaları ile görüntüler arasında eşlenik noktalar oluşturulabilmekte ve fotogrametrik bağıntılar yardımı ile istenilen sıklıkta nokta ölçüsü gerçekleştirilebilmektedir. Fotoğraflardan elde edilen ölçü noktalarının oluşturduğu nokta bulutu araziye ait zengin konum bilgisi içermektedir. Diğer yandan ardışık nokta bulutu ölçülerinin karşılaştırılması ile görüntü alanına ait değişiklikler tespit edilebilir. Bu çalışmada Konya ili Mevlana Türbesi civarında oluşan kentsel değişimler incelenmiştir. 1951, 1975 ve 2010 yıllarına ait fotogrametrik görüntülerden yoğun nokta bulutları oluşturulmuş ve nokta bulutları arasındaki düşey farklar ile kentsel alan değişimleri görüntülenmiştir. Ayrıca ölçü periyotlarına ait ortofoto görüntüler oluşturularak değişimlerin görsel olarak değerlendirilebilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Fotogrametri, Hava fotoğrafı, Kentsel değişim, Ortofoto, Yoğun nokta bulutu

#### Abstract

Keypoints which is detected automatically from images enable conjugate points creation between photogrammetric images, and dense point cloud can be generated by proceeding the photogrammetric process. The dense point cloud data includes many spatial information related to imaging area. On the other hand topographic changes can be detected by comparing two periods of point clouds. In this study urban changes in Mevlana region of Konya city was visualized by comparing three periods of point clouds belong the year 1951, 1975 and 2010. The urban changes were estimated with the vertical distances between compared point clouds. In addition, orthophoto images were created for analysing the related changes.

**Keywords:** Photogrammetry, Aerial image, Urban change, Dense point cloud, Orthophoto

\* Cihan ALTUNTAŞ; caltuntas@selcuk.edu.tr; Tel: (0332) 223 18 94; orcid.org/0000-0002-5754-2068

## 1. Giriş

Üç boyutlu (3B) nokta bulutu oluşturma pek çok alanda ihtiyaç duyulan yaygın bir ölçme yöntemi haline gelmiştir. Özellikle 3B modelleme çalışmalarında ve ölçme alanına ait daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğunda nokta bulutu oluşturacak şekilde ölçü gerçekleştirilmektedir. Arazi topoğrafyasına ait nokta bulutu ölçüleri LiDAR (Light Detection and Ranging), SAR (Synthetic Aperture Radar) ve fotogrametrik görüntülerden elde edilebilmektedir. Havadan ve yerden yapılan mobil LiDAR yönteminde ölçme aletinin kabiliyetine bağlı olarak arazi topoğrafyası belirli bir nokta sıklığı ile ölçülür (Ghuffar vd., 2013). Ölçme doğruluğu iyi ancak maliyetinin yüksek olması nedeniyle kolay ulaşılabılır bir ölçme yöntemi değildir. SAR yönteminde arazi yüzeyi belirli aralıkta gridlere bölünerek ölçülür. Grid aralıkları çok kısa olmadığından geniş arazi topoğrafyalarının ölçümü için uygundur (Bildirici vd., 2009). SAR uydu bazlı bir ölçme tekniğidir ve ölçü doğruluğu LiDAR yöntemine göre düşüktür. Oysa fotogrametri yöntemi düşük maliyetli ve yüksek doğrulukta ölçü yapabilme imkânı sağlar. Fotogrametrik yöntemde stereo görüntüler uçak, helikopter, insansız hava aracı (iHA) ve yersel yöntemlerle elde edilir. Geliştirilen yeni değerlendirme teknikleri ile görüntülerden ölçü verisi elde etmede otomatik yöntemler uygulanmaktadır ve yoğun nokta bulutu verisi çok kısa sürede oluşturulabilmektedir. Fotogrametrik görüntülerden yoğun nokta bulutu oluşturma düşük maliyetli ve kolay uygulanabilen bir yöntemdir. Fotogrametrik nokta bulutunun doğruluğu ise oldukça yüksektir ve pek çok araştırmada kullanılmıştır (Rosnell ve Honkavaara, 2012; Haala, 2011). Nokta yoğunluğu, doğruluk ve maliyet bakımından karşılaştırıldığında fotogrametrik nokta bulutu LiDAR yöntemine göre daha üstündür. Fotogrametrik yöntemde ölçme doğruluğu bir piksel büyüklüğünden daha iyi seviyededir. Nokta yoğunluğu ise LiDAR yöntemine göre daha fazladır. Diğer yandan fotoğrafın içerdiği zengin semantik bilgi fotogrametrik yöntemi öne çıkaran özelliklerdendir (Leberl vd., 2010). Ancak eşlenik nokta oluşturulabilecek detayların az olduğu su yüzeyi ve ekili alanlarda yeterli sayıda nokta üretmek sorun olabilmektedir.

Fotogrametrik nokta bulutu oluşturma, haritalama, kent modelleme, ziraat, ormancılık ve doğal afetlerin oluşturduğu zararların görüntülenmesi gibi pek çok alanda kullanılmıştır. Yang vd. (2013) otomatik görüntü eşleme yöntemi ile sanal

gerçeklik uygulamasını farklı boyutlarda iç ve dış mekân objeleri için yapmış ve işlem adımlarını detaylı olarak tanımlamıştır. Jensen ve Mathews (2016) İHA ile alınan görüntüleri kullanarak fotogrametrik nokta bulutu ile sayısal yükseklik modeli (SYM) üretmişler ve ağaç yüksekliklerini belirlemişlerdir. Aynı işlem LiDAR verileri kullanılarak da yapılmış ve iki yöntem ile üretilen SYM arasında ortalama 19 cm fark olduğu belirtilmiştir. Orman alanındaki büyük çaplı değişiklikler hava fotoğraflarından üretilen yoğun nokta bulutu ile tespit edilebilirken tek ağaç gibi küçük değişiklikler tespit edilememiştir. Ancak yine de orman alanlarındaki değişikliklerin izlenmesinde fotogrametrik yoğun nokta bulutu yönteminin diğer yöntemlere göre tercih edilebilir olduğu ifade edilmiştir (Sisto ve Packalen, 2017). Diğer bir çalışmada uçaktan ve İHA ile alınan görüntülerden üretilen SYM ile doğal afet zararların tespiti yapılmıştır (Cusicanqui, 2016). Benzer bir çalışmada İHA ile alınan görüntülerden üretilen nokta bulutu ile hacim karşılaştırması yapılarak toprak kayması nedeniyle oluşan değişiklikler 12 cm karesel ortalama hata (KOH) ile tespit edilmiştir (Al-Rawabdeh vd., 2017).

Başka bir çalışmada ise iki farklı tarihli hava fotoğrafı ile yapılaşmış ve yapılaşmamış alanlardaki değişiklikler tespit edilmiştir. Değişikliklerin belirlenebilmesi için zeminde tespit edilen detaylar ikili (binary) kodlara dönüştürülerek değişime uğrayanlar ve uğramayanlar olarak sınıflandırılmıştır. Özellikle yeni bina, kat eklenmesi ve yıkılan binalar detaylı olarak tespit edilebilmiştir (Pang vd., 2018). Binaların oluşturduğu değişim LiDAR verisinden düzlem yüzeylerin segmentasyonu ile de tespit edilmiştir (Awrangjeb vd., 2015). Nebiker vd. (2014) kentsel alanda yeni yapılan binaları fotogrametrik yoğun nokta bulutu ve LiDAR verilerinden tespit etmiştir. Benzer bir çalışmada eski tarihli hava fotoğraflarının yoğun nokta bulutu ile yeni tarihli LiDAR ölçüsü karşılaştırılarak yeni binalar ve oluşan değişiklikler tespit edilmiştir (Du vd., 2016). Uydu fotoğraflarından üretilen yoğun nokta bulutu ile LiDAR ölçüsü karşılaştırılarak yapılan çalışmada ise oluşan değişiklikler %90 doğruluk ile tespit edilmiştir (Basgall vd., 2014).

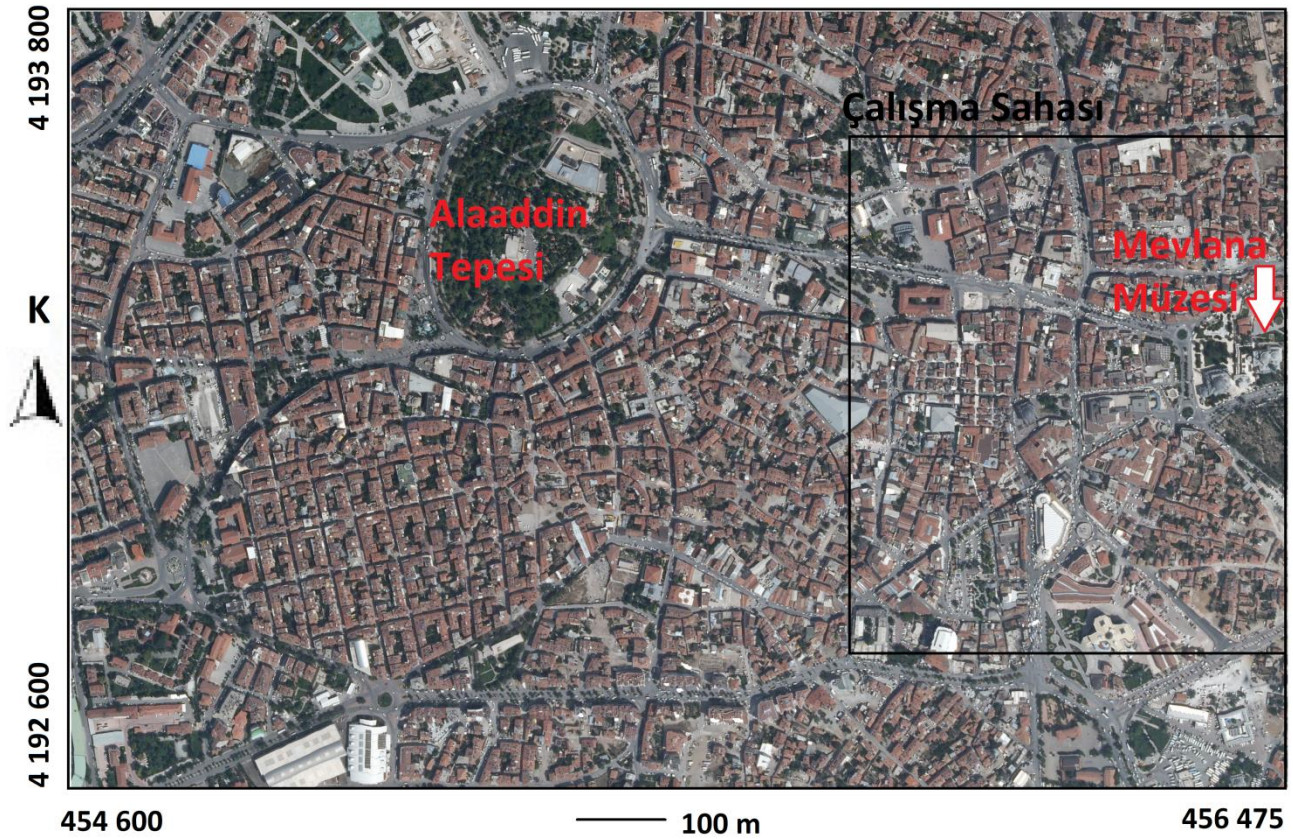
Kentsel alanlarda oluşan değişimler yapılaşma, ilave kat, kazı ve dolgu gibi faaliyetler sonucu ortaya çıkmaktadır. Kentsel alanlardaki değişikliklerin izlenmesi kentin tarihi gelişim sürecinin görüntülenmesi yanında kentsel denetimlerin etkili bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Kentin tarihi süreçte geçirdiği

değişim bundan sonraki planlama çalışmalarına da ışık tutacaktır. Diğer yandan kentsel denetim kapsamında kaçak bina, izinsiz kazı ve hafriyat atığı depolama alanları tespit edilebilecek ve gerekli önlemler alınacaktır. Ayrıca deprem gibi doğal afetler nedeniyle oluşan hasarlar ve topoğrafya değişimlerinin hızlı bir şekilde tespit edilmesi müdahale ve yardım çalışmalarını kolaylaştıracaktır. Bu çalışmada Konya Mevlana Müzesi ve çevresinde oluşan kentsel değişimler 1951, 1975 ve 2010 yılı stereo hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutları karşılaştırılarak görüntülenmiştir. Makalenin ikinci bölümünde çalışma alanı tanımlanmış, üçüncü bölümde kullanılan yöntemler açıklanmış,

dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümlerde ise sırasıyla tartışma ve sonuç bölümleri verilmiştir.

## 2. Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi, Mevlana Müzesini içine alan  $37^{\circ}51'59.4294929''K$ ,  $32^{\circ}29'51.647973''D$  ve  $37^{\circ}52'25.4936427''K$ ,  $32^{\circ}30'19.2943553''D$  coğrafi koordinatlarının sınırlandırdığı alandır. Boyutları doğu-batı yönünde 680 m ve kuzey-güney yönünde 800 m dir. Çalışma alanının büyük kısmı konut ve işyeri binalarından oluşmakta, ayrıca asfalt kara yolu ve mezarlık alanı bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma sahası (Harita kaynağı: Google Earth)

## 3. Materyal ve Metot

Stereo görüntülerden oluşturulan nokta bulutu ile sayısal yüzey modeli oluşturulabilir ve farklı tarihli sayısal yüzey modellerinin karşılaştırılması ile bu tarihler arasında oluşan değişiklikler tespit edilebilir. Jeodezik koordinatlandırma, fotoğraflardan oluşturulan nokta bulutunun hem ölçeklendirilmesini hem de ortak bir koordinat sisteminde ifade edilmesini sağlar. Nokta bulutları jeodezik koordinat sistemine dönüştürüldükten sonra İteratif En Yakın Nokta (İEYN) yöntemi ile

hassas yöneltmesi yapılarak birleştirilir ve görüntüleme tarihleri arasında oluşan değişiklikler tespit edilir. Çalışma kapsamında takip edilen temel işlem adımları şu şekildedir:

1. Değişim incelenecek zaman aralığının başlangıç ve bitiş tarihlerine ait stereo görüntülerin elde edilmesi (1951, 1975, 2010 tarihleri)
2. Oluşturulacak nokta bulutu koordinatlarının jeodezik koordinat sistemine dönüşümü için detay noktalarından Yer Kontrol Noktası

(YKN) oluşturma ve koordinatlarının ölçülmesi

3. Fotogrametrik görüntülerden yoğun nokta bulutu oluşturma
4. Yoğun nokta bulutunun YKN ile jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi
5. Değişim incelenecek periyodun yeni tarihli nokta bulutunun eski tarihli nokta bulutu koordinat sistemine İEYN yöntemi ile hassas dönüşümü
6. Yeni tarihli nokta bulutundan eski tarihli nokta bulutuna olan düşey mesafeler hesaplanarak değişimlerin tespiti ve görüntülenmesi.

### 3.1. Hava Fotoğraflarının Temini

Çalışma alanını kapsayan 1951, 1975 ve 2010 yıllarına ait stereo hava fotoğrafları Harita Genel Müdürlüğü (HGM)' den temin edilmiştir. 1951 ve 1975 tarihli hava fotoğrafları analog kameralar ile çekilmiş ve daha sonra HGM de film tarayıcı ile sayısallaştırılarak dijital ortama aktarılmıştır. Fotoğraflara ait herhangi bir kamera kalibrasyon bilgisi ve dış yöneltme parametreleri edinilememiştir. 2010 yılı görüntüsü ise dijital hava kamerası ile çekilmiştir. Hava fotoğraflarına ait bilgiler Tablo 1 de verilmiştir.

**Tablo 1.** Hava fotoğraflarına ait bilgiler

Çekim Tarihi	Hava Kamerası Tipi	Odak Uzaklığı (mm)	Resim/Görüntü Boyutları
1951	Analog	204.18	18 x 18cm
1975	Analog	208.17	18 x 18cm
2010	Dijital (UltraCamX)	100.50	9420 x 14430 piksel 7.20mikron

### 3.2. YKN Oluşturma

YKN, hava fotoğraflarından oluşturulan nokta bulutunun jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi için gereklidir. Fotoğrafların kapladığı alanda önceden tesis edilmiş YKN bulunmamakta ve dış yöneltme parametreleri bilinmemektedir. Bu durumda fotoğrafların yöneltme işlemleri stereoskopik görüntü alanındaki detaylardan YKN oluşturularak yapılmıştır. Oluşturulan YKN hem fotoğraftan seçilebilmeli hem de arazide mevcut bir detay noktası olmalıdır. Bu özellikleri taşıyan bina duvarı, bahçe duvarı, kavşaklar ve benzeri

detaylar seçilerek YKN oluşturulmuştur (Şekil 2). Seçilen bir detay üç farklı tarihli görüntülerin tamamında tespit edilemediğinden her görüntü için farklı YKN tesis edilmiştir. Sonuçta oluşturulan YKN den bir kısmı yalnız ilgili görüntüye ait iken bazıları bütün stereoskopik görüntülerde ortaktır. Eski tarihli fotoğraflar için yapılaşmamış boş arazilerde YKN tesisi zordur. Ancak Konya tarihi bir kent olması nedeniyle çok sayıda tarihi esere sahiptir ve bu yapılar kullanılarak yeterli sayıda YKN tesis edilebilmiştir. Toplam 19 YKN tesis edilmiş ve bunların jeodezik koordinatları GNSS alıcıları ile ölçülmüştür.



**Şekil 2.** Yer kontrol noktası olarak seçilen detay noktalarından örnekler

### 3.3. Kentsel Değişimlerin Tespiti

Ardışık iki nokta bulutu arasındaki farklar bu tarihler arasında oluşan kentsel değişimleri ifade eder. Nokta bulutları arasındaki farkların hesaplanmasında noktadan noktaya, noktadan yüzeye (mesh üçgen yüzeyi elemanı) olan mesafeler kullanılmakta ve filtreleme, bulanık mantık ve İEYN algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Noktadan yüzeye olan mesafelerin hesaplanmasında nokta dağılımındaki düzensizliklerin ve boşlukların sonuca olumsuz etkisi olmamaktadır. Cisim bazında oluşan kentsel değişimler bu yöntem ile otomatik olarak tespit edilebilmiştir. Kısa zaman aralığında oluşan küçük değişiklikler ve geniş zaman aralığında oluşan büyük değişiklikler noktadan yüzeye olan mesafeler hesaplanarak tespit edilebilmiştir (Xiao vd., 2015; Barnhart ve Crosby, 2013). Grid yönteminde ölçme verisi düzgün aralıklar oluşturacak şekilde yeniden örneklenir ve grid yüzeylerinin karşılaştırılması ile değişiklikler tespit edilir (Scaioni vd., 2013). Makine öğrenmesi yönteminde ise çalışma alanı farklı sınıflara bölünerek 3B ölçme verisi karşılaştırılmaktadır ve %90 seviyesinde doğruluk elde edilmiştir (Tran vd., 2018).

İEYN yönteminde, yaklaşık yöneltmesi yapılmış ortak tarama alanına sahip iki nokta seti arasındaki eşlenik en yakın nokta çiftleri bulunur ve bunlarla hassas dönüşüm iteratif olarak uygulanır. İEYN algoritmasının (Chen ve Medioni, 1992) farklı uygulamaları çok sayıda çalışmada değişikliklerin tespiti için kullanılmıştır. Depremlerin meydana getirdiği zararlar ve değişiklikler deprem öncesi ve sonrası LiDAR nokta bulutlarının İEYN uygulanarak karşılaştırılması ile elde edilmiştir. LiDAR ölçülerinin birleştirilmesi 0.44 m hata ile gerçekleştirilmiştir (Zhang vd., 2015).

Bu çalışmada iki nokta bulutu İEYN ile birleştirildikten sonra hedef nokta bulutu noktalarının referans nokta bulutunun mesh yüzeyine olan mesafeleri ile değişiklikler görüntülenmiştir.

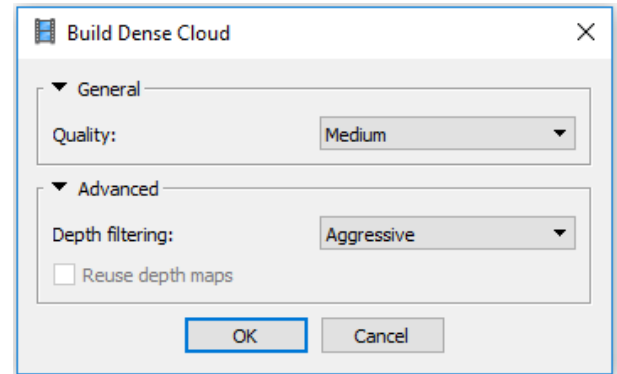
## 4 Sonuçlar

### 4.1. Nokta Bulutu Oluşturma

SfM algoritması kullanılarak yöneltme parametreleri hesaplanan görüntü setinden, daha fazla sayıda eşlenik nokta oluşturularak fotogrametrik bağıntılarla yoğun nokta bulutu oluşturulur. SfM algoritması çoklu görüntü

setinden belirli özellikteki görüntü noktalarının otomatik tespiti ve eşleştirilmesi ile detay noktalarının ve kamera konumlarının tanımlı bir görüntü koordinat sisteminde ifade edilmesidir. Bu işlemde kamera parametreleri, resim dönüklükleri ve eşlenik resim noktalarının 3B koordinatları ışın demetleri dengelemesi ile iteratif olarak hesaplanmaktadır. Kolay ve hızlı uygulanabilmesi ve özel maliyet gerektirmemesi nedeniyle fotoğraftan nokta bulutu oluşturma geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Stereoskopik görüntülerden nokta bulutu oluşturmak için Agisoft Photoscan yazılımı kullanılmıştır. Fotoğraflara ait kalibrasyon bilgileri olmadığından iç yöneltme parametreleri olmadan nokta bulutu oluşturma işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntülerin eşleştirilmesi ile seyrek nokta bulutu oluşturulduktan sonra yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur (Tablo 2). Yoğun nokta bulutu oluşturma süresi nokta sayısı ile orantılıdır ve en az nokta üretilen 1951 yılı için 17 saniye, en fazla nokta üretilen 2010 yılı için 27 saniyedir. 1975 yılı yoğun nokta bulutu verisi üç adet fotoğrafın stereoskopik alanından üretilmiştir. Bu nedenle yoğun nokta bulutu oluşturma süresi diğerlerinden fazladır ve 1 dakika 42 saniye sürmüştür. Photoscan yazılımı yoğun nokta bulutu oluşturmada çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bu çalışmada “Medium” (orta yoğunluk) seçeneği ile nokta bulutu oluşturulmuştur. Ayrıca “Advanced” penceresi hatalı olabilecek noktaların ayıklanmasında ileri seçenekler sunar. Bunlardan, çalışma içeriği bakımından küçük detayların çok önemli olmadığı “Aggressive” seçeneği kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Yoğun nokta bulutu oluşturma ayarları penceresi

Yüksek binaların oluşturduğu gölgeleme etkisi nedeniyle nokta bulutlarında boşluklar oluşmaktadır. Diğer yandan eşlenik nokta oluşturulamayan alanlarda (cam kaplı binalar gibi)

da boşluklar oluşmaktadır. Ancak çalışma alanında bu tür yüzeylerden kaynaklanan boşluklar oluşmadığı değerlendirilmiştir. Nokta

üretilmeyen alanlar komşu alanlardan enterpolasyon ile nokta hesaplanarak doldurulmuştur.

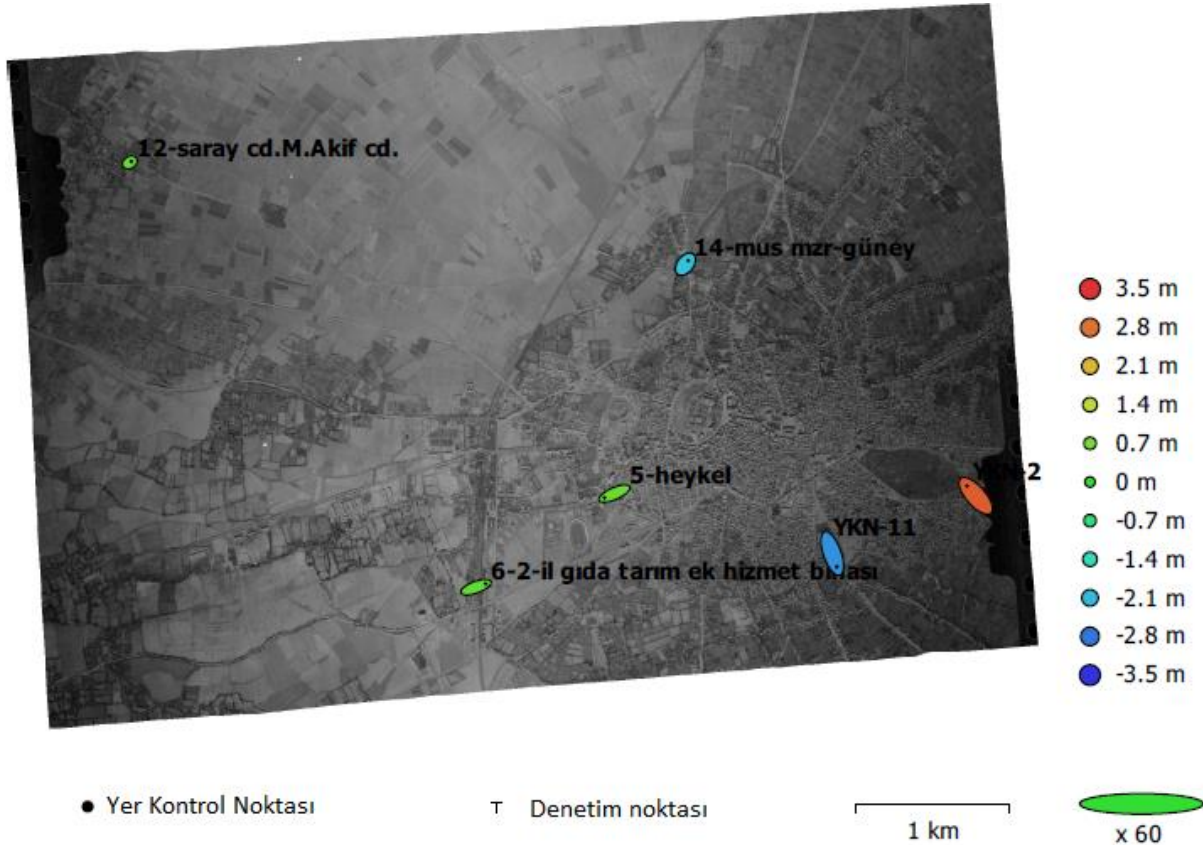
**Tablo 2.** Nokta bulutu oluşturma işlemine ait sonuçlar

	Yıl 1951	Yıl 1975	Yıl 2010
Fotoğraf sayısı#	2	3	2
Uçuş kotu	6.27 km	7.26km	8.05 km
Yer çözünürlüğü	73.4 cm/piksel	40.3 cm/piksel	50.2 cm/piksel
Stereo alan	27.6 km <sup>2</sup>	22.7 km <sup>2</sup>	21.7 km <sup>2</sup>
Eşleme noktaları	1616of1756	6527of6655	3870of3994
Nokta ışını sayısı	3232	13487	7740
Resim koor. hatası	0.989 piksel	0.867 piksel	0.259 piksel
Max.resim koor. hatası	5804 piksel	8034 piksel	1910 piksel
Yoğun nokta sayısı	2539040	8859870	5243623

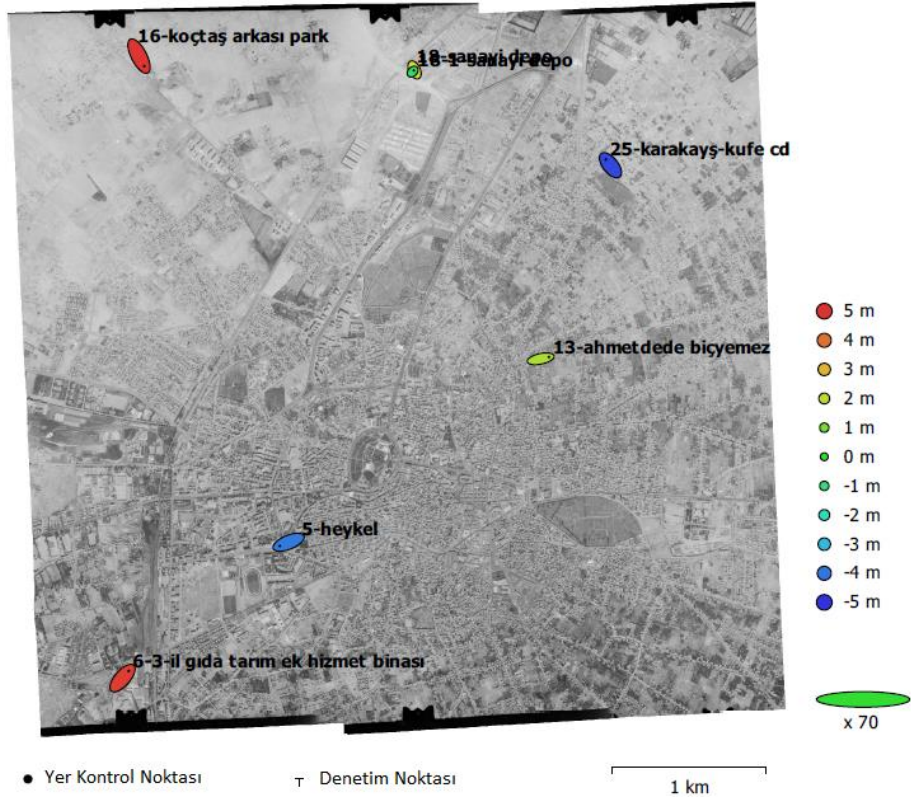
#### 4.2. Jeodezik Koordinatlandırma

Her nokta bulutu yeterli sayıda YKN ile jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşüm sonunda YKN da oluşan artık hatalar ile dönüşümün doğruluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen koordinat farkları dönüşümün yüksek

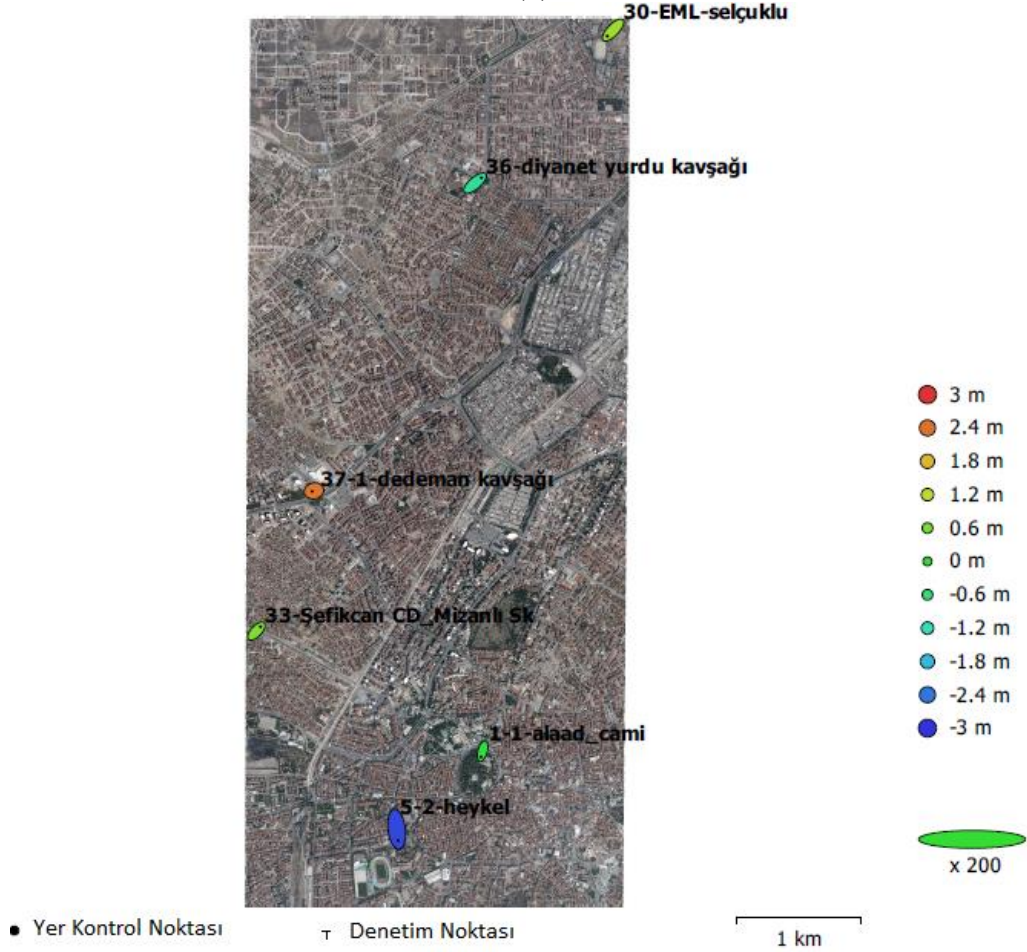
doğrulukta yapıldığını göstermektedir (Şekil 4, Tablo 3). Detay YKN kullanılan benzer çalışmalarla kıyaslandığında jeodezik koordinatlandırma yüksek doğrulukla yapılmıştır (Nebiker vd., 2014; Hughes vd., 2006). Diğer yandan resimlerin bağlantı noktalarındaki artık hatalar ise 1 pikselden daha düşüktür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. (a) 1951, (b) 1975, (c) 2010 yılı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde kullanılan YKN ve oluşan hatalar. X,Y hataları elipsin büyüklüğü ile, Z yükseklik hataları ise yan tarafta verilen renkli lejant ile gösterilmiştir.



Jeodezik koordinat sistemine dönüşümün doğruluğu YKN larında oluşan koordinat farklarının KOH'sı ile ifade edilir (Tablo 3).

$$KOH_Z = \sqrt{\frac{\sum(z_s - z_r)^2}{n}} \quad (1)$$

$$KOH_{XY} = \sqrt{\frac{\sum(x_s - x_r)^2 + \sum(y_s - y_r)^2}{n}} \quad (2)$$

$$KOH_{XYZ} = \sqrt{\frac{\sum(x_s - x_r)^2 + \sum(y_s - y_r)^2 + \sum(z_s - z_r)^2}{n}} \quad (3)$$

Bu eşitliklerde alt indis  $s$  ve  $r$ , YKN'nın sırasıyla ölçülen ve dönüşüm parametreleri ile hesaplanan koordinatlarını ifade etmektedir.  $n$ , YKN sayısıdır. Tablo 3 de "Resim düzlemi" sütunundaki değerler her görüntü seti için hesaplanan parametrelerle yer kontrol noktalarının resim düzlemindeki konumlarında oluşan hataların (reprojection) KOH' sı ifade etmektedir. Bu hatanın 1 piksel ve daha düşük değerde olması da jeodezik koordinatlandırma doğruluğunun yeterli seviyede olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.** YKN koordinat farkları ve KOH [m]

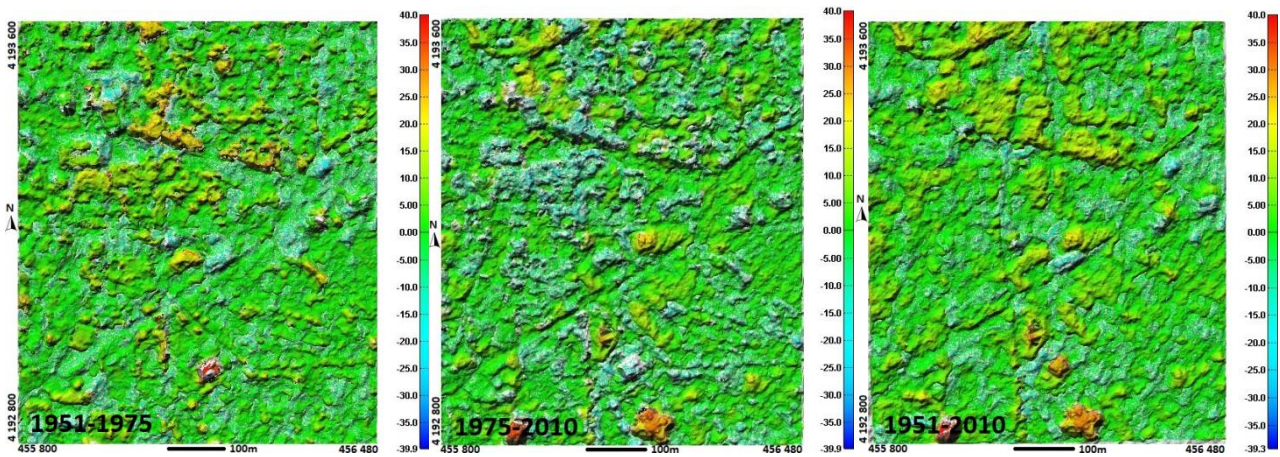
Tarih	YKN#	KOH <sub>Z</sub>	KOH <sub>XY</sub>	KOH <sub>XYZ</sub>	Resim düzlemi (piksel)
1951	6	1.86482	2.21835	2.8980	1.123
1975	7	3.66713	1.50131	3.96255	0.437
2010	6	1.62285	0.61077	1.73398	0.280

### 4.3. Değişimlerin Görüntülenmesi

Jeodezik koordinat sistemine dönüşüm ile ölçüler ortak bir sistemde ifade edilmiş olur. Ancak YKN'larının tanımlanması, ölçülmesi ve diğer hatalar nedeniyle bir miktar dönüşüm hatası olacaktır. Dönüşümden sonra YKN'larındaki koordinat farkları da bunu göstermektedir. Bu nedenle değişim tespit edilecek periyotlar arasında jeodezik koordinat dönüşümünden kaynaklanan bir fark oluşacaktır. Bu farkın iki periyot arasında sayısal yükseklik modeli farkları ile hesaplanacak değişimi etkilememesi için karşılaştırma yapılan nokta bulutlarının birbirlerine göre hassas yönlendmesi yapılmıştır. Böylece iki farklı periyot nokta bulutu arasındaki değişimin daha yüksek doğrulukla hesaplanması sağlanmıştır. Değişim incelenecek tarih aralığının eski tarihli ölçüsü referans (sabit) değeri hedef (referans sisteme dönüştürülecek) seçilerek hedef nokta bulutunun referans sisteme dönüşümü İEYN metodu ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hedef ölçüye ait noktaların referans nokta bulutu üçgen yüzeyine (mesh) olan düşey mesafeleri saplanarak 1951-1975, 1975-2010 ve 1951-2010 tarihleri arasında oluşan değişimler görüntülenmiştir (Şekil 5).

### 5. Tartışma

Her nokta bulutunun jeodezik koordinat sistemine dönüşümü için uygun dağılımda en az üç YKN gereklidir.



**Şekil 5.** 1951-1975, 1975-2010 ve 1951-2010 tarihleri arasında oluşan değişiklikler. İlk tarih ve ikinci tarih arasında oluşan yükseklik değişiminin büyüklüğü ve yönü lejant ile ifade edilmiştir.

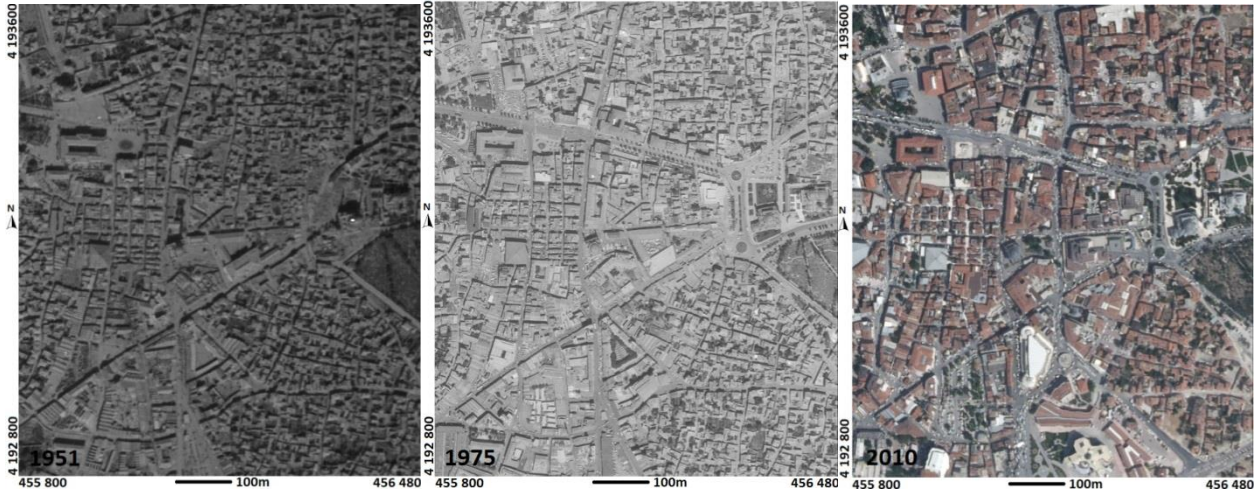
Bu çalışmada görüntü alanındaki detaylar daha fazla sayıda YKN tesis edilmesine olanak sağlamıştır. Detay esaslı YKN tesisi özellikle bina

içermeyen eski tarihli görüntüler için oldukça zordur. Bu tür alanlarda yol, akarsu gibi doğal özelliklerden yararlanılarak kontrol noktası tesis

edilebilir. Ancak bu tür doğal detayların belirgin özellikleri olan noktalarını bulmak zordur ve fotoğrafta ve mevcut durumda yeterli doğrulukta tanımlanamaz. YKN tesisinde karşılaşılan diğer bir problem GPS sinyali alınmadığı durumlarda koordinat ölçüsünün yapılamamasıdır. Sinyal alınamayan noktalarda uygun konumda başka detay noktaları seçilmiştir. Elde edilen koordinat farkları ve dönüşüm hataları jeodezik koordinat sistemine dönüşümün yüksek doğrulukta yapıldığını göstermektedir (Tablo 3).

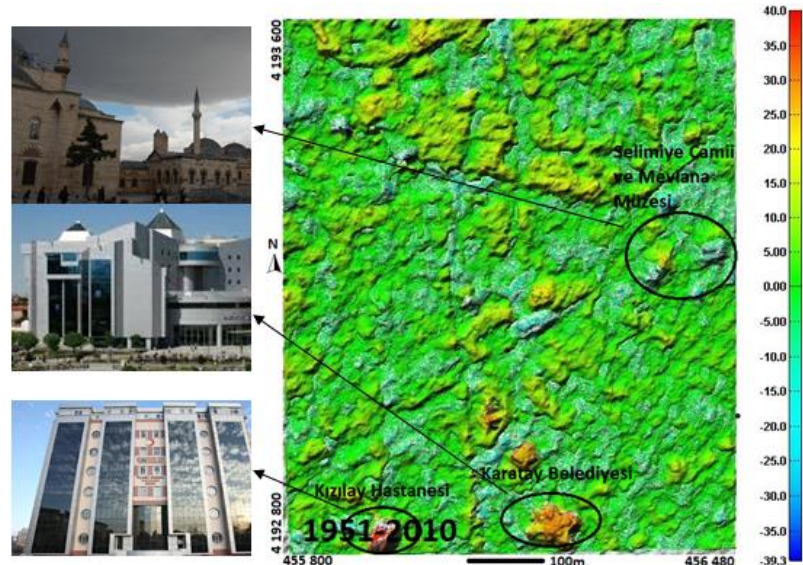
Çalışma bölgesinde oluşan değişiklikler ortofoto görüntülerden de açıkça görülmektedir. 1951 tarihli görüntüde Alaaddin Tepesi'ni Mevlana Müzesi'ne bağlayan cadde yok iken 1975 ve 2010 tarihli görüntülerde caddenin bugünkü şeklini aldığı görülmektedir (Şekil 6). Mevlana Müzesi yanındaki Sultan Selim Camii'nin kuzey tarafında 1951 tarihinde park ve yüksek ağaçlar bulunmaz iken 2010 tarihinde bu alanda bulunan yüksekliği

20 m ye ulaşan ağaçların bulunduğu görüntülerin karşılaştırılmasından anlaşılmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntem ile değişikliklerin tespitinde önemli problemlerden birisi de ağaçların yapraklı ve yapraksız durumlarında oluşan farklılıklardır. Diğer yandan yeni binaların oluşturduğu değişiklikler de görüntülerin karşılaştırılmasından açıkça görülmektedir. 9 katlı Kızılay Hastanesi ve 8 katlı Karatay Belediye Binası 1975-2010 yılları arasında yapılmıştır. Bu tarihlere ait sayısal yükseklik modellerinin karşılaştırılması ile bu binaların oluşturduğu değişimler görülmektedir (Şekil 7). Değişiklikler hem ortofoto hem de nokta bulutlarının karşılaştırılması ile elde edilen görüntülerden anlaşılabilir. Ancak ortofoto görüntüden sadece görsel değişimler fark edilebilir. Oysa nokta bulutlarının karşılaştırılması yönteminde oluşan değişikliklerin yükseklik olarak miktarları ve yönleri de görülebilmektedir.



Şekil 6. 1951 (73cm çözünürlük), 1975 (40cm çözünürlük) ve 2010 (50cm çözünürlük) tarihli ortofoto görüntüler

Şekil 7. Kentsel değişimlerin sayısal yükseklik modellerinin farkları ile görüntülenmesi. Mevlana Müzesi civarında 1951-2010 arasında önemli bir değişim gözlenmemektedir. Diğer yandan Karatay Belediye Binası ve Kızılay Hastanesi'nin ortalama 30 m civarındaki yükseklik değişimi oluşturduğu görülmektedir.



## 6. Sonuç

Bu çalışmada, belirli zaman aralığında kaydedilen hava fotoğraflarından oluşturulan fotogrametrik nokta bulutları karşılaştırılarak kentsel alanda meydana gelen değişiklikler görüntülenmiştir. Değişikliklerin tespitinde nokta bulutlarının oluşturduğu yüzeyler arasındaki mesafeler kullanılmıştır. İEYN yöntemi ile nokta bulutları birleştirildikten sonra bunlar arasındaki değişiklikleri ifade eden farklar hedef nokta bulutu noktalarından referans ölçünün üçgen yüzeyi elemanlarına olan düşey mesafelerle hesaplanmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem kentsel alanda meydana gelen büyük ölçekli değişimlerin tespit edilebilmesi için kolay ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Bunun yanında gelişen insansız hava araçları ile görüntüleme, yöntemin uygulanmasında pek çok olanak sunmaktadır. İHA görüntüleri gibi büyük ölçekli görüntüler kullanılarak daha küçük değişikliklerin tespiti yapılabilecektir. Diğer yandan görüntüleme periyodu sıklaştırılarak değişiklikler daha kısa sürede tespit edilebilir ve kentsel alanda daha etkin bir denetleme yapılabilir.

## Bildirim ve Kabul

Bu çalışmada kullanılan hava fotoğrafları Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından desteklenen 17401062 nolu projeden sağlanmıştır.

## Kaynaklar

Al-Rawabdeh, A., Moussa, A., Foroutan, M., El-Sheimy, N. ve Habib, A., 2017. Time series UAV image-based point clouds for land slide progression evaluation applications. *Sensors*, 17, paper no 2378 doi:10.3390/s17102378

Awrangjeba, M., Fraser, C.S. ve Lua, G., 2015. Building change detection from LiDAR point cloud data based on connected component analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-3/W5, 2015 ISPRS Geospatial Week 2015, 28 Sep – 03 Oct 2015, La Grande Motte, France, pp. 393-400.

Barnhart, T.B. ve Crosby, B.T., 2013. Comparing two methods of surface change detection on an evolving thermokarst using high-temporal-frequency terrestrial laser scanning. *Selawik River, Alaska. Remote Sensing*, 5(6), 2813-2837. doi:10.3390/rs5062813

Basgall, P.L., Kruse, F.A. ve Olsen, R.C., 2014. Comparison of LiDAR and stereo photogrammetric point clouds for change detection. *Laser Radar Technology and*

*Applications* XIX; and *Atmospheric Propagation* XI, Edited by Monte D. Turner, Gary W. Kamerman, Linda M. Wasiczko Thomas, Earl J. Spillar, *Proc. of SPIE* Vol. 9080, 90800R, doi: 10.1117/12.2049856

Bildirici, I.O., Ustun, A., Selvi, H.Z., Abbak, R.A. ve Bugdayci, I., 2009. Assessment of shuttle radar topography mission elevation data based on topographic maps in Turkey. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), 95-104.

Chen, Y. ve Medioni, G., 1992. Object modelling by registration of multiple range images. *Image and Vision Computing*, 10(3), 145–155.

Cusicanqui, J., 2016. 3D scene construction and structural damage assessment with aerial video frames and drone still imagery. Msc. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 58 pages

Du, S., Zhang, Y., Qin, R., Yang, Z., Zou, Z. ve Tang, Y., 2016. Building change detection using old aerial images and new LiDAR data. *Remote Sensing*, 8(12), 1030, doi:10.3390/rs8121030

Ghuffar, S., Szekely, B., Roncat, A. ve Pfeifer, N., 2013. Land slide displacement monitoring using 3D range flow on airborne and terrestrial LiDAR data. *Remote Sensing*, 5, 2720-2745, doi:10.3390/rs5062720

Haala, N., 2011. Multiray photogrammetry and dense image matching. *Photogrammetric Week 11*, Dieter Fritsch (Ed.), Wichmann/VDE Verlag, Berlin & Offenbach, pp. 185-195.

Hughes, M.L., McDowell, P.F. ve Marcus, W.A., 2006. Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74(1-4), 1 –16.

Jensen, J.L.R. ve Mathews, A.J., 2016. Assessment of image-based point cloud products to generate a bare earth surface and estimate canopy heights in a woodland ecosystem. *Remote Sensing*, 8(1), 50, doi:10.3390/rs8010050

Leberl, F., Irschara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S. ve Wiechert, A., 2010. Point clouds: Lidar versus 3D vision. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(10), 1123–1134.

Nebiker, S., Lack, N. ve Deuber, M., 2014. Building change detection from historical aerial photographs using dense image matching and object-based image analysis. *Remote Sensing*, 6(9), 8310-8336, doi:10.3390/rs6098310

Pang, S., Hu, X., Cai, Z., Gong, J. ve Zhang, M., 2018. Building change detection from bi-temporal

- dense-matching point clouds and aerial images. *Sensors*, 2018, 18, 966; doi:10.3390/s18040966
- Rosnell, T., ve Honkavaara, E., 2012. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors*, 12, 453-480, doi:10.3390/s120100453
- Scaioni, M., Roncella, R. ve Alba, M.I., 2013. Change detection and deformation analysis in point clouds: Application to rock face monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 79(5), 441-455.
- Sisto, D.A. ve Packalen, P., 2017. Forest change detection by using point clouds from dense image matching together with a LiDAR-derived terrain model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(3), 1197-1206.
- Tran, T.H.G., Ressler, C. ve Pfeifer, N., 2018. Integrated change detection and classification in urban areas based on airborne laser scanning point clouds. *Sensors*, 18(2), paper no 448, doi:10.3390/s18020448
- Xiao, W., Vallet, B., Brédif, M. ve Paparoditis, N., 2015. Street environment change detection from mobile laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 38-49.
- Yang, M.D., Chao, C.F., Huang, K.S., Lu, L.Y. ve Chen, Y.P., 2013. Image-based 3D reconstruction and exploration in augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 48-60.
- Zhang, X., Glennie, C. ve Kusari, A., 2015. Change detection from differential airborne LiDAR using a weighted anisotropic iterative closest point algorithm. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(7), 3338-3346.

## Ramor 500 Zırh Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Tel İlerleme Hızının Kaynak Metalindeki Nüfuziyet Dengesinin İncelenmesi

*Investigation of The Equilibrium of Permeate in The Welding Speed of The Wire Feeding Speed in Joining Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method*

Semih TAŞKAYA\*<sup>a</sup>, Ali Kaya GÜR<sup>b</sup>

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 23.05.2018

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.01.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 18.02.2019

### Öz

Ramor 500 zırh çeliği; 2-30 mm kalınlıklara sahip, 505-590 HV sertliklerde bulunan yüksek mukavemetli bir balistik koruma çeliği olarak sınıflandırılır. Çalışmada, Ramor 500 zırh çeliği malzeme çifti tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan östenitik ilave tel Cr, Ni ve Mn esaslıdır. Birleştirme işleminden sonra numuneler tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan, X-Ray kırınımı yöntemi ile radyografik muayene uygulanmıştır. Kaynak bölgesinin dikiş geometrileri ölçülmüş ve mikrosertlik analizleri yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı testleri ile mekanik davranışları ve kırık yüzeylerin SEM-XRD analizleri ile kırılma tipi ve bileşik oluşumları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kaynak tel ilerleme hızı arttıkça kaynak dikiş formunun genişliği ve yüksekliği azalmakta ve çekme mukavemetleri ile % gerinim artmaktadır. Birleşme ara yüzeydeki kırılma tipi, SEM-XRD sonuçlarından sünek kırılma olarak gözlemlenmiştir. Kaynak tel ilerleme hızına bağlı olarak mikrosertlik ölçümleri birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Sertlik değerlerinin, ana malzeme ve ITAB'da azaldığı, kaynak metalinde ise yüksek artış gözlemlendiği incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kaynak metal, Nüfuziyet Dengesi, Ramor 500, Tel İlerleme hızı, Tozaltı Kaynağı

### Abstract

The Ramor 500 armor steel is classified as a high strength ballistic protection steel with 2-30 mm thicknesses and 505-590 HV hardnesses. In the study, the Ramor 500 armor steel material pair was combined with a submerged welding method. The austenitic additive wire used in the welding process is based on Cr, Ni and Mn. After the joining process, the specimens were subjected to radiographic examination by X-ray diffraction method, which is one of the non-destructive examination methods. Sewing geometry of weld zone was measured and micro hardness analysis was done. Tensile strength tests of welded specimens investigated the mechanical behaviors and fracture type and compound formations by SEM-XRD analysis of fractured surfaces. As the welding wire advance speed increases, the width and height of the weld seam form decreases and the tensile strength and % strain increase. The fracture type at the interface was observed as ductile fracture from the SEM-XRD results. Microhardness measurements gave similar results depending on the feed rate of the welding wire. It has been investigated that hardness values decrease in main material and ITAB and increase in weld metal is observed.

**Keywords:** Weld metal, Permeate Equilibrium, Ramor 500, Wire progress rate, Submerged Welding

\*<sup>a</sup> Semih TAŞKAYA; muh.semihtaskaya@gmail.com; Tel: (0537) 560 29 63; orcid.org/0000-0003-1524-4537

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6077-1892

## 1. Giriş

Ramor 500 zırh çelikleri yüksek hız darbelerine karşı üretilir. Ayrıca araç aydınlatması için otomotiv endüstrisinde kullanılır. Örneğin, beton bir karıştırıcıda yerleşik donanım, yapısal çelikten daha ince plaka ile Ramor 500 çelik kullanılarak üretilebilir. Böylece daha dinamik verimlilik ve yakıt tasarrufu sağlar (Memiş, 2016). Koruyucu malzeme seçimi ateşli silahlardan çıkan merminin, penetratörün ya da ateşli parçacığın türü, geometrisi ve penetrasyon kinetiğine göre yapılır. Belirtilen malzemeler arasında homojen olarak haddelenmiş zırh çelikleri (RHA, Rolled Homogeneous Armor) askeri platformlarda çok çeşitli, personel ve mühimmat taşıyan araçlarda koruyucu malzeme olarak kullanıldığı takdirde olumlu katkılar yapabilecek özelliklere sahiptir (Karagöz vd., 2008). Zırh çeliklerinin kullanıldığı araçlara örnek olarak zırhlı muharebe aracı (ZMA), zırhlı taktik aracı, personel taşıyıcılar, Tow aracı, zırhlı havan aracı, istihkam manga aracı ve komuta kontrol aracı verilebilir (Soykan vd., 2005). Zırh levhalarının kaynağında kullanılacak olan elektrodlar bileşimleri farklı da olsa, mutlaka bazik karakterde olmalıdır (TB9-2330-224-50/1, 1969). Bazik örtülü elektrodlar ile kaynak yaparken akım şiddeti, mümkün mertebe yüksek seçilmelidir (östenitik elektrodlar hariç). Yüksek akım şiddeti, elektrodun kolay tutuşmasını sağladığı gibi, kaynak banyosunun daha uzun süre sıvı halde kalmasını sağlar. Böylece, banyoda mevcut gazlar kolaylıkla çıkar ve dikişin gözeneksiz olması sağlanır (Dedehayır, 1985). Tozaltı kaynak yöntemi, 1933 yılında ABD'de geliştirilmiş ve 1937 yılından sonra da Avrupa'da uygulama alanına girmiştir. 2. Dünya Savaşı sırasında özellikle Almanya'da geniş çapta uygulanmıştır. Almanya'da LINDE tarafından Gektro-Linde-Rapid-Verfahren diye geliştirilen kaynak yöntemine kısaca Ellira-Verfahren adı verilmiştir. Kaynak maliyetini düşürmek, işin yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, kaynak prosesinde otomasyona gidilmiştir. Buradaki amaç, elektrot telini mekanik bir tertibat yardımı ile otomatik olarak sürekli ilerletip, ark bölgesine çok yakın bir yerden de akım vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini artırmak ve böylece erime gücünü yükseltmektir (Kaluç, 2004). X-Ray tüpleri ve Gamma-Ray izotoplarıyla her çeşit kaynak dikişinin, döküm, dövme parçaların ve imalat sanayinin röntgenlerinin çekilmesi ve belgelenmesi mümkündür. Radyografi yönteminde nüfuz edici kısa boylu radyasyon dalgaları kullanılır. Kontrol edilecek olan malzeme içindeki yoğunluk farkları

sayesinde hata tespitleri yapılır. Malzeme üzerine gönderilen ışın genellikle film üzerine yansıtılır. Malzeme içindeki yapı bozuklukları ve süreksizlikler nedeniyle farklı miktarda soğurulan ışınların yansımalarında farklı görüntüler oluşur. Gerçekte film üzerine yansıyan görüntü, malzemedeki ışınların yarattığı gölge görüntüsüdür (Tekiz, 1984; Albayrak, 1997; URL-1, 2018; URL-2, 2018; TS EN 444, 1994; Yıldız vd., 2017; Çalgülü vd., 2016; Gür vd., 2016). Atapek (2011) yaptığı çalışmada, bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmiş ve balistik performansını değerlendirmiştir. Isıl işlem koşullarına bağlı olarak, geliştirilen zırh çeliğinin sertlik, mukavemet, tokluk, aşınma gibi mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin dışında V50 balistik limiti ve yüksek çarpma hızlarındaki performansı araştırmıştır. Sonuçlarda, çarpma hızı arttıkça krater derinliği/krater uzunluğu oranı da arttığı gözlemlenmiştir. Maweja vd. (2006) yaptıkları çalışmada, hasar mekanizmalarını ve hem darbe bölgesinde hem de darbe bölgesine dik kesitte meydana gelen faz dönüşümlerini incelemek için çeşitli koşullardaki zırh çeliklerini 5,56 mm'lik zırh delici mermilerle balistik olarak incelemişlerdir. Zırh malzemesinin iç yapısının balistik başarımı doğrudan etkilediğini belirlemişlerdir. Gunaraj ve Murugan (1999), "Tepki Yüzey" methodunu kullanarak boruların tozaltı kaynağında, proses değişkenlerinin ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Proses değişkenlerinin kaynak alanı üzerindeki birleşme yüzeyleri hem plakada hem de kaynak birleşme yüzeylerinde doğrudan ve dolaylı etkileri aynı bulunmuştur. Aynı ayrı plaka eğimlerinin genellikle eşit olduğu da tespit edilmiştir. Wikle Iii vd. (2001), tozaltı kaynağında nüfuziyet derinliğinin kontrolü için kızılötesi sensör tekniği kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, kaynak proses parametrelerine ait geri beslemeli bir kontrol sistemi kullanarak, bu parametrelerin değişmesi durumunda kızılötesi sensör tekniği sayesinde nüfuziyet derinliğini sabit tutmayı geliştirmişlerdir. Taşkaya vd. (2018), yaptıkları çalışmada, Ramor 500 zırh çeliği çiftinin tozaltı kaynağında birleştirilmesinde gerilimin etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda, gerilime bağlı mikrosertlik sonuçlarının birbirine yakın olduğunu gözlemlemişlerdir. Sertliklerin ITAB bölgesinde azaldığını ve kaynak metalinde yüksek artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ise, 3 mm kalınlığa sahip ve balistik koruma çeliği olarak sınıflandırılan Ramor 500 zırh çeliğinin toz altı kaynak yöntemi ile

birleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Tel ilerleme hızının kaynak metalindeki nüfuziyet dengesi, çekme mukavemeti testleri, X-Ray kırınımı yöntemi ile radyografik muayene, dikiş geometrisi ölçümleri, kaynaklı numunelerin kırık yüzeylerdeki SEM yapıları ile bileşik oluşumları ve mikrosertlik ölçümleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Tozaltı kaynak yöntemiyle Tablo 1 ve Tablo 2’de kimyasal ve mekanik özellikleri gösterilmiş olan 55x65 mm uzunluk boyutunda, 3 mm kalınlığında piyasadan temin edilmiş olan Ramor 500 zırh çeliği malzemesi kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan, Ramor 500 zırh çeliği malzemesine uygun Ticari 1 firmasından temin edilen, Tablo 3’de kimyasal özellikleri verilmiş, Cr-Ni-Mn esaslı SI-307 serili 2.4 mm çapında östenitik paslanmaz çelik tel kullanılmıştır. Kullanılan çelik tele özgün Ticari 2 firmasının önerdiği Ramor 500 zırh çeliği ile iyi karakterize olan, kaynakta koruyucu örtü görevinde olan alümina bazik karakterli (AB) aglomera esaslı SF-104 serili kaynak tozu kullanılmıştır. Özellikle bu kaynak telinin tercih edilme sebebi, zırh çeliklerinin kimyasal bileşimlerinden dolayı, yüksek kaliteli kaynak dikişi ve derin bir nüfuziyet elde etmektir (Taşkaya vd., 2018).

**Tablo 1.** Ramor 500 zırh çeliğinin kimyasal bileşimi (URL-3, 2018).

Kimyasal Bileşim (% Oran)										
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Fe
<b>Ramor 500</b>	0.32	0.70	1.50	0.015	0.005	1.00	2.00	0.70	0.005	Balans

**Tablo 2.** Ramor 500 zırh çeliğinin mekanik özellikleri (Yiğittürk, 2016; Taşkaya, 2017).

Mekanik Özellikler					
Malzeme	Akma Değeri Rp 0.2 (Mpa)	Çekme Dayanımı Rm (Mpa)	Uzama % 5	Sertlik (HV)	Darbe Gücü Charpy (V J)
<b>Ramor 500</b>	1450	1700	7	505-590	20

**Tablo 3.** Kaynak telinin kimyasal özellikleri (URL-4, 2018).

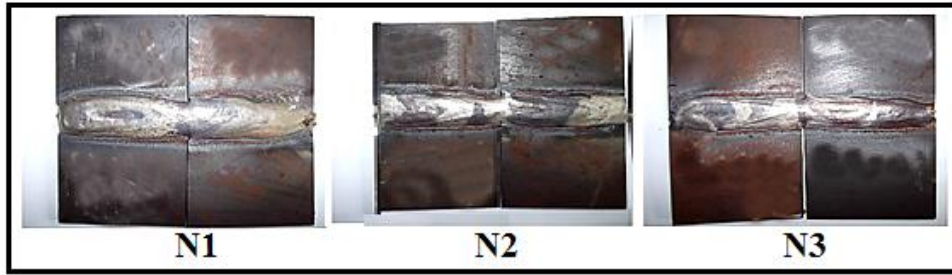
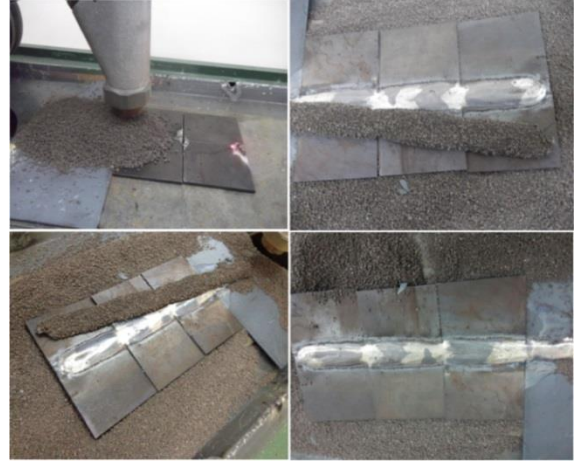
Kimyasal Bileşim (% Oran)													
Kaynak Teli	Tel Çapı (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Nb	Fe
<b>SI-307</b>	2.40	0.066	0.4	6.85	0.011	0.003	19.32	8.52	0.06	0.07	0.01	0.01	Balans

Tozaltı kaynak işlemi uygulanmadan önce, kaynak sırasında malzeme çiftlerinin birbirinden ayrılmaması için üst ve alt noktalarından elektrik ark ile puntalama işlemi yapılır ve sabitlenir. Birleştirme işleminde nüfuziyetin tam sağlanmasından dolayı, akım gücü 250 A’ de sabit tutulmuş, 20 volt geriliminde, 20, 25, 30 cm/dk sabit tel ilerleme hızlarında kaynak işlemi yapılmıştır. Numunelere ait kaynak işlem parametreleri Tablo 4’de verilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak işlemi öncesi ve sonrası resimleri Şekil 1’de, makro resimleri ise Şekil 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Kaynak işlem Parametreleri

Numune Adı	Kaynak Gücü (Amper)	Gerilim (Volt)	İlerleme Hızı (cm/ dk)
<b>N1</b>			20
<b>N2</b>	250	25	25
<b>N3</b>			30

**Şekil 1.** Ramor 500 malzeme çiftlerinin tozaltı kaynağı işlemi esnasındaki resimleri

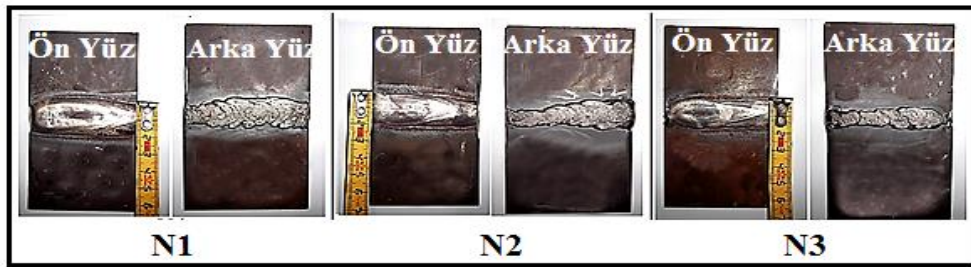


**Şekil 2.** Kaynaklı birleştirmelerin makro resimleri

Tozaltı kaynak işleminde, Ramor 500 zırh çeliği çiftinden aynı parametreler doğrultusunda 2 parça birleştirilmiştir. Bu birleştirmelerden en yüksek kalitede düzgün ve derin nüfuziyet sağlayan kaynak dikişleri seçilerek, kaynak numuneleri spiral ile birbirinden ayrılmıştır. Şekil 3'de kaynaklı birleştirmelerin ön ve arka yüz dikiş makro resimleri verilmiştir.

Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklı numunelerin, iç yapı kaynak hatalarının tespit edilebilmesi için Şekil 4'de gösterilen tahribatsız muayene yöntemlerinden Radyografik muayene işlemi uygulanmıştır.

Kaynaklı numunelerin radyografik ışınlama işleminden sonra elde edilen filmler banyo edilmiştir.



**Şekil 3.** Kaynaklı birleştirmelerin ön ve arka yüz dikiş makro resimleri



**Şekil 4.** Kaynaklı numunelerin radyografik muayene işlemi





Şekil 5. Kaynaklı numunelerin çekme testi

Kaynaklı numunelerin yük taşıma kabiliyeti ile yükleme esnasındaki mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme deneyi işlemi yapılmıştır (Şekil 5). Çekme deneyi, SHIMADZU AG-X marka 50 kN yük kapasitesine sahip çekme cihazında 1 mm/dk çekme hızında ve TSE 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak yapılmıştır (Aydemir, 2013).

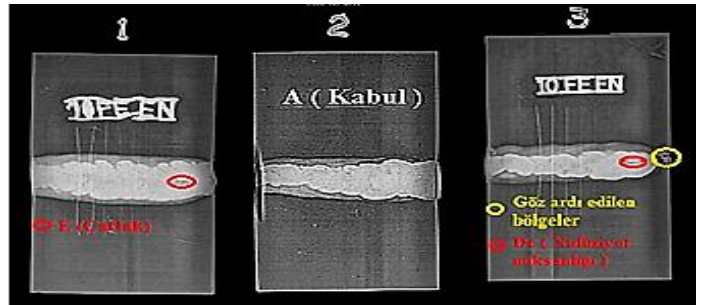
### 3. Bulgular ve Tartışma

250 A'de 25 volt geriliminde, 20, 25, 30 cm/dk sabit tel ilerleme hızlarında birleştirilen N1, N2 ve N3 numunelerinde Şekil 6'da verilen radyografik muayenede uluslararası kaynak enstitüsünün yayınladığı ilkelere göre (Yıldız vd., 2017; Çalığıülü vd., 2016; Gür vd., 2016) N1 numunesinde kaynağın bitiş bölgesinde çok küçük

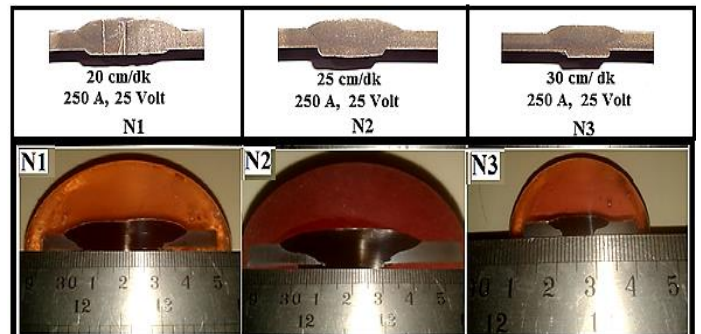
oranda E (çatlak), N2 numunesinde A Kabul raporu, N3 numunesinde ise kaynağın başlangıç ve bitiş bölgelerinde çok küçük oranda Dc (nüfuziyet noksanlığı) hataları gözlemlenmiştir. Kaynağın başlangıç ve bitiş bölgelerinde çok küçük çatlak ve nüfuziyet kaynak hatalarının oluşu kaynaktan değil cürufun kaldırılması sırasında oluşması düşünülmektedir. Kaynak dikişi ve ITAB'da herhangi bir kaynak hatası görülmemiştir.

Şekil 7'de verilen kaynaklı birleştirmeler incelendiğinde, kaynak dikişinin birleştirilen Ramor 500 zırh çeliği çiftinin birleşme ara yüzeyinde oluştuğu gözlemlenmiştir. 250 sabit A'de makro resimlerden de anlaşılacağı gibi nüfuziyetin tam olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6. Kaynaklı numunelerin radyografik muayene rapor görüntüleri



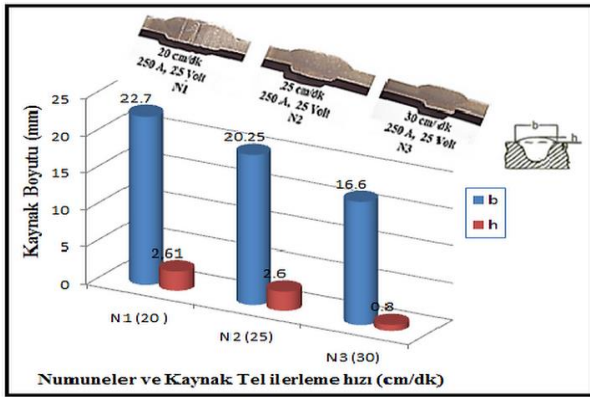
Şekil 7. Kaynaklı numunelerin dikiş geometri makro resimleri



Tablo 5’de gösterilen Şekil 8’de grafiksel analizi verilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi kaynak tel ilerleme hızı arttıkça ters orantılı olarak kaynak genişlik ve yüksekliği azalmıştır (URL-5, 2018; Akkaş, 2006; Özakın, 2010). Kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının artması, dikişlerin daha dikkatli kaynak edilmesini gerektirir. Gereğinden fazla kaynak hızı, ark üflemesini, gözenegi ve çatlağı artırır, dikişin şeklini bozar (Akkaş, 2006).

**Tablo 5.** Kaynak dikiş geometrisi ölçümleri

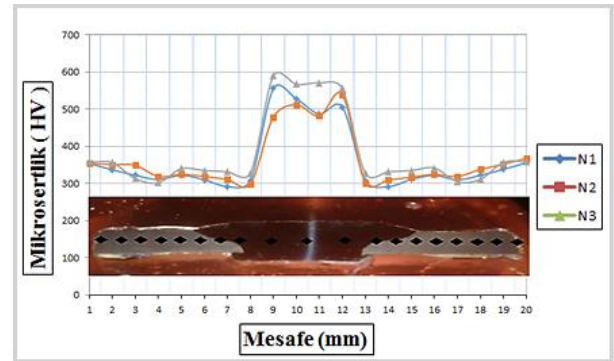
Kaynak Geometrisi Ölçüm Değerleri		
Numuneler	Dikiş Genişliği (b), (mm)	Dikiş Yüksekliği (h), (mm)
N1	22.7	2.61
N2	20.25	2.6
N3	16.6	0.8



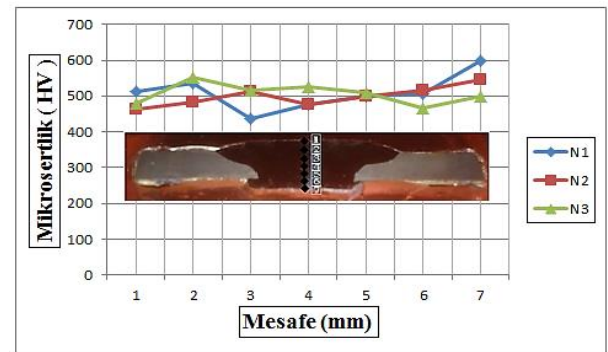
**Şekil 8.** Kaynaklı birleştirmelerin dikiş geometrisi grafiksel analizi

Şekil 9 ve 10’da mikrosertlik ölçüm sonuçlarının tamamında elde edilen sertlik eğrilerine göre karşılaştırıldığında, kaynak dikişlerinin sertliğinde ana malzeme olan Ramor 500 çelik çiftlerine göre artış gözlemlenmiştir. İşlem görmemiş Ramor 500 çeliğinin mikrosertlik değeri 556 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak işlemi uygulandıktan sonra ana malzeme çiftinin olduğu bölgelerde, sertlikte çeliğin işlem görmemiş değerine göre azalma, ITAB bölgesinde sıcaklığın etkisiyle tane yapılarında büyüme, sertlikte azalma ve sonra kaynak metaline doğru artış görülmüştür. Ana malzemede görülen sertliğin düşme nedeni, kaynak metalindeki dikiş genişliğinin fazla olmasından dolayı, ITAB bölgesindeki etkilenen yapıdan ana malzemeye de nüfus ettiği

düşünülmektedir. Ramor 500 çeliğinde ITAB bölgesinde martenzitik yapının ferrite dönüşmesiyle ferrit taneleri büyür ve büyüme bu bölgede olumsuz etki yapacağından sertlikte düşmeye neden olur (Taşkaya vd., 2018; Durgutlu vd., 1999). Kaynak metalindeki sertlik yükselmesinin sebebinin kaynak havuzunun max. sıcaklığa eriştiği anda ilave östenitik esaslı paslanmaz çelik telin Cr’nin, Ramor 500 içindeki C ile oluşturduğu sert bileşiklerin yada ilave kaynak telindeki alaşım elementlerinin işlem sırasında oluşan ısıdan dolayı meydana gelen yeni sert fazların varlığından olduğu düşünülmektedir. Çünkü östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında bu durum Schaffler diyagramı esas alınarak yapılan incelemelerde de martenzit oluşumu mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkmasında önemli bir etken olarak göze çarpmaktadır (Yigittürk, 2016). Ayrıca, kaynak metalindeki mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkması; bu bölgede sertliği artırıcı ani soğuma sonucunda yoğun dentritik yapının ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 11’de sandviç tabakada meydana gelen toplam mekanik gerilim dağılımları simüle edilmiştir. Burada meydana gelen gerilimler grafik analizlerle incelenmiştir.



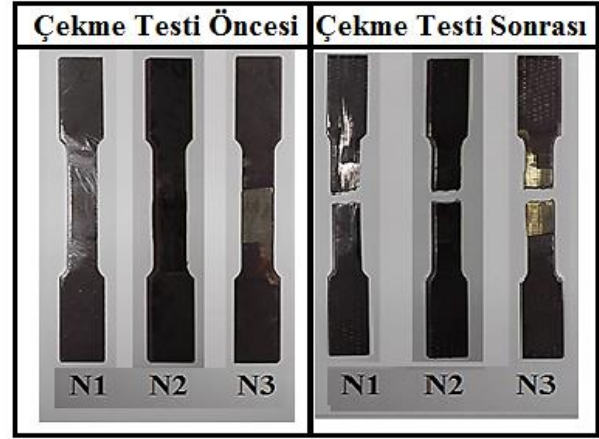
**Şekil 9.** Kaynaklı birleştirmelerin yatay ekseninden alınan mikrosertlik ölçümleri



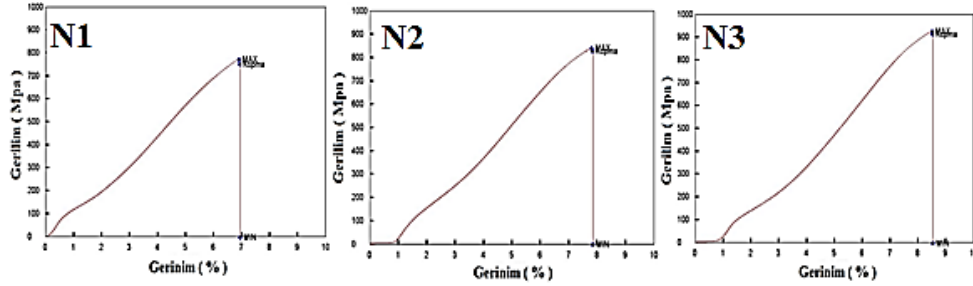
**Şekil 10.** Kaynaklı birleştirmelerin dikey ekseninden alınan mikrosertlik ölçümleri

Kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin Şekil 11-12 ve Tablo 6 ölçüm değerleri incelendiğinde boyun vermeden kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu haliyle incelenen çelik malzemenin boyun vermemiş olması her ne kadar gevrek malzemeymiş gibi görünse de, Şekil 11'deki makro görüntüler incelendiğinde kopma yüzeylerinde koni-çanak yapılarını andıran görüntüler vardır. Ayrıca kopma yüzeyleri tam düz değil tırtırlı olacak şekilde kopmuştur. Yani mevcut haliyle de bu malzeme çiftlerinin sünek kırılma mekanizmasıyla koptuklarını söyleyebiliriz. Bunun nedeni kaynak dikişinin eriştiği mukavemet değerinin östenitik esaslı paslanmaz çelik telin mukavemet değerinden yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Çünkü sünek kırılma yüksek orandaki plastik deformasyon sonrasında meydana gelir ve

malzeme kırık yüzeyinde koni çanak şeklinde bir kırık yüzey oluşumu kendini gösterir.



Şekil 11. Kaynaklı birleştirmelerin çekme testi öncesi ve sonrası makro resimleri



Şekil 12. Kaynaklı birleştirmelere ait gerilim-gerinim grafikleri

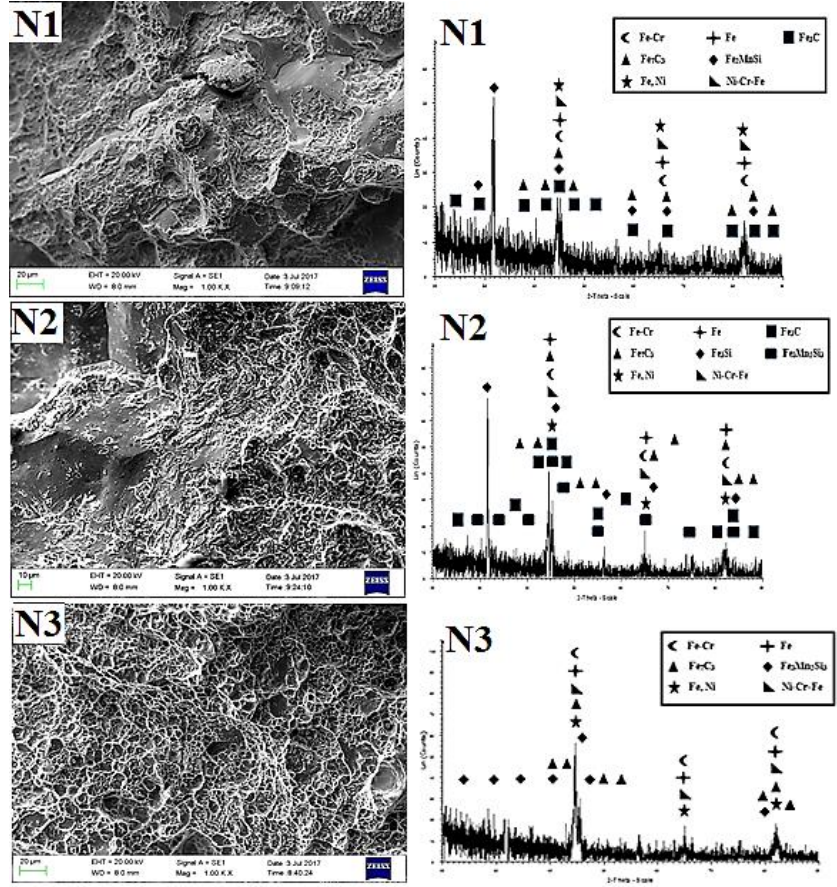
Tablo 6. Çekme Testi yapılan numunelerin max. çekme, kopma gerilme ve % gerinim değerleri

NUMUNE NO	Akım	Gerilim (Volt)	Tel İler. Hızı (cm/dk.)	Çekme İler. Hızı (mm/dk)	Max. Çekme Gerilimi (MPa)	Kopma Gerilimi (MPa)	Gerinim (%)
N1			20		768.924	749.880	6.91
N2	250	25	25	1	838.278	826.011	7.81
N3			30		923.224	911.777	8.51

Kaynaklı birleştirmelerde sabit 250 A ve 25 volt geriliminde kaynak tel ilerleme hızı arttıkça kaynak metalindeki max. çekme ve kopma gerilimleri ve buna bağlı olarak % gerinimler artmaktadır. Nüfuziyetin tam sağlanmasından dolayı kopma, kaynak metalinin tam ortasında gerçekleşmiştir. Sünek kırılmayı Ramor 500 çelik çiftlerinin kopma yüzeylerinden alınan Şekil 13'de görüldüğü gibi kırık kopma yüzey SEM-

XRD analizleri incelendiğinde gözlemlenir. Kırık yüzey süngerimsi, lifli pürüzlü yapıda sünek kırılma mekanizmasına uygun şekilde bir yapıya sahiptir. Kırık yüzeyler sürekli uygulanan gerilme altında yapısal düzensizliklerin kaynak dikişi merkezine doğru ilerlemesi yani uygulanan kuvvete dik doğrultuda çatlağın ilerlemesi mekanizmasıyla kopar (Yigittürk, 2016).

**Şekil 13.** Kaynaklı birleştirmelerin kırık kopma yüzeyinin SEM-XRD analizleri



Şekil 13'deki XRD analiz sonuçları incelendiğinde, ana malzeme ile ilave telin kimyasal yapılarından dolayı Fe-Cr,  $Fe_7C_3$ ,  $Fe_3C$ , Ni-Cr-Fe gibi sert karbür bileşikler oluşmuştur. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, krom karbür oluşumu; kaynaklı malzemelerde ITAB bölgesinde ( $430-870^{\circ}C$ ) arasında yapıdaki Cr tane sınırlarına doğru yerleşir ve bu bölgesel alanlarda (ITAB), Cr zayıflayacağı için korozyon dayanımı düşer (Yiğittürk, 2016). Dolayısıyla Cr-Ni-Mn esaslı ilave östenitik esaslı çelik tel kullanılarak yüksek mukavemet sağlayan kaynak dikişi elde edilmiş olur.

#### 4. Sonuçlar

Ramor 500 zır çeliği çiftleri sabit amper, sabit gerilim ve farklı ilerleme hızları kullanılarak Tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 250 A' de 25 volt geriliminde, 20, 25, 30 cm/dk sabit tel ilerleme hızlarında birleştirilen N1, N2 ve N3 numunelerinde radyografik muayenede uluslararası kaynak enstitüsünün yayınladığı ilkelere göre (Yıldız vd., 2017; Çalgülü vd., 2016; Gür vd., 2016), N1 numunesinde kaynağın bitiş bölgesinde çok küçük oranda E (çatlak), N2

numunesinde A Kabul) raporu, N3 numunesinde ise kaynağın başlangıç ve bitiş bölgelerinde çok küçük oranda Dc (nüfuziyet noksanlığı) hataları gözlemlenmiştir.

- Mikrosertlik analizler sonuçlarının tamamında elde edilen sertlik eğrilerine göre karşılaştırıldığında, kaynak dikişlerinin sertliğinde, ana malzeme olan Ramor 500 çelik çiftlerine göre artış gözlemlenmiştir.
- XRD analiz sonuçları incelendiğinde, ana malzeme ile ilave telin kimyasal yapılarından dolayı Fe-Cr,  $Fe_7C_3$ ,  $Fe_3C$ , Ni-Cr-Fe gibi sert karbür bileşikler oluşmuştur.
- Kaynaklı birleştirmelerde sabit 250 A ve 25 volt geriliminde kaynak tel ilerleme hızı arttıkça kaynak metalindeki max. çekme ve kopma gerilimleri ve buna bağlı olarak % gerinimler artmaktadır. Nüfuziyetin tam sağlanmasından dolayı kopma, kaynak metalinin tam ortasından gerçekleşmiştir.
- Kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin ölçüm değerleri incelendiğinde boyun vermeden kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu haliyle incelenen çelik malzemenin boyun vermemiş olması her ne kadar gevrek malzemeymiş gibi görünse de, makro görüntüler incelendiğinde kopma yüzeylerinde koni-çanak yapılarını andıran

görüntüler vardır. Ayrıca kopma yüzeyleri tam düz değil tırtırlı olacak şekilde kopmuştur ve yapılar SEM-XRD analizlerinden elde edilen sonuçlarla sünek kırılma şeklinde tespit edilmiştir.

- Kaynak işlemi uygulandıktan sonra ana malzeme çiftinin olduğu bölgelerde, sertlikte çeliğin işlem görmemiş değerine göre azalma, ITAB bölgesinde sıcaklığın etkisiyle tane yapılarında büyüme ve sertlikte azalma ve sonra kaynak metaline doğru artış görülmüştür.
- Kaynaklı birleştirmelerin kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi kaynak tel ilerleme hızı arttıkça ters orantılı olarak kaynak genişlik ve yüksekliği azalmıştır. Kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının artması, dikişlerin daha dikkatli kaynak edilmesini gerektirir. Gereğinden fazla kaynak hızı, ark üflemesini, gözeneği ve çatlağı artırır, dikişin şeklini bozar (Akkaş, 2006).

## Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF. 16.24 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Akkaş N., 2006. Tozaltı Köşe Kaynağında Yapay Zekâ Teknolojileri Kullanılarak Dikiş Geometrisinin Modellenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Albayrak, M., 1997. The Control and Inspection of the Welding Seams. Igdas.
- Atapek H., 2011. Bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Aydemir, B., 2013. Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892-1'in Getirdiği Değişiklikler. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi , 10 (3), 61-70.
- Çalgülü, U., Açık, M., Türkmen M. ve Gür, A.K., 2016. Radiography Test of AISI 1010-Copper Alloys Welded by Friction Welding. Sylwan, 160 (4), 468-479.
- Dedehayır, F., 1985. Tanklarda Kullanılan Zırh Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin Etüd Doktora

Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Durgutlu, A., Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., 1999. Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi. Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 23, 251-259.
- Gunaraj, N. ve Murugan, V., 1999. Prediction and comparison of the area of the heat-affected zone for the bead-on-plate and bead-on-joint in submerged arc welding of pipes. Journal of Materials Processing Technology, 95, 246-261.
- Gür, A.K., Yigittürk, N. ve Yıldız, T., 2016. Examination Of Welding Characteristics Of AISI304-Ramor 500 Steel Couples Welded By Plasma Transferred Arc Welding. Sylwan, 160 (11), 212-225.
- Kaluç, E., 2004. Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Yayın No: 975- 395- 739- 4.
- Karagöz, Ş., Atapek, Ş.H. ve Yılmaz A., 2008. Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. Metal Dünyası, 182, 102-107.
- Maweja, W.S.K., 2006. Fracture and Ballistic induced phase transformation in tempered martensitic low-carbon armour steels. Materials Science and engineering A, 432, 158-169.
- Memiş, İ., 2016. Impact Response Of Ramor 500 Armor Impact Response Of Ramor 500 Armor Steel Subjected To High Velocities. Graduate School of Natural and Applied Science of Dokuz Eylül University In Partial Fullfilment of the Requirements for the Master of Science of Mechanical Engineering, Mechanic Program, İzmir.
- Özakın, N., 2010. AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının iredelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Soykan, Y., Aslanoğlu, H. Ş., ve Karakaş, Z., 2005. Zırh Çeliklerinin Metalurjisi Erdemir Semineri.
- Taşkaya, S, Yıldız, T. ve Gür, A.K., 2018. The Effect of Voltage on Joining of Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method. Sakarya University Journal of Science, 22 (2), 357-363
- Taşkaya, S., 2017. Ramor 500 Çeliğinin Tozaltı Kaynağıyla Birleştirilmesi ve Ansys Paket Programıyla Değerlendirilmesi. Fırat

- Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., Elazığ.
- TB9-2330-224-50/1, 1969. Procedures for repair of combotolomeged hulls and Turrets 16 July. Department of the Army Technical Bulletin, 1, 155–165.
- Tekiz, T., 1984.The Non-destructive Testings, ITU Faculty of Mechanical Engineering, Istanbul.
- TS EN 444, 1994.TS EN 462 Standards.
- Wikle Iii, B. A., Kottilingam, H.C., Zee, S. ve Chin, R.H., 2001. Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process. Journal of Materials Processing Technology, 113, 228–233.
- Yıldız, T., Gür, A.K. ve Bilen, F.A., 2017. The Investigation of Welding Availability Of AISI304-Hardox 400 Steel Couples Welded By Plasma Transferred Arc Welding. Ciência e Técnica Vitivinícola Journal, 32 (10), 190-204.
- Yığittürk, N., 2016. Ramor Zırh Çeliği İle AISI 304 Paslanmaz Çelik Çiftlerinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., Elazığ.
- URL-1, The Collaboration for NDT Education, <http://www.ndt-ed.org> . 12 Mayıs 2018.
- URL-2, ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/ Uygulama Merkezi, <http://www.wtndt.metu.edu.tr> . 16 Mayıs 2018.
- URL-3,SSAB,<http://www.ssab.com.tr/products/brands/armox/armox-500t> . 09 Mayıs 2018.
- URL-4, Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., <http://www.oerlikon.com.tr> . 17 Mayıs 2018.
- URL-5, [http://www.esabna.com/EUWeb/SA\\_handbook/585sa1\\_1.htm](http://www.esabna.com/EUWeb/SA_handbook/585sa1_1.htm) . 20 Mayıs 2018.

## Geç Kretase Yaşlı Bozat (Giresun, KD Türkiye) Plütönu'nun Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri

*Petrographical, Geochemical and Petrological Characteristics of Late Cretaceous aged Bozat (Giresun, NE Turkey) Pluton*

İrfan TEMİZEL<sup>\*a</sup>, Ayşe KURT<sup>b</sup>

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 09.01.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 27.02.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 05.03.2019

### Öz

Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda (KD Türkiye) farklı boyut ve bileşimlerde olan Geç Kretase yaşlı plütönlere yaygın olarak yüzeylemektedir. Bunlardan Bozat Plütönu (Giresun) yaklaşık KD-GB uzanımlı olup, Üst Kretase volkanik ve sedimanter kayalar içerisine yerleşmiştir. Petrografik olarak, incelenen plütön ince-orta taneli olup, monzogabro bileşimlidir. Plütön kayaları, genel olarak plajiyoklas ( $An_{53-88}$ ), ortoklas ( $Or_{59-74}$ ), kuvars, klinopiroksen ( $Wo_{40-45}En_{42-44}Fs_{12-17}$ ), biyotit (Mg#: 0.66-0.70), Fe-Ti oksit, apatit ve zirkon içermekte olup, genellikle monzonitik, poikilitik, nadiren pertitik doku gösterirler. Petrokimyasal olarak, incelenen plütön I-tipi, metalümin ( $A/CNK=0.76-0.93$ ) ve şoşonitik karakterdedir. Ana ve iz element verileri, incelenen plütönün gelişiminde fraksiyonel kristallenme  $\pm$  asimilasyonun önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir. İncelenen plütönün ilksel mantoya normalize edilmiş iz element dağılımları, büyük iyon yarıçaplı litofil element, Th, Ce zenginleşmesi ve negative Nb, Ta ve Ti anomalisi göstermekte olup, bu kayaların petrojenezinde yitim bileşeninin etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, incelenen plütön kayalarının kondrite normalize edilmiş nadir toprak element dağılımlarında karakteristik olarak gözlenen konkav şekilli desen ve negatif Eu anomalisi, gelişiminde K-feldispat  $\pm$  plajiyoklas ve klinopiroksen ayrımlaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen tüm veriler, Geç Kretase yaşlı Bozat Plütönu'nun gerilmeli kıtasal yay ortamında oluştuğunu ve ana magmasının litosferik manto ve alt kabuktan türeyen ergiyiklerin karışımından türediğini ve kabuk içerisindeki magma odasında farklılaşarak yerleştiğini işaret etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bozat, Jeokimya, Mineral kimyası, Monzogabro, Giresun, Türkiye

### Abstract

Late Cretaceous aged intrusions in the Eastern Pontides Orogenic Belt in NE Turkey are common in varying sizes and compositions. Of these, Bozat Pluton (Giresun) extends nearly in the orientation of NE-SW and was emplaced into the Upper Cretaceous volcanic and sedimentary rocks. Petrographically, the studied pluton is compositionally fine to medium grained monzogabbro. The rocks of the pluton consist of plagioclase ( $An_{53-88}$ ), orthoclase ( $Or_{59-74}$ ), quartz, clinopyroxene ( $Wo_{40-45}En_{42-44}Fs_{12-17}$ ), biotite (Mg#: 0.66-0.70), Fe-Ti oxide, apatite and zircon with generally monzonitic, poikilitic, rare perthitic textures. Petrochemically, the studied pluton shows I-type, metaluminous ( $A/CNK=0.76-0.93$ ) and shoshonitic features. The major and trace element data suggest that fractional crystallization  $\pm$  assimilation has played a significant role in the evolution of the studied pluton. Primitive mantle-normalized trace element patterns of rocks samples from the pluton exhibit enrichment in large ion lithophile element, Th, Ce and negative Nb, Ta and Ti anomalies, all of which suggest subduction component in their petrogenesis. Moreover, chondrite-normalized rare earth element (REE) plots of rocks from the pluton show characteristic concave-shaped patterns with negative Eu anomalies, all of which imply significant K-feldspar  $\pm$  plagioclase and clinopyroxene fractionations in evolution of the pluton. All obtained data suggest that the Late Cretaceous aged Bozat Pluton has formed in an extensional continental arc, and parental magma of the pluton evolved from mixing of lithospheric mantle and lower crust-derived melts, and evolved differently within crustal level.

**Keywords:** Bozat, Geochemistry, Mineral chemistry, Monzogabbro, Giresun, Turkey

<sup>\*a</sup> İrfan TEMİZEL; itemizel@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 27 41; orcid.org/0000-0002-6293-8649

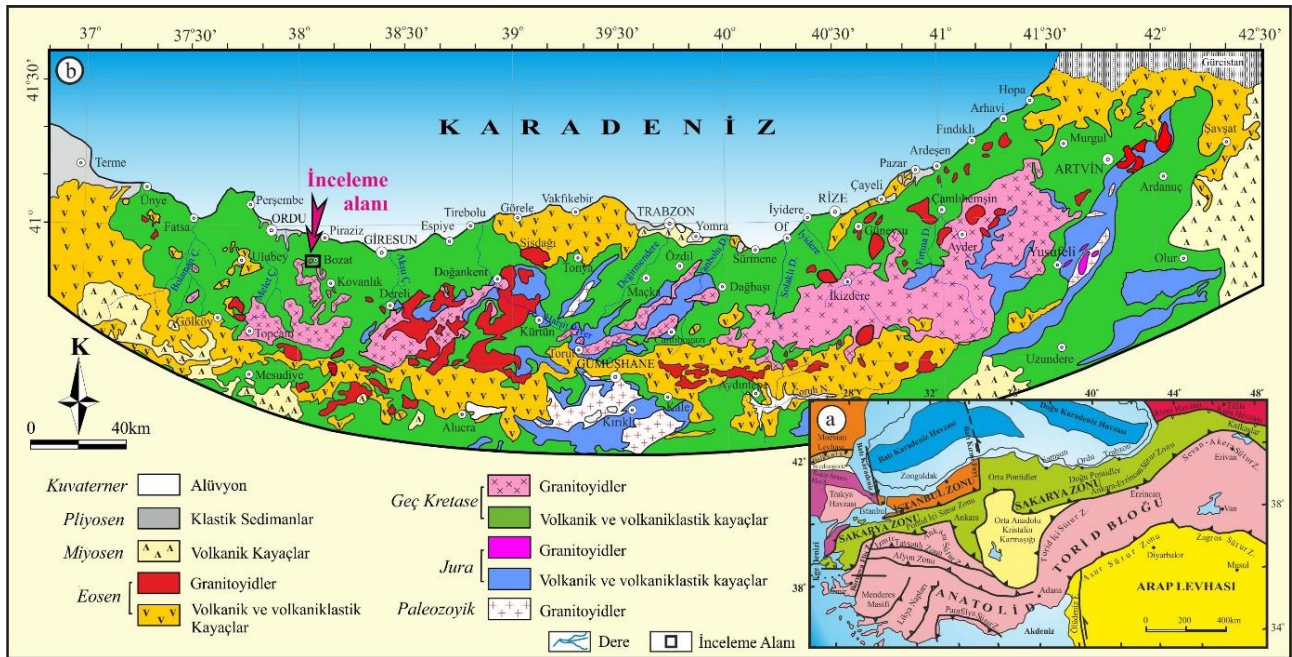
<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2981-8335

## 1. Giriş

Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı (DPOK)'nda Paleozoyik'den Tersiyer dönemi sonuna kadar geniş bir yaş aralığında gözlenen plütonlar; gabrodan granit kadar değişen bileşimde olup, başlıca Permo-Karbonifer, Erken-Orta Jura, Geç Kretase ve Eosen döneminde sokulum yapmışlardır (Şekil 1). Permo-Karbonifer yaşlı granitoidler (Örn, Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012, 2016) metamorfik kayalar keserek yerleşmiştir. Bu granitoidler, Gümüşhane, Köse ve Artvin civarında (Örn, Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011), Tonya güneyinde, Maçka güneyinde (Soğuksu) ve Özdil (Trabzon) yöresinde (Kaygusuz vd., 2012, 2016) gözlenmektedir. Ayrıca, metamorfik temel kayalar, mafik ve daha az oranda felsik kayalardan oluşan Erken Jura granitoidleri tarafından da kesilmiştir (Dokuz vd., 2010; Ustaömer vd., 2013; Karlı vd., 2017; Dokuz vd., 2017) (Şekil 1). Geç Kretase granitoidleri, yitimle ilişkili volkanik ve/veya volkanoklastik kayalarla dokanak ilişkisindedir (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Karlı vd., 2010; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Kaygusuz ve Şen, 2011; Karlı vd., 2012a; Kaygusuz vd., 2013, 2014; Sipahi vd., 2018). Eosen ve sonrası granitoidleri ise dar alanlarda yüzeylemekte olup, tüm serileri

keserek yerleşmiştir (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Aslan vd., 1999; Topuz, 2002; Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2007, 2011, 2012b; Temizel, 2014; Kaygusuz ve Öztürk, 2015; Sipahi vd., 2017; Temizel vd., 2018; Şekil 1).

DPOK'nın doğusunda Geç Kretase yaşlı bazı plütonların petrografisini, jeokimyasını ve petrojenezini içeren birçok çalışma yapılmıştır (ör., Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Karlı vd., 2010; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Kaygusuz ve Şen, 2011; Karlı vd., 2012a; Kaygusuz vd., 2013, 2014; Sipahi vd., 2018). Bölgede gözlenen Geç Kretase yaşlı plütonik kayaların yaşları ile ilgili yapılan radyometrik çalışmalar belirtildiği gibi bazı plütonlarda ve sınırlı alanlardadır. Genel olarak plütonların yaşı stratigrafik ilişkilerle göreceli olarak saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bölgenin batısındaki Bozat (Piraziz, Giresun) yöresi ve çevresinde yer alan Geç Kretase yaşlı plütonlarla ilgili detaylı petrografik, jeokimyasal ve petrolojik çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Piraziz (Giresun) güneydoğusunda Bozat beldesinde yüzeyleme veren, Geç Kretase yaşlı Bozat plütonunun detaylı petrografik ve mineral kimyası özelliklerinin belirlenmesi, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin ortaya konulması ve tektonik ortamları hakkında literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.



**Şekil 1. a)** Türkiye'nin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek), **(b)** Doğu Pontidler'deki plütonik kayaların dağılımını gösteren jeoloji haritası (Güven, 1993; MTA, 2002; Arslan vd., 2013; Temizel vd., 2016; Yücel vd., 2017'den değiştirilerek).

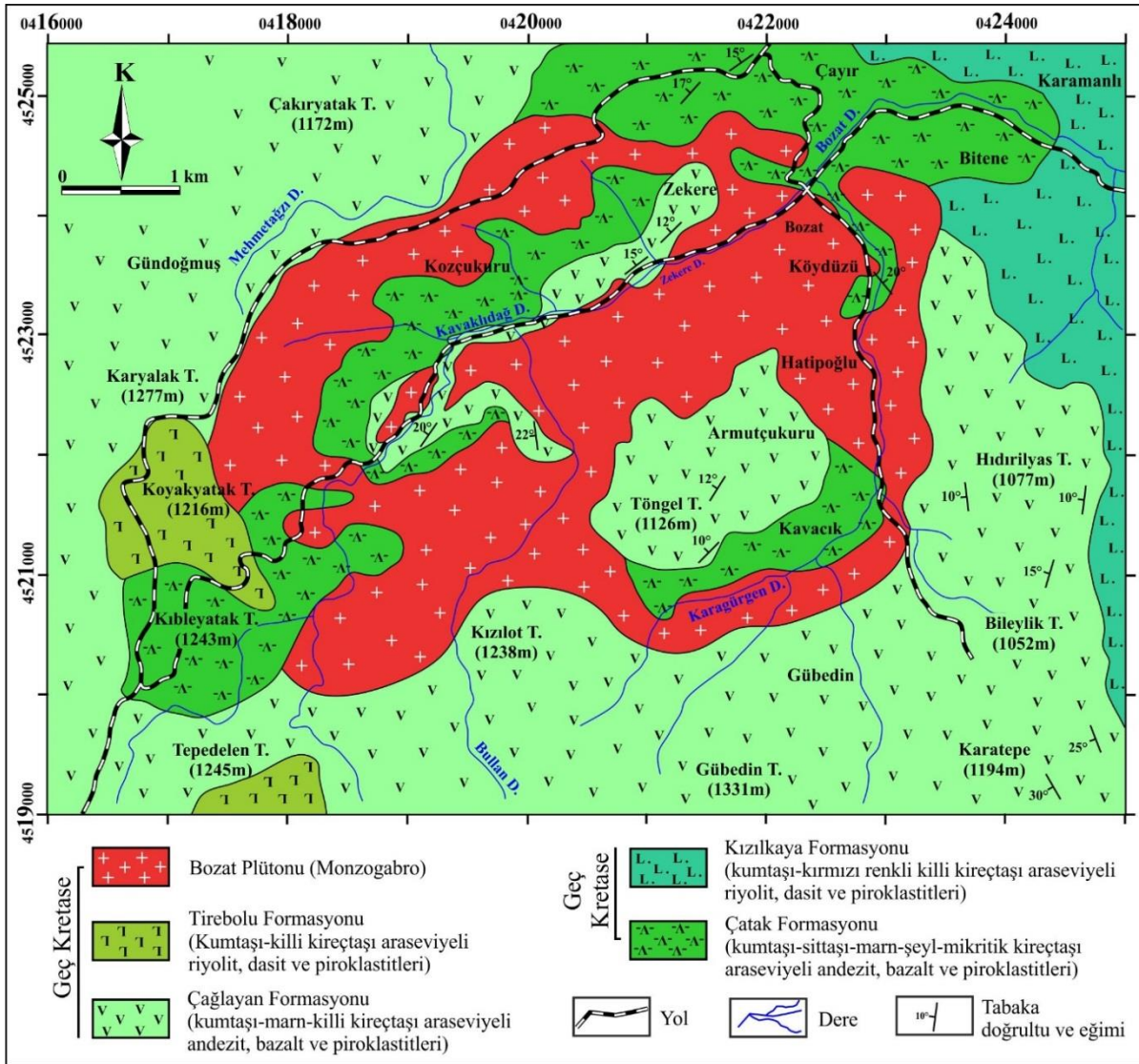


## 2. Jeolojik Konum ve Bozat Plütununun Saha Özellikleri

DPOK’de Giresun İli Bozat İlçesinde yer alan ve genelde volkanik, plütönik ve tortul kayaçların egemen olduğu çalışma alanının temelini; Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen (Geç Kretase) yaşlı Çatak Formasyonu (Güven, 1993)’na ait bazalt, andezit ve piroklastitleri ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve mikritik kireçtaşı araseviyeleri oluşturur (Şekil 2). Bu birim, Santoniyen (Geç Kretase) yaşlı riyoilit, dasit ve piroklastitleri ile kumtaşı ve kırmızı renkli killi kireçtaşlarından oluşan Kızılkaya Formasyonu (Güven, 1993) tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir (Şekil 2). Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu olarak Santoniyen-Kampaniyen (Geç Kretase) yaşlı andezit, bazalt ve piroklastitleri ile kumtaşı, marn ve killi kireçtaşı araseviyelerinden oluşan Çağlayan Formasyonu

(Güven, 1993) gelmektedir (Şekil 2). Bu birim üzerine uyumlu olarak Kampaniyen-Maastrichtiyen (Geç Kretase) yaşlı riyoilit, dasit ve piroklastitleri ile kumtaşı ve killi kireçtaşı araseviyelerinden oluşan Tirebolu Formasyonu (Güven, 1993) gelmektedir (Şekil 2).

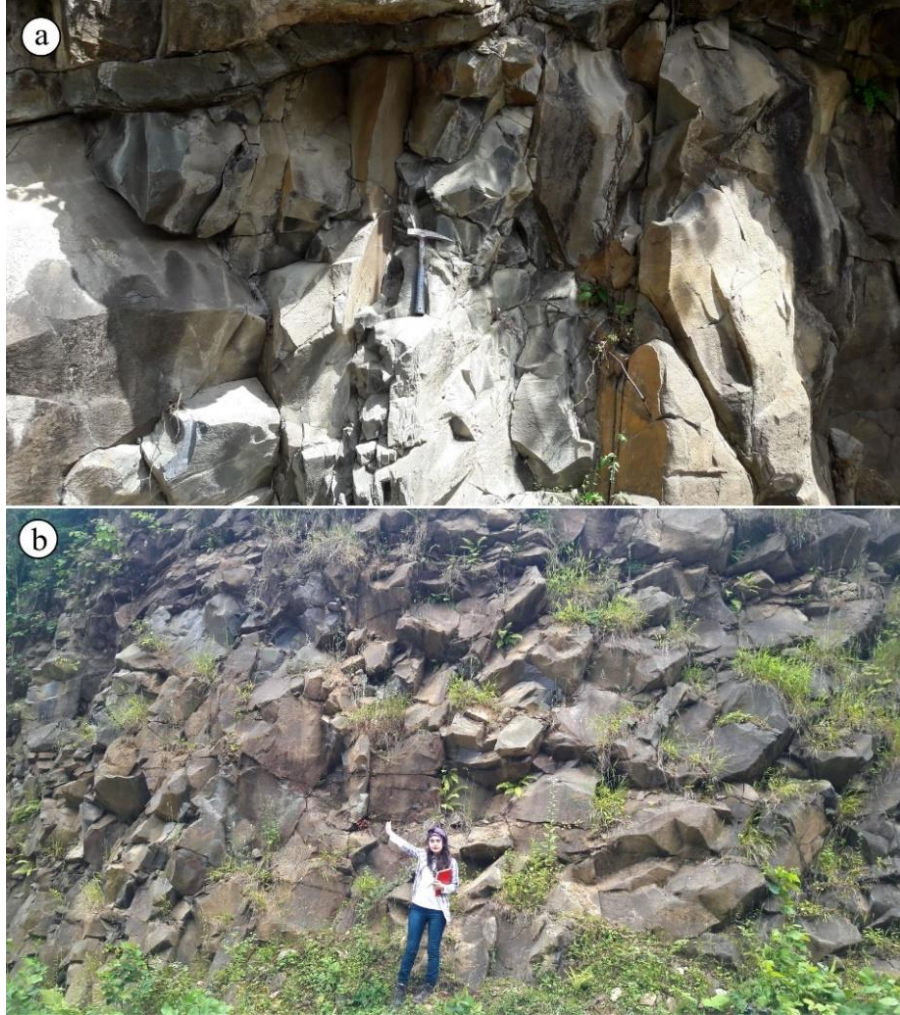
İncelenen Bozat plütönu, yaklaşık 15 km<sup>2</sup>’lik bir alanda Giresun İli, Piraziz İlçesi, Bozat Beldesi güneybatısında Hatipoğlu, Köydüzü, Koççukuru ve çevresinde, özellikle de Zekere Dere, Kavaklıdağ Dere, Bullan Dere ve Karagürgen Dere boyunca yüzeyleme vermektedir (Şekil 2). Bozat Plütönu, Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu’nu, Santoniyen yaşlı Kızılkaya Formasyonu, Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ve Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Tirebolu Formasyonu’na ait volkanik ve volkano-tortul kayaçlarını keserek yerleşmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Bozat Plütönu ile çevre kayaçlarını gösteren jeoloji haritası (Güven, 1993; MTA, 2002’den değiştirilerek).

Saha gözlemleri, dokanak ve yan kayaç ilişkilerine göre plütonun yaşı Geç Kretase olarak kabul edilmektedir (Güven, 1993). Plütonun uzun eksenini kuzeydoğu-güneybatı istikametinde uzanım göstermekte olup, genelde elips şekillidir (Şekil 2). Genel olarak oldukça sert, çatlaklı ve

kırıklı yapı sunarlar ve küçük bloklar şeklinde yüzeyleme vermektedirler (Şekil 3a, b). Sahada renkleri genellikle gri-koyu ve sarımsı gri olup ve orta-ince tanelidirler (Şekil 3a, b). Plütonun yan kayaç ile olan dokanak zonlarında az oranda silisleşme ve epidotlaşma gözlenmiştir.



**Şekil 3.** Bozat Plütonu'na ait bol çatlaklı ve kırıklı yapıya sahip, ince-orta taneli monzogabroların arazi görünümü (a, b).

### 3. Analitik Metod

Saha çalışmalarında öncel jeolojik haritalardan (Güven, 1993; MTA, 2002) faydalanılarak yörenin 1/25000 ölçekli detay jeolojik haritası revize edilmiş ve incelenen Bozat Plütundan petrografik ve jeokimyasal amaçlı kayaç örnekleri alınmıştır.

Kayaç incekesitleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İncekesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. İncekesitler polarizan mikroskopta incelenmiş, kayaçların mineralojik bileşimleri,

dokusal-petrografik özellikleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Modal analiz için Swift nokta sayacı kullanılmıştır. Sayım genellikle 0.4 mm aralığı, tane boyutuna göre bazen de 0.2 mm aralığında gerçekleştirilmiş ve her bir kesitte yaklaşık 400-500 nokta sayılmıştır.

Mineral kimyası analizleri Université de Bretagne Occidentale (Brest, Fransa) Geoscience Marines (IFREMER) Elektron Mikroprob Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karbon kaplı parlak kesitler üzerindeki mineral kimyası çalışmaları, CAMECA-SX-100 WDS marka bir elektron mikroprob aleti ile gerçekleştirilmiştir. Aletin

çalışma şartları 15 kV voltaj ve 20 nA'dır. Analizler 10 µm'lik bir ışın çapında yapılmış ve Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na ve K elementleri için sayılma zamanı 10 sn olarak belirlenmiştir. 1 µm'lik bir nokta ışını piroksen, hornblend ve Fe-Ti oksit analizleri için kullanılmıştır. Feldispat ve mika analizlerinde sodyum buharlaşması nedeniyle oluşacak kayıpları önlemek için çok hafif defokuslanmış (10 µm) ışın kullanılmıştır. Analizlerdeki doğal mineral standartları forsterit, diyopsit, ortoklas, albit, anortit, biyotit, apatit, vollastonit ve magnetittir. Analitik hata ana elementler için %1'den ve iz elementler için ise 200 ppm den daha azdır.

Petrografik incelemeler sonucuna göre incelenen plütondan seçilen ayrışmamış ve taze kayaç örnekleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Örnek Hazırlama ve Öğütme Laboratuvarı'nda önce çelik çeneli kırıcı ile kırılmıştır. Daha sonra çelik halkalı öğütücü içinde yaklaşık 200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir.

Plütönlere ait kayaç tozlarından itibaren tüm-kaya analizleri ACME Analitik Laboratuvarı'nda (Vancouver, Kanada) yaptırılmıştır. Ana ve iz element analizleri, 0.2 gr toz kayaç örneğinin 1.5 gr LiBO<sub>2</sub> ile çözdürülmesi ve daha sonra 100 ml %5 HNO<sub>3</sub> de çözülmesinden sonra indüksiyonlu eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) ile ölçülmüştür. Nadir toprak element (NTE) içerikleri 0.25 gr toz kayaç örneğinin dört farklı asit içerisinde çözdürülmesinden sonra indüksiyonlu eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edilmiştir. Ateşte kayıp (AK), örnekler 1000°C'de yakıldıktan sonra ağırlık farkından hesaplanmıştır. Toplam demir içeriği, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden ifade edilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz ve nadir toprak elementler ise ppm olarak ölçülmüştür.

## 4. Bulgular

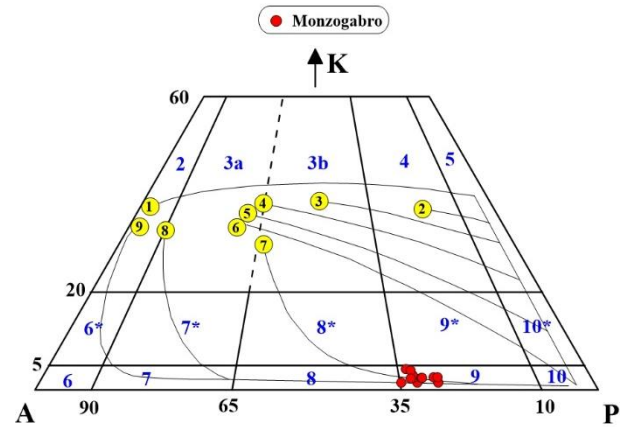
### 4.1. Petrografi

İncelenen plütöna ait 12 adet örneğin modal analiz sonuçlarına (Tablo 1) göre, KAP (Kuars-Alkali Feldispat-Plajiyoklas) diyagramında (Streckeisen, 1976) monzogabro/monzodiyorit alanına düşmektedir (Şekil 4). Plütönu oluşturan kayaçlar, genellikle monzonitik, poikilitik ve nadiren de pertitik doku gösterirler. Açık renkli mineraller plajiyoklas, ortoklas ve kuvars ile temsil edilirken, ferromagnezyen mineralleri klinopiroksen ve

biyotit oluşturur (Şekil 5a-d). Plütöna ait örneklerin bazılarında klinopiroksen fazlayken, biyotit mineralleri daha az orandadır. Bol olarak bulunan opak mineraller ile aksesuar mineral olarak gözlenen apatit ve zirkon diğer mineralleri oluşturur. Bazı örneklerde yer yer plajiyoklaslarda serisitleşme ve epidotlaşma, ortoklaslarda killeşme ve ferromagnezyen minerallerden itibaren kloritleşme izlenmiştir.

**Tablo 1.** Bozat Plütönu kayaçlarının genel petrografik özellikleri ile modal bileşimleri.

Plütön Adı	BOZAT PLÜTONU		
<b>Kayaç Türü</b>	Monzogabro		
<b>Doku</b>	Monzonitik, poikilitik, pertitik		
<b>Tane Boyu</b>	Orta-ince		
<b>Modal Min. (%)</b>	<b>Ort.</b>	<b>Min.</b>	<b>Mak.</b>
Plajiyoklas	47.0	40.8	53.8
Kuars	0.9	0.1	2.1
Ortoklas	21.7	20.1	22.7
Piroksen	19.8	13.1	25.4
Biyotit	3.9	1.5	5.7
Tali Min.	0.8	0.7	0.9
Opak Min.	3.4	2.3	4.3
İkincil Min.	2.7	1.5	3.6



**Şekil 4.** Bozat Plütönu kayaçlarına ait K-A-P diyagramı. Eğriler; plütönik tip serilerinin yönlerini göstermekte olup; 1- toleyitik seriler, 2- kalk-alkali trondjemitik seriler, 3-6- değişken kalka-alkali granodiyorit serileri, 7- monzonitik seriler, 8-9- değişken alkali seriler (Lameyre ve Bonin, 1991). Alanlar; (2) alkali feldispat granit, (3a) siyenogranit, (3b) monzogranit, (4) granodiyorit, (5) tonalit, (6\*) kuvars alkali feldispat granit, (7\*) kuvars siyenit, (8\*) kuvars monzonit, (9\*) kuvars monzodiyorit/ kuvars monzogabro, (10\*) kuvars diyorit/ kuvars gabro/ kuvars anortozit, (6) alkali feldispat granit, (7) siyenit, (8) monzonit, (9) monzodiyorit/ monzogabro, (10) diyorit/ gabro/ anortozit (Streckeisen, 1976).

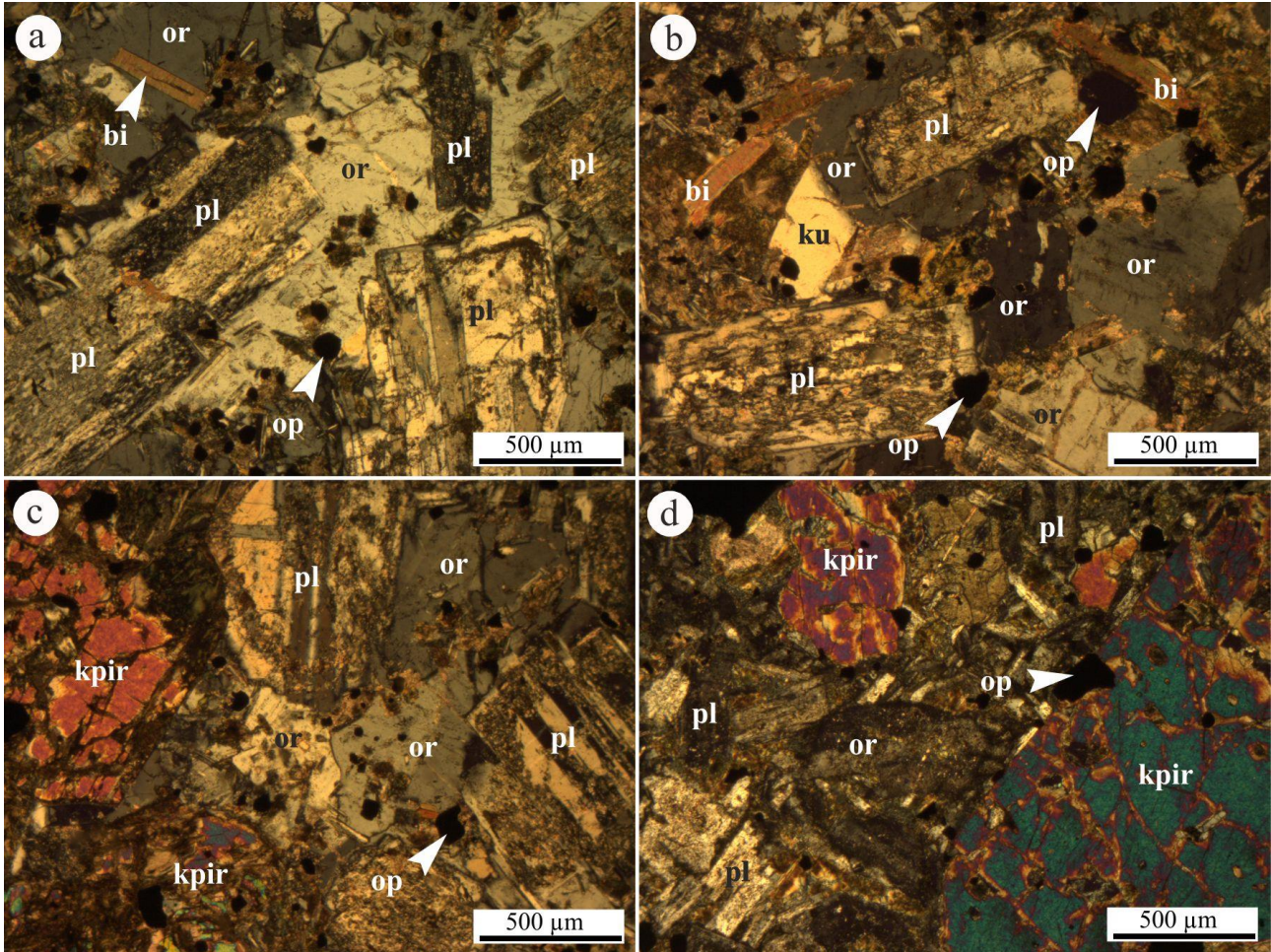
Plajiyoklas (% 41-54), kayaçta yaygın olarak öz ve yarı özşekilli, iri ve küçük prizmatik kristaller halinde gözlenmekte olup, genellikle albit polisentetik ikizlenmesi, nadiren karlsbad ikizi ve halkalı zonlanma gösterirler (Şekil 5a-d). Bazı kristallerde ikizlenme ve zonlanma birlikte görülür. Yalnızca zonlu yapı gösteren plajiyoklaslarda büyüme düzensizlikleri mevcuttur. Ayrıca, özşekilli plajiyoklaslarda yer yer elek dokusu hâkimdir.

Ortoklas (% 20-23), genelde özşekilsiz olup, hem iri ve hem de küçük kristaller halinde gözlenirler. Ortoklaslardan bazılarında karlsbad ikizlenmesi belirlenmiştir. Ayrıca, ortoklas içerisinde albit kusmaları ile karakteristik olan pertit oluşumları da saptanmıştır. Yer yer büyük ortoklas kristalleri, poikilitik olarak plajiyoklas, biyotit ve opak mineral kapanımları içerirler (Şekil 5a, c). Bazı

kesitlerde ortoklas mineralleri plajiyoklasların etrafını kısmen çevreleyerek monzonitik dokuyu oluştururlar (Şekil 5b). Bazıları kırıklı ve kısmen killeşmiştir (Şekil 5d).

Kuvars (% 1-3), özşekilsiz ve irili ufaklı kristaller halinde gözlenirler (Şekil 5b). Genel olarak kırıklı ve çatlaklı yapı sunarlar ve bazı kesitlerde dalgalı sönme gösterirler.

Klinopiroksen (% 13-25) yarı özşekilli iri fenokristaller halinde gözlenirler ve bol olarak opak mineral inklüzyonları içerirler (Şekil 5c, d). Genelde kırıklı ve çatlaklı yapı sunan iri klinopiroksenlerde, kenarlarından itibaren yenme ve kemirilme gözlenmektedir. Bazıları kısmen kloritleşmişlerdir.



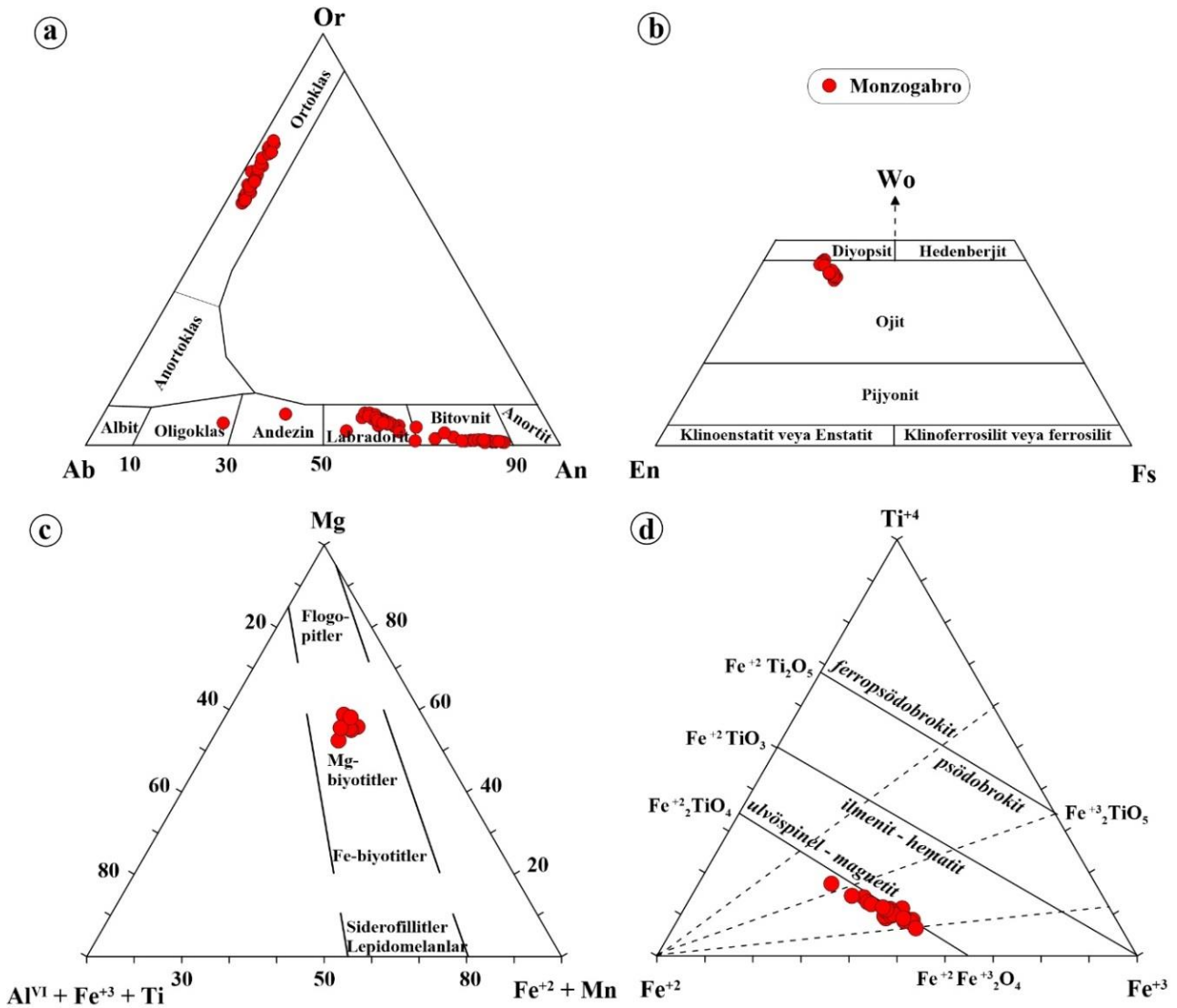
**Şekil 5.** Bozate Plütönu monzogabroyik kayaçlarına ait mikrofotografılar; (a) ortoklasın plajiyoklası çevrelemesi ile oluşan monzonitik doku ve biyotit ve opak mineralleri poikilitik olarak içermesi, (b) özşekilli plajiyoklas ve özşekilsiz ortoklas mineralleri ile küçük lata şekilli biyotit mineralleri, (c) opak mineral kapanımları içeren yuvarlağimsı ortoklaslar ve kenarları korrode olmuş, bol çatlaklı ve kırıklı özşekilsiz klinopiroksen mineralleri, (d) yarı özşekilli iri klinopiroksen minerali (Örnek No: BT-1, BT-8; Ç.N.) (Açıklamalar; Ç.N., çapraz nikol; kpir, klinopiroksen; bi, biyotit; pl, plajiyoklas; ku, kuvars; or, ortoklas; op, opak mineral).

Biyotit (% 2-6) genellikle yarıözşekilli ve özşekilli ince uzun kristaller halindedir ve (001) yüzeyine paralel dilinimi belirgindir (Şekil 5a, b). Nadiren küçük kısa latalar halinde gözlenirler. Opak mineraller (% 2-4) yarı öz ve özşekilsiz irili ufaklı kristaller halindedir (Şekil 5a-d). Opak mineraller genellikle mafik minerallerin nadiren de açık renkli minerallerin çevresinde ve bazen de içerisinde kapanımlar halinde gözlenirler.

#### 4.2. Mineral Kimyası

Kayaçlardaki plajiyoklaslar; labradorit ve bitovnit olup, labradoritlerin bileşimleri  $An_{53-69}Ab_{28-43}Or_{1-8}$  arasında, bitovnitlerin bileşimleri ise  $An_{73-88}Ab_{11-}$

${}_{26}Or_{1-3}$  arasında değişmektedir. Bu kayaçlar içerisindeki K-feldispatlar; ortoklas olup, bileşimleri  $An_{2-4}Ab_{23-38}Or_{59-74}$  arasında değişmektedir (Şekil 6a, Tablo 2). Klinopiroksenler; Morimoto vd. (1988)'nin yaptığı sınıflamaya göre diyopsitik ojit ve ojit olarak isimlendirilmiş olup, bileşimleri  $Wo_{40-45}En_{42-44}Fs_{12-17}$  arasında,  $Mg/(Mg+Fe^{+2})$  oranı ise 0.70-0.78 arasında değişmektedir (Şekil 6b, Tablo 2). Biyotitler,  $Mg-(Al^{VI}+Fe^{+3}+Ti)/(Fe^{+2}+Mn)$  üçgen diyagramında Mg-biyotitler alanına düşmekte olup,  $Mg/(Mg+Fe^{+2})$  oranları 0.66-0.70 arasında değişmektedir (Şekil 6c, Tablo 2). Fe-Ti oksitler; magnetit ve titano-magnetit olarak adlandırılmıştır (Şekil 6d, Tablo 2).



Şekil 6. Boztaş Plütunu kayaçlarına ait; (a) feldispatların An-Ab-Or üçgen diyagramı (Deer vd., 1992), (b) klinopiroksenlerin Wo-En-Fs üçgen diyagramı (Morimoto vd., 1988), (c) biyotitlerin Mg-(Fe<sup>+2</sup> + Mn)-(Al<sup>VI</sup> + Fe<sup>+3</sup> + Ti) (apfu) diyagramı (Foster, 1960), (d) Fe-Ti oksitlerin Ti<sup>+4</sup>-Fe<sup>+2</sup>-Fe<sup>+3</sup> (Bacon ve Hirschmann, 1988) diyagramı.

**Tablo 2.** Bozat Plütonu kayaçlarına ait feldispat, klinopiroksen, biyotit ve Fe-Ti oksitlerin seçilmiş mikroprob analiz sonuçları.

Örnek No.	Plajiyoklas										K-Feldispat										
	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-4	BT-4	BT-4	BT-4	BT-8	BT-8
Pl-2-1	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez
	45.72	55.05	47.15	47.17	47.71	61.91	53.54	53.18	54.18	54.57	66.18	65.80	65.60	65.50	65.59	65.80	65.30	66.94	65.01	65.17	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.58	28.13	32.83	33.04	32.76	23.51	28.80	28.81	27.87	28.02	19.08	19.20	19.21	19.23	19.02	18.94	19.15	18.94	18.89	18.86	
FeO(t)	0.67	0.52	0.82	0.76	0.80	0.47	0.69	0.69	0.64	0.60	0.18	0.25	0.20	0.17	0.24	0.02	0.21	0.26	0.24	0.21	
CaO	17.87	10.85	17.15	17.17	17.01	5.53	11.95	12.12	11.05	11.31	0.74	0.68	0.76	0.83	0.78	0.36	0.69	0.44	0.60	0.54	
Na <sub>2</sub> O	1.29	4.88	1.82	1.76	1.75	7.97	3.94	3.83	4.16	4.06	4.34	3.88	4.23	3.96	4.12	3.65	3.58	2.98	2.86	2.73	
K <sub>2</sub> O	0.13	0.60	0.18	0.11	0.23	0.95	0.94	1.04	1.32	1.33	10.32	11.05	10.31	10.69	10.16	11.60	11.56	11.34	12.52	13.08	
Toplam	99.26	100.03	99.95	100.01	100.26	100.34	99.86	99.67	99.22	99.88	100.84	100.87	100.31	100.39	99.92	100.37	100.50	100.91	100.12	100.58	
Formül 32 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																					
Si	8.51	9.95	8.71	8.70	8.77	11.00	9.75	9.71	9.91	9.92	11.91	11.88	11.87	11.86	11.90	11.93	11.86	12.02	11.89	11.89	
Al	7.37	5.99	7.15	7.18	7.10	4.93	6.18	6.20	6.01	6.00	4.05	4.08	4.10	4.10	4.07	4.05	4.10	4.01	4.07	4.05	
Fe <sup>+2</sup>	0.10	0.08	0.13	0.12	0.12	0.07	0.10	0.10	0.10	0.09	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.04	0.04	0.03	
Ca	3.57	2.10	3.39	3.39	3.35	1.05	2.33	2.37	2.17	2.20	0.14	0.13	0.15	0.16	0.15	0.07	0.13	0.09	0.12	0.11	
Na	0.47	1.71	0.65	0.63	0.62	2.75	1.39	1.36	1.48	1.43	1.52	1.36	1.48	1.39	1.45	1.28	1.26	1.04	1.01	0.96	
K	0.03	0.14	0.04	0.03	0.05	0.22	0.22	0.24	0.31	0.31	2.37	2.54	2.38	2.47	2.35	2.68	2.68	2.60	2.92	3.04	
Toplam	20.05	19.97	20.07	20.05	20.01	20.02	19.97	19.98	19.98	19.95	20.01	20.03	20.01	20.02	19.96	20.02	20.06	19.79	20.04	20.09	
An % mol.	87.81	53.21	82.98	83.78	83.17	26.24	59.14	59.74	54.83	55.89	3.53	3.27	3.67	4.00	3.83	1.73	3.29	2.29	2.89	2.57	
Ab % mol.	11.46	43.27	15.97	15.56	15.49	68.38	35.33	34.15	37.35	36.28	37.64	33.67	36.98	34.60	36.64	31.79	30.97	27.92	25.04	23.44	
Or % mol.	0.73	3.52	1.05	0.66	1.35	5.39	5.53	6.11	7.82	7.82	58.82	63.07	59.36	61.40	59.53	66.47	65.73	69.79	72.07	73.99	

\* Fe<sup>+2</sup> toplam Fe olarak alınmıştır. An: Anortit, Ab: Albit, Ort: Ortoklas, Pl: Plajiyoklas, K.F.: K-Feldispat.

Tablo 2. devamı

Örnek No.	Klinopirotksen								Biyotit								Fe-Ti oksit										
	BT-1	BT-1	BT-4	BT-4	BT-4	BT-1	BT-1	Örnek No.	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	Örnek No.	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-4	BT-4	BT-4	BT-4
Kpir-3-1	Kpir-8-1	Kpir-1-1	Kpir-2-1	Kpir-6-1	BT-1	BT-1	Örnek No.	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	Örnek No.	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-1	BT-4	BT-4	BT-4	BT-4	BT-8
51.02	51.54	51.42	51.74	51.50	SiO <sub>2</sub>	39.11	39.37	39.72	38.55	39.33	Bi-7-2	39.11	39.37	39.72	38.55	39.33	SiO <sub>2</sub>	1.66	2.90	2.42	2.90	2.42	5.13	5.13	0.99	0.99	
0.42	0.39	0.40	0.43	0.44	TiO <sub>2</sub>	4.26	4.10	3.67	3.91	4.76	Bi-6-3	4.26	4.10	3.67	3.91	4.76	TiO <sub>2</sub>	10.75	16.93	8.36	16.93	8.36	8.49	8.49	8.33	8.33	
3.38	2.40	2.86	2.60	2.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.98	12.32	11.63	12.71	12.55	Bi-6-1	11.98	12.32	11.63	12.71	12.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.31	0.50	0.31	0.50	0.31	0.73	0.73	0.15	0.15	
8.03	7.77	10.13	10.74	9.51	FeO(t)	12.97	12.87	14.85	14.65	13.84	Bi-4-1	12.97	12.87	14.85	14.65	13.84	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.65	27.08	47.21	43.65	27.08	40.38	40.38	50.06	50.06	
0.26	0.31	0.32	0.43	0.43	MnO	0.14	0.09	0.16	0.18	0.17	Bi-4-1	0.14	0.09	0.16	0.18	0.17	FeO	41.42	48.32	39.81	41.42	48.32	40.23	40.23	39.80	39.80	
14.72	15.40	14.61	14.75	14.81	MgO	17.12	17.22	16.20	16.30	15.43	Bi-6-2	17.12	17.22	16.20	16.30	15.43	MnO	1.06	0.39	0.08	1.06	0.39	0.19	0.19	0.00	0.00	
21.95	21.60	20.54	19.36	20.77	K <sub>2</sub> O	9.40	9.59	9.39	8.54	9.40	Bi-6-1	9.40	9.59	9.39	8.54	9.40	MgO	0.08	0.10	0.04	0.08	0.10	0.02	0.02	0.01	0.01	
0.27	0.21	0.26	0.28	0.27	-	-	-	-	-	-	Bi-4-1	-	-	-	-	-	CaO	0.41	0.83	1.82	0.41	0.83	4.52	4.52	0.13	0.13	
100.06	99.62	100.52	100.34	100.43	Toplam	94.98	95.57	95.63	94.85	95.47	Toplam	94.98	95.57	95.63	94.85	95.47	Toplam	99.34	97.05	100.04	99.34	97.05	100.04	99.69	99.48	99.48	
Formül 6 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																											
Si	1.89	1.91	1.90	1.92	1.90	Si	2.98	2.98	3.03	2.96	3.01	Si	2.98	2.98	3.03	2.96	3.01	Si	0.06	0.11	0.09	0.06	0.11	0.19	0.19	0.04	
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Ti	0.24	0.23	0.21	0.23	0.27	Ti	0.24	0.23	0.21	0.23	0.27	Ti	0.31	0.49	0.24	0.31	0.49	0.24	0.24	0.24	
Al	0.15	0.10	0.12	0.11	0.12	Al <sup>IV</sup>	0.77	0.79	0.76	0.81	0.71	Al	0.77	0.79	0.76	0.81	0.71	Al	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	
* Fe <sup>+2</sup>	0.17	0.17	0.25	0.29	0.22	Al <sup>VI</sup>	0.30	0.31	0.29	0.34	0.42	* Fe <sup>+3</sup>	0.30	0.31	0.29	0.34	0.42	* Fe <sup>+3</sup>	1.25	0.78	1.33	1.25	0.78	1.12	1.12	1.44	
* Fe <sup>+3</sup>	0.08	0.07	0.07	0.04	0.07	**Fe <sup>+2</sup>	0.83	0.81	0.95	0.94	0.89	* Fe <sup>+2</sup>	0.83	0.81	0.95	0.94	0.89	* Fe <sup>+2</sup>	1.31	1.55	1.25	1.31	1.55	1.24	1.24	1.27	
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Mn	0.03	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	
Mg	0.81	0.85	0.81	0.82	0.82	Mg	1.95	1.94	1.84	1.87	1.76	Mg	1.95	1.94	1.84	1.87	1.76	Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
Ca	0.87	0.86	0.81	0.77	0.82	K	0.91	0.93	0.91	0.84	0.92	Ca	0.91	0.93	0.91	0.84	0.92	Ca	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.18	0.18	0.01	
Na	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Toplam	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	Toplam	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	Toplam	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	Toplam	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
* Mg#	0.77	0.78	0.72	0.71	0.74	**Mg#	0.70	0.70	0.66	0.66	0.67	-	0.70	0.70	0.66	0.66	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Wo	45.07	44.00	42.11	40.11	42.57	X <sub>amit</sub>	0.27	0.26	0.31	0.30	0.29	-	0.27	0.26	0.31	0.30	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
En	42.06	43.64	41.68	42.53	42.22	X <sub>logopit</sub>	0.63	0.63	0.60	0.59	0.57	-	0.63	0.63	0.60	0.59	0.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fs	12.87	12.36	16.21	17.36	15.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

\* Fe<sup>+2</sup> ve Fe<sup>+3</sup> ayrımı stokiometrik olarak yapılmıştır. Mg# (Mg-numarası) = Mg / (Mg + Fe<sup>+2</sup> + Fe<sup>+3</sup>). Wo: Vollaistonit, En: Enstatit, Fs: Ferrosilit Kpir: Klinopirotksen.  
\*\* Fe<sup>+2</sup> toplam Fe olarak alınmıştır. Mg# (Mg-numarası) = Mg / (Mg + Fe<sup>+2</sup>). Bi: Biyotit.

### 4.3. Tüm-Kayaç Jeokimyası

Bozat Plütönu'nu oluşturan kayaçların ana, iz ve nadir toprak element analizleri Tablo 3'de verilmiştir. Middlemost (1994)'un TAS (Toplam Alkali-Silis) sınıflama diyagramına göre plütöna ait örneklerin monzodiyorit alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 7a). Ayrıca, yine bu diyagram üzerinde Miyashiro (1978)'nin alkali-subalkali ayırımına göre; plütöna ait örnekler alkali karaktere sahiptir (Şekil 7a).

Plütöna ait kayaçların, Le Maitre vd. (2002)'nin SiO<sub>2</sub> (%) karşı K<sub>2</sub>O (%) diyagramında (Şekil 7b) şoşonitik, Hastie vd. (2007)'nin Co (ppm) karşı Th (ppm) diyagramında (Şekil 7c) ise yüksek-K ve şoşonitik karakterli olduğu görülmektedir. İncelenen plütön örnekleri, Maniar ve Piccoli (1989)'nin A/NK karşı A/CNK diyagramına (Şekil 7d) aktarıldığında, örneklerin I-tipi alanda yer aldığı ve metalümin karakterli olduğu belirlenmiştir.

İncelenen plütönu oluşturan kayaçların ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) normalize iz element dağılımları incelendiğinde; her iki plütönün genel olarak büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİLE; Sr, K<sub>2</sub>O, Rb ve Ba), Th ve Ce konsantrasyonları bakımından zenginleşme, bazı yüksek çekim alanlı element (YÇAE; Y ve TiO<sub>2</sub>), Nb ve Ta içerikleri bakımından fakirleşme göstermektedirler (Şekil 8a). Plütöna ait kayaçların kondrite (Taylor ve McLennan, 1985) normalize nadir toprak element dağılımları (La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub>=8.61-9.98, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>=8.40-10.22), Eu anomalisinin (Eu<sub>N</sub>/Eu\* = 0.73-0.80) varlığı ile karakterize edilen kaşık şekilli bir yönseme ile tanımlanır (Şekil 8b). Bu kayaçların gösterdiği hafif negatif Eu anomalisi, magmalarının gelişiminde feldispat ayrımlaşmasının az da olsa etkili olduğuna işaret etmektedir.

## 5. Tartışma

### 5.1. Ana Magmaların Kökeni

Genel olarak granitik-monzonitik magmaların kökenlerine ilişkin birçok petrojenetik model önerilmektedir. Bu magmalar; (1) manto kökenli bazaltik ana magmalardan fraksiyonel kristallenmesi (FC) ve/veya asimilasyon + fraksiyonel kristallenmesi (AFC) ile türeyebilir (Li vd., 2009; Aghazadeh vd., 2010, 2011), (2) mafik-ortaç meta-magmatik kabuk kayaçlarının kısmi ergimesiyle türeyebilir (Roberts ve Clemens, 1993; Köksal vd., 2013), (3) manto kökenli mafik magma ile kabuk kökenli felsik

**Tablo 3.** Bozat Plütönu kayaçlarının ana (%), iz (ppm), nadir toprak element (ppm) analizleri.

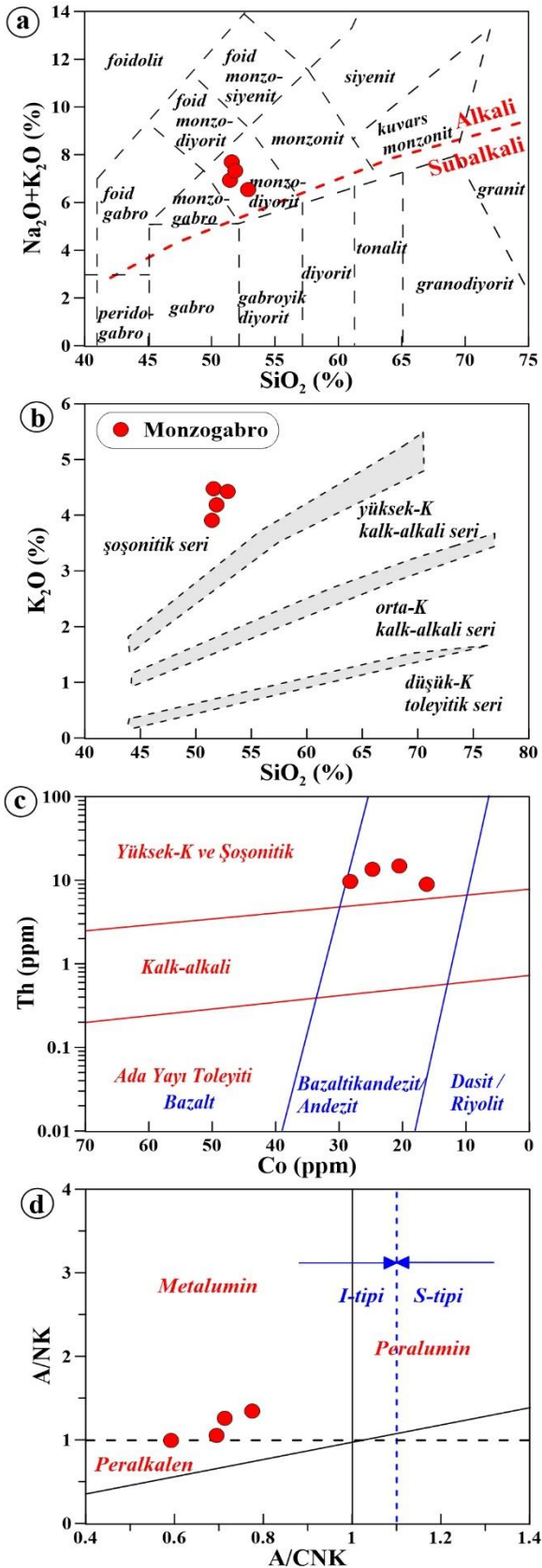
Bozat Plütönu (Monzogabro)					
Örnek No:	Saptama Limitleri	BT-1	BT-4	BT-8	BT-11
SiO <sub>2</sub>	0.01	51.46	51.61	52.9	51.86
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.61	0.7	0.64	0.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	19.41	16.71	16.3	15.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	0.04	6.61	8.53	7.65	8.26
MnO	0.01	0.16	0.14	0.13	0.15
MgO	0.01	2.7	4.47	3.44	5.52
CaO	0.01	7.48	5.72	6.99	7.17
Na <sub>2</sub> O	0.01	3.02	3.23	2.12	3.14
K <sub>2</sub> O	0.01	3.91	4.47	4.43	4.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.37	0.32	0.31	0.27
A.K.	-	4	3.8	4.8	3.4
Toplam	-	99.73	99.7	99.7	99.64
Zr	0.1	104.9	124.8	140	113.1
Y	0.1	19.6	19.4	19.4	21
Sr	0.5	593.4	486.6	504	573.5
Rb	0.1	126.6	150.5	137	137.1
Th	0.2	9	13.5	14.9	9.7
Ta	0.1	0.4	0.5	0.4	0.4
Sc	1.0	13	21	19	25
V	8.0	169	245	207	223
Pb	0.1	5	4.2	8.4	15.3
Ni	0.1	4.7	11.9	12	17.7
Co	0.1	16.2	24.7	20.5	28.2
Cr	20	20	30	30	120
Cs	0.1	1.2	1.8	4.6	0.6
Ba	1.0	820	836	766	779
Nb	0.1	7.1	6.9	7.6	5.9
Hf	0.1	2.6	3.1	3.5	2.9
La	0.1	28.3	28.2	29.8	27.1
Ce	0.1	47.4	51.5	54.3	48.4
Pr	0.02	5.89	6.03	6.34	5.79
Nd	0.3	21.4	24.1	24.2	21.9
Sm	0.05	4.61	4.74	4.74	4.56
Eu	0.02	1.13	1.06	1.1	1.15
Gd	0.05	4.09	4.14	4.23	4.28
Tb	0.01	0.61	0.62	0.61	0.67
Dy	0.05	3.28	3.39	3.49	3.88
Ho	0.02	0.71	0.69	0.74	0.78
Er	0.03	2.01	2.04	1.98	2.19
Tm	0.01	0.3	0.3	0.31	0.32
Yb	0.05	1.99	2.01	1.97	2.18
Lu	0.01	0.3	0.34	0.31	0.32
Eu <sub>N</sub> /Eu*	-	0.80	0.73	0.75	0.80
La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	-	9.79	8.61	9.98	8.79
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	-	9.61	9.48	10.22	8.40
Mg#	-	26.05	31.12	27.94	36.56

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(t), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden toplam demir. Eu\* = √(Sm<sub>N</sub>\*Gd<sub>N</sub>).

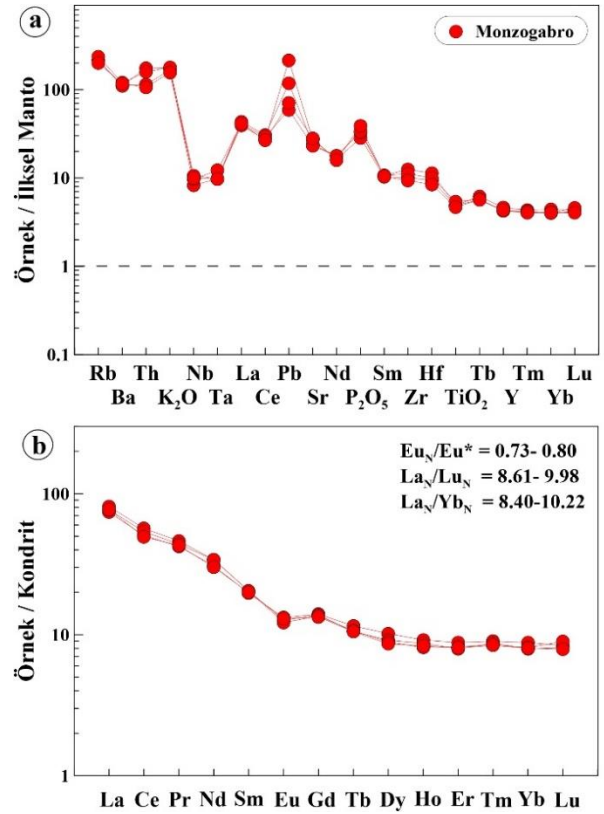
Mg # = 100\*molar MgO / (MgO + FeO).

A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği.





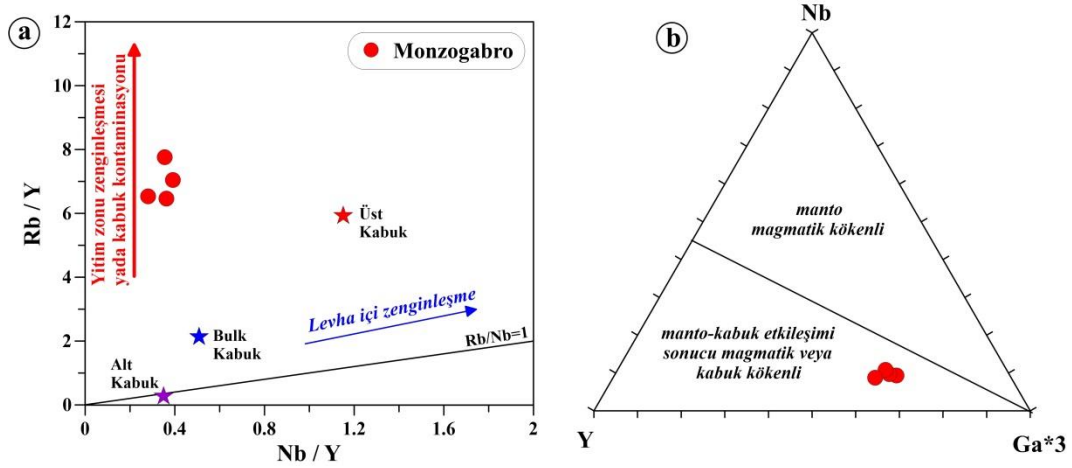
Şekil 7. Bozat Plütönu kayalarına ait; (a)  $Na_2O+K_2O$  (%) karşı  $SiO_2$  (%) (TAS) sınıflama diyagramı (Middlemost, 1994) (Alkali-subalkali ayırım çizgisi, Miyashiro (1978)'e göredir), (b)  $SiO_2$  (%) karşı  $K_2O$  (%) diyagramı (Le Maitre vd., 2002), (c) Th (ppm) karşı Co (ppm) diyagramı (Hastie vd., 2007), (d) molar A/NK karşı molar (A/CNK) diyagramı (Maniar ve Piccoli, 1989).



Şekil 8. Bozat Plütönu kayalarına ait; (a) ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılımları, (b) kondrite (Taylor ve McLennan, 1985) normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları.

magmaların karışımıyla türeyebilir (Ackerman vd., 2010; Liu vd., 2014), (4) manto kökenli bazaltik magmaların kabuk kayalarını ergitmesi için ısı sağlaması esas alınmakta olup (Roberts ve Clemens, 1993; Guffanti vd., 1996), yay magmaları mafik-ortaç bileşimli meta-magmatik (Rapp ve Watson, 1995; Singh ve Johannes, 1996) ya da meta-sedimanter (Patiño Douce ve Beard, 1996; Stevens vd., 1997) kayaların kısmı ergimesinden türeyebilmektedir.

İncelenen Bozat Plütönu'nu oluşturan monzogabroyik kayalar ( $SiO_2$ : % 51.5-52.9 ve Mg#: 26-37); I-tipi, metalümin ( $A/CNK=0.59-0.77$ ) ve şoşonitik karakterli olup, çoğunlukla dar bir aralıkta değişen Nb/Y oranlarıyla nispeten yitim zenginleşmesi yönsemesi göstermektedirler (Şekil 9a). Ayrıca, plütöna ait kayalar, Eby (1992)'nin Nb-Y-Ga\*3 diyagramına göre manto-kabuk etkileşimi sonucu magmatik veya kabuk kökenli alanında yer aldıkları görülmektedir (Şekil 9b).



Şekil 9. Bozat Plütönu kayaçlarına ait (a) Nb/Y - Rb/Y ve (b) Nb-Y-Ga\*3 (Eby, 1992) diyagramları.

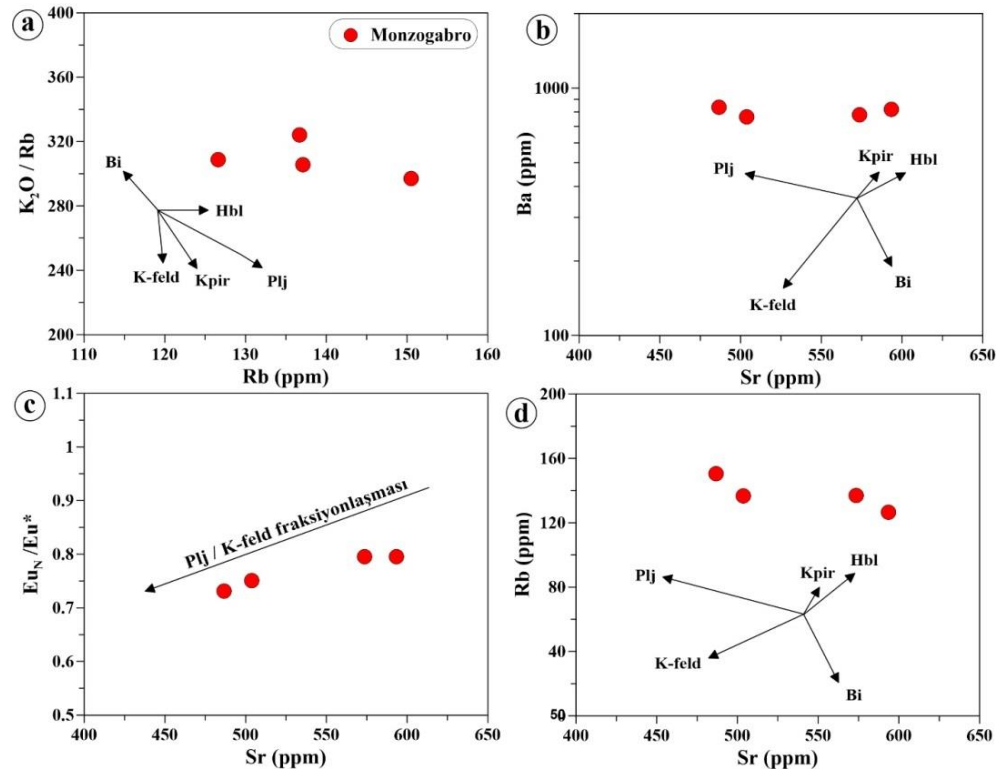
İncelenen plütönu kayaçlarının ilksel mantoya normalize iz element diyagramlarındaki negatif Nb, Ta ve  $TiO_2$  anomalileri ve Sr, Rb,  $K_2O$ , Th, Ce ve La zenginleşmeleri ile yüksek BİLE/YÇAE oranları, plütönu oluşturan kayaçların (a) ana magmanın(ların) yitimle ilişkili farklı derecedeki akışkan  $\pm$  ergiyik zenginleşmesi, (b) ana magmanın(ların) kabuk magma odalarındaki farklı ayırılma  $\pm$  asimilasyon yolları ile açıklanabilir. Bunlara ilave olarak, plütönün kondrite normalize NTE dağılımlarında hafif-orta derecede zenginleşmeye ( $La_N/Lu_N$ : 8.61-9.98,  $La_N/Yb_N$ : 8.40-10.22) sahip olması, Bozat Plütönu'nun ana magmasının alt kıtasal kabuk ve zenginleşmiş

litosferik manto ergiyiklerinden türediğini ve kıtasal magma odasında farklılaşarak yerleştiğine işaret etmektedir.

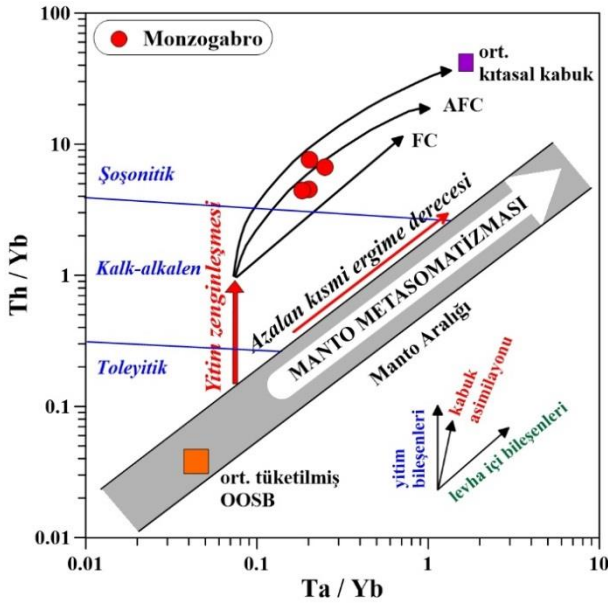
## 5.2. Fraksiyonel Kristallenme (FC) ve Asimilasyon-Fraksiyonel Kristallenme (AFC)

İncelenen plütönu oluşturan kayaçların bazı iz element değişimlerinde gözlenen korelasyonlar (Şekil 10a-d), bu kayaçların gelişiminde plajiyoklas + K-feldispat + klinopiroksen  $\pm$  biyotit fraksiyonlaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir.

Şekil 10. Bozat Plütönu kayaçlarına ait mineral fraksiyonlaşma yönlerini gösterir; (a) Rb (ppm) karşı  $K_2O/Rb$ , (b) Sr (ppm) karşı Ba (ppm), (c) Sr (ppm) karşı  $Eu_N/Eu^*$  ve (d) Sr (ppm) karşı Rb (ppm) diyagramları (plj: plajiyoklas, kpir: klinopiroksen, hbl: hornblend, bi: biyotit, K-feld: K-feldispat).



İncelenen plüton kayaçlarının NTE dağılımlarında konkav şekilli bir desen sunması gelişimlerinde klinopiroksen fraksiyonlaşmasının (Thirlwall vd., 1994) etkili olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca, kayaçlarda gözlenen hafif negatif Eu anomalisi ( $Eu_N/Eu^*$ : 0.73-0.80), plütonun gelişiminde muhtemelen K-feldispat  $\pm$  plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkili olduğunu ifade etmektedir. Bazı iz element değişimlerinde gözlenen düzensiz korelasyonlar ile petrografik olarak gözlenen dengesizlik dokuları, incelenen plütonun gelişiminde etkili olan fraksiyonel kristalleşmenin yanı sıra kabuk asimilasyonu  $\pm$  magma karışımı olaylarına da işaret edebilmektedir. İncelenen plütonun gelişiminde kıtasal kabuk asimilasyonunun (AFC) varlığı, Ta/Yb karşı Th/Yb diyagramıyla da (Şekil 11) açıklanabilir (Pearce, 1983). Bu diyagramda, incelenen plütonik kayaç örnekleri, yüksek Th/Yb ve Ta/Yb oranları ile ortalama kıtasal kabuk değerine doğru bir yönseme göstermektedir (Şekil 11). Buna göre, incelenen plütonun ana magmasının yitim bileşenlerince zenginleşmiş bir kaynaktan itibaren türediği ve daha sonra da AFC ile geliştiği söylenebilir (Şekil 11).



**Şekil 11.** Bozat Plütonu kayaçlarına ait fraksiyonel kristallenme (FC) ve/veya asimilasyon-fraksiyonel kristallenme (AFC) yönlerini gösterir Ta/Yb'a karşı Th/Yb (Pearce, 1983) diyagramı. FC (fraksiyonel kristallenme), AFC (asimilasyon+fraksiyonel kristallenme), yitim zenginleşmesi ve manto metazomatizmasını gösterir vektörler Pearce vd. (1990)'den alınmıştır.

### 5.3. Plütonların Oluştugu Magma-Tektonik Ortam

DPOK'de yitimin yönü, yitimin sonlanma zamanı, Torid-Anatolid Platformu ve Avrasya levhasının çarpışma zamanı ile ilgili görüş farklılıklarından dolayı farklı jeodinamik modeller öngörülmüştür. Bu nedenle, Doğu Pontidlerin yitim polaritesi ve jeodinamik gelişimi hala tartışmalı olup, tartışmalar başlıca üç gurup altında toplanmaktadır: (1) Paleozoyik'ten Eosen sonlarına kadar süregelen kuzeye doğru olan bir yitim (Gedikoğlu, 1983; Ustaömer ve Robertson, 1995; Okay ve Tüysüz, 1999; Ustaömer ve Robertson, 2010; Ustaömer vd., 2013; Topuz vd., 2013; Okay vd., 2013), (2) Paleotetis'in Pontidler'in kuzeyinde olduğu ve Paleozoyik sonundan Eosen sonuna kadar devam eden güney yönlü bir yitim (Dewey vd., 1973; Bektaş vd., 1984, 1999; Chorowicz vd., 1998; Eyüboğlu vd., 2011), (3) Dogger'e kadar güneye, Üst Kretase'den Eosen sonuna kadar ise kuzeye doğru olan çift yönlü bir yitim (Şengör ve Yılmaz, 1981) modelleri ileri sürülmüştür.

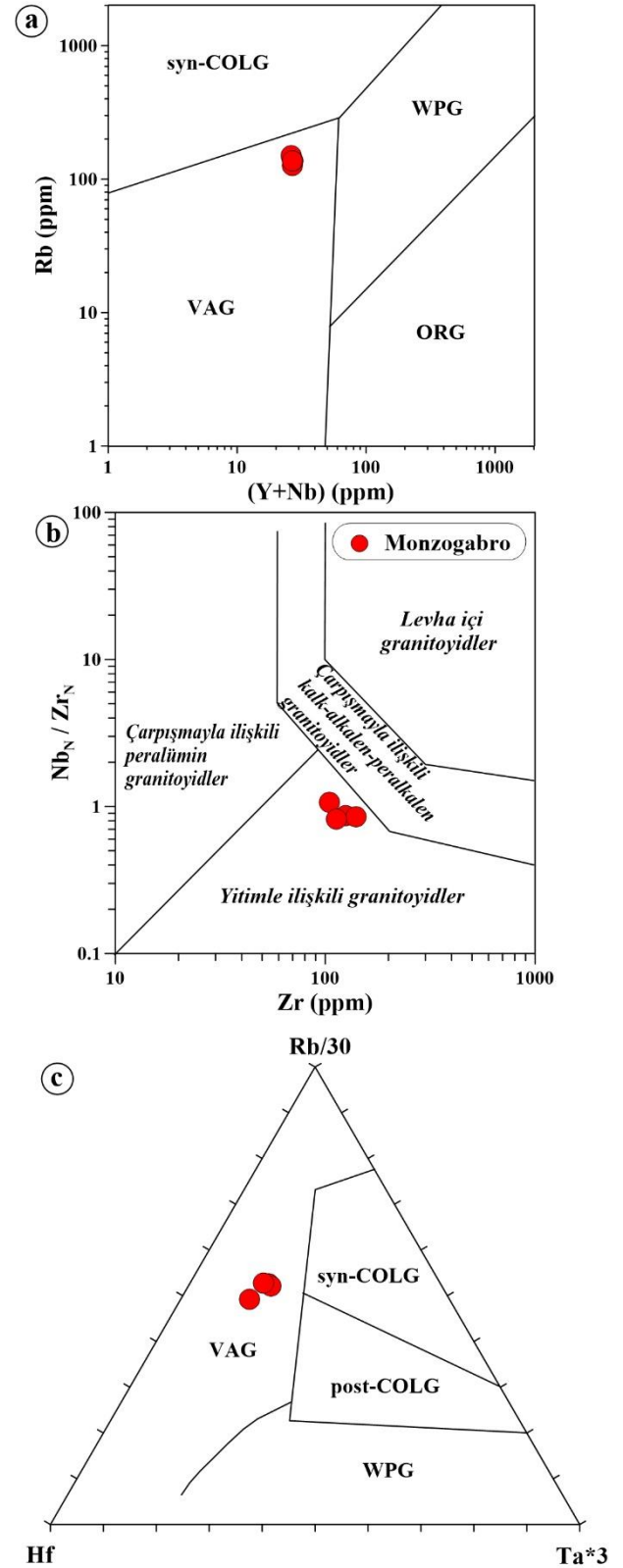
Doğu Pontidlerin, Mesozoyik döneminde Neotetis okyanusu kuzey kolunun Avrasya levhası altına doğru yitimiyle gelişen kıtasal yay olduğu kabul edilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1997). Neotetis okyanusunun güney kenarı Torid-Anatolid platformu (TAP) pasif olduğundan, kuzey yönlü Üst Kretase yitim modelinde (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999; Şengör vd., 2003; Altherr vd., 2008), yiten kabuk zaman içerisinde soğur ve yaşlanır. Ayrıca, Üst Kretase döneminde Pontid kıtasal yayının, yay gerisi havzada (Karadeniz'in açılması) gelişen gerilme sebebiyle de hızlı bir şekilde incelendiği ileri sürülmektedir (Robinson vd., 1995; Okay ve Şahintürk, 1997). Bu nedenle, Pontidler'deki Mesozoyik magmatizmasının ürünleri, yitimle ilişkili gerilmeli yay ortamında oluşan kalk-alkaliden yüksek-K'lu kalk-alkaliye kadar değişen karaktere sahip volkanik kayaçlarla temsil edilmektedir (ör., Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz ve Boztaş, 1996; Okay ve Tüysüz, 1999; Altherr vd., 2008; Sipahi vd., 2014; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Aydınçakır, 2016; Gülmez vd., 2016; Sipahi, 2017). Ayrıca, bölgede Üst Kretase döneminde gelişmiş yitimle ilişkili I-tipi, kalk-alkali, yüksek K'lu-şoşonitik karakterli plütonik kayaçların (~90-65 My) da yaygın olduğu iyi bilinmektedir (ör., Dokuz vd., 2006; Karlı vd., 2010; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2013, 2014).

İncelenen Bozat Plütünü'nün magma-tektonik ortamını belirlemek için plütönik kayalar için geliştirilen ayırtman diyagramları kullanılmıştır. Pearce vd. (1984)'nin Rb-(Y+Nb) diyagramına (Şekil 12a) göre incelenen plütöna ait örnekler, volkanik yay granitleri (VAG) alanına düşmektedirler. Ayrıca, plütöna ait kayalar Thiéblemont ve Tégyey (1994)'in Zr (ppm) karşı  $Nb_N/Zr_N$  diyagramında yitimle ilişkili granitoidler alanında, Harris vd. (1986)'nin Rb/30-Hf-Ta\*3 (Şekil 12b) üçgen diyagramına göre de yay granitleri alanında yer aldıkları görülmektedir (Şekil 12c). Ayrıca, Doğu Pontidler kıtasal yayının, Üst Kretase (Senoniyen) döneminde denizaltı ortamında gelişen yoğun bimodal volkanizma ürünlerinin (mafik-felsik) olması nedeniyle gerilmeli bir yay olduğu bilinmektedir (ör., Bektaş vd., 1995; Arslan vd., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997). Dolayısıyla, diğer jeolojik ve jeokimyasal veriler de dikkate alındığında, Geç Kretase yaşlı I-tipi, metalümin, şoşonitik karakterli Bozat Plütünü'nün tektono-magmatik gelişimi, kıtasal yay ortamında yitim akışkanları/sedimanları ile zenginleşmiş litosferik manto ve alt kabuktan türeyen ana magmanın gerilmeli yay ortamında yerleşmesiyle açıklanabilir.

## 6. Sonuçlar

Geç Kretase yaşlı Bozat Plütünü monzogabro bileşimli kayalardan oluşmaktadır. Petrografik olarak, incelenen plütön kayaları ince-orta taneli ve genellikle monzonitik, poikilitik, nadiren pertitik dokulu olup, plajiyoklas, ortoklas, kuvars, klinopiroksen, biyotit, Fe-Ti oksit içermektedir. Ayrıca, bu plütönda dengesiz kristallenmeye işaret eden; klinopiroksenlerin kenarlarının kemirilmesi ve yenmesi, ortoklas minerallerinde gözlenen poikilitik doku gibi bazı dokusal özellikler gözlenmektedir.

Tüm-kaya jeokimya verileri incelenen plütönün I-tipi, metalümin ve şoşonitik karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ana ve iz element değişimleri, plütönün kıtasal kabuktaki bir magma odasının gelişimi sırasında önemli derecede fraksiyonel kristallenme ve daha az oranda kabuk asimilasyonu ile geliştiklerini ortaya koymaktadır. Plütönü oluşturan ana magmanın gerilmeli bir yay ortamında, litosferik manto kökenli ergiyikler ile alt kabuk kökenli ergiyiklerin karışımından oluştuğu ileri sürülebilir.



**Şekil 12.** Bozat Plütünü kayalarına ait magma-tektonik ortam ayırtman diyagramları; (a) Rb (ppm) karşı (Y+Nb) (ppm) (Pearce vd., 1984), (b)  $Nb_N/Zr_N$  karşı Zr (ppm) (Thiéblemont ve Tégyey, 1994) ve (c) Rb/30-Hf-Ta\*3 (Harris vd., 1986) diyagramları. syn-COLG, çarpışma ile eş yaşlı granitler; VAG, volkanik yay granitleri; WPG, levha-içi granitleri; ORG, okyanus sırtı granitleri; post-COLG, çarpışma sonrası granitleri.

## Katkı Belirtme

Bu çalışma, FBA-2018-7747 No'lu Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KTÜ-BAP) ile desteklenmiştir. Yazarlar, makaleye yapıcı eleştiri ve görüşleriyle katkı sağlayan dergi editörleri ve hakemlere teşekkür eder.

## Kaynaklar

Ackerman, L., Krňanská, M., Siebel, W. ve Strnad, L. 2010. Geochemistry of the Drahotín and Mutěnin intrusions, West Bohemian shear zone, Bohemian massif: contrasting evolution of mantle-derived melts. *Mineralogy and Petrology*, 99, 185-199.

Aghazadeh, M., Castro, A., Omran, N.R., Emami, M.H., Moinvaziri, H. Ve Badrzadeh, Z. 2010. The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38, 199-219.

Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z. ve Vogt, K. 2011. Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland. The Shaivar-Dagh plutonic complex Alborz belt, Iran. *Geological Magazine*, 148, 980-1008.

Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M. 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclinites from the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 105, 149-161.

Arslan, M. ve Aslan, Z. 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the eastern Pontides. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 177-193.

Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H. 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey. *Chemi der Erde*, 57, 157-187.

Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve Şen, C. 2013. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): Implications for magma evolution in extension-induced origin. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 166, 113-142.

Aslan, Z., Arslan M. ve Şen, C. 1999. Doğu Pontidlerin Kuzey ve Güney zonlarında yüzeylenen Eosen yaşlı granitik sokulumların karşılaştırmalı jeolojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri.

Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 223-230.

Aydınçakır, 2016. Subduction related Late Cretaceous high K volcanism in the Central Pontides orogenic belt Constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 28 (4), 379-411.

Bacon, C. R. ve Hirschmann, M. M. 1988. Mg/Mn partitioning as a test for equilibrium between coexisting Fe-Ti oxides. *American Mineralogist*, 73, 57-61.

Bektaş, O., Pelin, S. ve Korkmaz, S. 1984. Doğu Pontid yay gerisi havzasında manto yükselimi ve polijenetik ofiyolit olgusu. *TJK Ketin Sempozyumu*, 175-188.

Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K. ve Özgür, S. 1995. Cretaceous rifting of the Eastern Pontide carbonate platform, NE Turkey: The formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform. *Geologia*, 57, 233-244.

Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N. 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism towards the back-arc basin of the Eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95-106.

Chorowicz, J., Collet, B., Bonavia, F., Mohr, P., Parrot, J.F. ve Tesfaye, K. 1998. The Tana basin, Ethiopia: Intra-plateau uplift, rifting and subsidence. *Tectonophysics*, 295, 351-367.

Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J. 1992. An introduction to the Rock Forming Minerals (second edition), London, Longman, 696.

Dewey, J.F., Pitman, W., Ryan, W. ve Bonnin, I. 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system, *Geological Society American Bulletin*, 84, 3137-3180.

Dokuz, A. 2011. Slab Detachment and Delamination Model for the Generation of Carboniferous High-Potassium I-type Magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse Composite Pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944.

Dokuz, A. ve Tanyolu, E. 2006. Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 181-209.

Dokuz, A., Karlı, O., Chen, B. ve Uysal, İ. 2010. Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: Implications for pre- and postcollisional

- lithospheric thinning of the Eastern Pontides. *Tectonophysics*, 480, 259-279.
- Dokuz, A., Aydıncakır, E., Kandemir, R., Karşlı O., Siebel, W., Derman, A.S., Turan, M., 2017. Late Jurassic Magmatism and Stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the Slab Breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. *Journal of Geology*, 125, 1-31.
- Eby, G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20, 641-644.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Dudas, F.O., Santosh, M. ve Akaryalı, E. 2011. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting. *Gondwana Research*, 19, 413-429.
- Foster, M.D., 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. US Geological Survey Professional Paper, 354-B, 11-49.
- Gedikoğlu, A. 1983. Doğu Pontid'lerdeki metalik maden yataklarının plaka tektoniği ile olan ilişkileri, 37. T.J.K. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiri Özetleri, 86-87. Ankara.
- Guffanti, M., Clyne, M. A. ve Muffler, L.J.P. 1996. Thermal and Mass İmplications of Magmatic Evolution in the Lassen Volcanic Region, California, and Constraints on Basalt Influx to the Lower Crust. *Journal of Geophysical Research*, 101, 3001-3013.
- Gülmez, F., Genç, Ş.C., Prelević, D., Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M.F., Billor, Z., 2016. Ultrapotassic volcanism from the waning stage of the Neotethyan subduction: a key study from the İzmir–Ankara–Erzincan Suture Belt, Central Northern Turkey. *Journal of Petrology*, 57, 561-593.
- Güven, İ.H. 1993. Doğu Pontidler'in 1/250000 Ölçekli Kompilasyonu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. ve Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision- zone magmatism. In: Coward M.P, Ries A.C. (eds.), *Collision Tectonics*. Geological Society of London Special Publication, 19, 67-81.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. ve Mitchell, S.F. 2007. Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks using Immobile Trace Elements: Development of the Th-Co Discrimination Diagram. *Journal of Petrology*, 48, 12, 2341-2357.
- Karşlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Şen, C. 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sarıçiçek Plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting. *Lithos*, 98, 67-96.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Bin, C., Kandemir, R.ve Wijbrans, R.J. 2010. Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit pluton, Eastern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 467–487.
- Karşlı, O., Uysal, İ., Ketenci, M., Dokuz, A., Kandemir, R. ve Wijbrans, J. 2011. Adakite-like granitoid porphyries in the Eastern Turkey: potential parental melts and geodynamic implications. *Lithos*, 127, 354-372.
- Karşlı, O., Caran, Ş., Dokuz, A., Çoban, H., Chen, B. ve Kandemir, R. 2012a. A-type granitoids from the Eastern Pontides, NE Turkey: Records for generation of hybrid A-type rocks in a subduction-related environment. *Tectonophysics*, 530-531, 208-224.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Ketenci, M., Chen, B. ve Kandemir, R. 2012b. Deciphering the shoshonitic monzonites with I-type characteristic, the Sıdağı pluton, NE Turkey: magmatic response to continental lithospheric thinning. *Journal of Asian Earth Sciences*, 51, 45-62.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., 2017. Zircon Lu-Hf isotope systematics and U-Pb geochronology, whole-rock Sr-Nd isotopes and geochemistry of the early Jurassic Gokcedere pluton, Sakarya Zone-NE Turkey: a magmatic response to roll-back of the Paleo-Tethyan oceanic lithosphere. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172, 31.
- Kaygusuz, A. ve Aydıncakır, E. 2009. Mineralogy, Whole-Rock and Sr-Nd Isotope Geochemistry of Mafic Microgranular Enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of Magma Mixing, Mingling, and Chemical Equilibration. *Chemie der Erde/Geochemistry*, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A. ve Aydıncakır, E. 2011. Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 188, 3, 211-233.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C. 2011. Calc-alkaline I-type plutons in the eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde Geochemistry*, 71, 59-75.

- Kaygusuz, A. ve Öztürk, M. 2015. Geochronology, geochemistry, and petrogenesis of the Eocene Bayburt intrusions, Eastern Pontide, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in the high-K calc-alkaline magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, 97-116.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satir, M. 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 739-764.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Arslan, Z., Siebel, W. ve Şen, C. 2009. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of the Early Cretaceous I-type Sariosman pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 549-581.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satir, M. ve Şen, C. 2010. Insight into magma genesis at convergent plate margins – a case study from the eastern Pontides (NE Turkey). *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 187, 3, 265-287.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C. 2011. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of post-collisional calc-alkaline volcanics in the eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N. 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides. *Turkey, International Geology Review*, 54, 15, 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve Aydınçakır, E. 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423-438.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ. 2014. LA-ICP MS zircon dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related I-type magmatism. *Lithos*, 192-195, 271-290.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. 2016. U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327-346.
- Köksal, S., Toksoy-Köksal, F., Göncüoğlu, M.C., Möller, A., Gerdes, A. ve Frei, D. 2013. Crustal source of the Late Cretaceous Satansarı monzonite stock (central Anatolia-Turkey) and its significance for the Alpine geodynamic evolution. *Journal of Geodynamics*, 65, 82-93.
- Lameyre, J. ve Bonin, B., 1991. Granites in the main plutonic series. In: Didier, J., Barbarin, B. (Eds), *Enclaves and Granite Petrology*. Amsterdam, Elsevier, 3-17.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. ve Woolley, A.R. 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press., 236p.
- Li, X.H., Li, W.X., Li, Z.X., Lo, C.H., Wang, J., Ye, M.F. ve Yang, Y.H. 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks. *Precambrian Research*, 174, 117-128.
- Liu, L., Qiu, J.S., Zhao, J.L. ve Yang, Z.L. 2014. Geochronological, geochemical, and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics of Cretaceous monzonitic plutons in western Zhejiang Province, Southeast China: new insights into the petrogenesis of intermediate rocks. *Lithos*, 196-197, 242-260.
- Maniar, P.D. ve Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101, 635-643.
- Middlemost, E.A.K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews* 37, 215-224.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 66, 91-104.
- Morimoto, M., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. ve Gottardi, G. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.
- MTA, 2002. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Samsun ve Trabzon Paftaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Okay, A.İ. ve Şahintürk, Ö. 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black*

- Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 291-311.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, In: Durand, B., Jolivet, L., Hovarth, F., Séranne, M. (eds), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen Tethyan Sutures of Northern Turkey. Geological Society London. Special Publications, 156, 475-515.
- Okay, A.İ., Sunal, G., Sherlock, S., Altner, D., Tüysüz, O., Kylander-Clark, A.R.C. ve Aygül, M. 2013. Early Cretaceous sedimentation and orogeny on the active margin of Eurasia: Southern Central Pontides, Turkey. *Tectonics*, 32, 1247-1271.
- Patiño Douce, A.E. ve Beard, J.S. 1996. Effects of P, f (O<sub>2</sub>) and Mg/Fe Ratio on Dehydration Melting of Model Metagreywackes. *Journal of Petrology*, 37, 999-1024.
- Pearce, J.A. 1983. The Role of Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Destructive Plate Margins. In: Continental Basalts and Mantle Xenoliths, (eds): Hawkesworth, C.J., Norry, M.J., Shiva Publishing, Cheshire, 230-249.
- Pearce, J.A., Haris, N.B.W. ve Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J.J. 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Rapp, R.P. ve Watson, E.B. 1995. Dehydration Melting of Metabasalt at 8–32 kbar: Implications for Continental Growth and Crust-Mantle Recycling. *Journal of Petrology*, 36, 891-931.
- Roberts, M.P. ve Clemens, J.D. 1993. Origin of High-Potassium, Calcalkaline, I-Type Granitoids. *Geology*, 21, 825-828.
- Robinson, A.G., Banks, C.J., Rutherford, M.M. ve Hirst, J.P.P. 1995. Stratigraphic and structural development of the eastern Pontides, Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 152, 861-872.
- Singh, J. ve Johannes, W. 1996. Dehydration Melting of Tonalites: Part II. Composition of Melts and Solids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 125, 26-44.
- Sipahi, F., 2017. Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi. *Gümüşhane Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 102-127.
- Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A., Yılmaz, M., 2017. Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, litho-geochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182 (Part A), 32-52
- Sipahi, F., ve Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of dacitic volcanics in the eastern pontides (NE Turkey). *Geochemistry International*, 4, 329-349.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., Akpınar, İ., 2018. Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60 (3), 382-400.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B., Şen, C., 2014. The Geochemical and Sr Nd isotopic Characteristics of Murgul Artvin Volcanics in the Eastern Black Sea Region NE Turkey. *Chemie Der Erde/Geochemistry*, 74 (3), 331-342.
- Stevens, G., Clemens, J.D. ve Droop, G.T.R. 1997. Melt Production during Granulite Facies Anatexis: Experimental Data from ‘Primitive’ Metasedimentary Protoliths. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 128, 352-370.
- Streckeisen, A. 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name. *Earth Science Review*, 12, 1-33.
- Sun, S. ve McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders, M.J. Norry, (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society of London. Special Publication, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T. ve Zor, E. 2003. East Anatolian high plateau as a mantle supported, north–south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8045.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust, Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312.
- Temizel, İ. 2014. Petrochemical evidence of magma mingling and mixing in the Tertiary



- monzogabbroic stocks around the Bafra (Samsun) area in Turkey: implications of coeval mafic and felsic magma interactions. *Mineralogy and Petrology*, 108, 353-370.
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E. ve Ruffet, G. 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258-259, 92-114.
- Temizel, İ., Abdioğlu Yazar E., Arslan, M., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. 2018. Mineral chemistry, whole-rock geochemistry and petrology of Eocene I-type shoshonitic plutons in the Gököy area (Ordu, NE Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, 121-152.
- Thirlwall, M.F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J.P. Arculus, R.J. 1994. High field strength element anomalies in arc lavas; source or process?. *Journal of Petrology*, 35, 3, 819-838.
- Thiéblemont D., Téguey M. 1994. Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calcio-alcalins. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 319, 87-94.
- Topuz, G. 2002. Retrograde P-T path of anatectic migmatites from the Pulur Massif, Eastern Pontides, NE Turkey: petrological and microtextural constraints. 1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering Abstracts, Istanbul, Turkey, 110 p.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeç, A., Barth, M., Satır, M., Şen, C. 2010. Carboniferous High-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92-110.
- Topuz, G., Çelik, Ö.F., Şengör, A.M.C., Altıntaş, İ. E., Zack, T., Rolland, Y. ve Barth, M. 2013. Jurassic Ophiolite Formation and emplacement as backstop to a subduction-accretion complex in Northeast Turkey, The Refahiye Ophiolite, and relation to the Balkan Ophiolites. *American Journal of Science*, 313, 1054-1087.
- Ustaömer, T. ve Robertson, A.H.F. 1995. Palaeo-Tethyan tectonic evolution of the north Tethyan margin in the Central Pontides, N. Turkey. In: *Geology of the Black Sea region* (eds). Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S., MTA/JMO, 24-32.
- Ustaömer, T. ve Robertson, A.H.F. 2010. Late Palaeozoic-Early Cenozoic tectonic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia. In Stephenson, R.A., Kaymakçı, N., Sasson, M., Starostenko, V., Bergerat, F. (eds). *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geological Society, London. Special Publications, 340, 281-327.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Ustaömer, P.A., Gerdes, A. ve Peytcheva, I. 2013. Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli-Artvin area), NE Turkey from U-Pb dating and granite geochemistry. in Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ünlügenç, U.C. (eds). *Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region*. Geological Society, London. Special Publications, 372, 49-74.
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D. 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 38, 10, 935-956.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C. ve Şengör, A.M.C. 1997. Geology and tectonics of the Pontides. in Robinson, A.G. (eds.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 183-226.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E. ve Ruffet, G. 2017. Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: Geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). *Gondwana Research*, 45, 65-86.

# İnsansız Hava Araçlarının Ormanlık Alanlardaki Karayolu Projelerinde Kullanımı

## *Use of Unmanned Aerial Vehicles in Highway Projects in Forest Areas*

Yağmur FİDANCI\*<sup>1,a</sup>, Hakan KARABÖRK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Kahta, 02400, Adıyaman

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya

• Geliş tarihi / Received: 08.01.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.03.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 12.03.2019

### Öz

İnsansız hava araçlarının (İHA) kullanımı, geliştirilen yazılım ve donanım bileşenleri ile günümüzdeki mühendislik uygulamalarında oldukça yaygınlaşmıştır. Farklı yükseklik ve hızlarda uçuş imkânı sağlayan İHA'ların, yüksek çözünürlüklü ve farklı türdeki kameraların kullanımına imkân vermesi ile bazı fotogrametrik sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Bu gelişmelerle birlikte, İHA tekniğiyle yüksek doğrulukla sayısal arazi modeli (SAM) üretmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışma, ormanlık alanlarda insansız hava aracı görüntülerinden üretilen verilerin karayolu projelerinde kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda yersel yöntem ve İHA ile üretilen veriler hacim miktarları ve yükseklik bilgileri yönünden kıyaslanmıştır. Çalışma alanı olarak ağaçlık yapıda, yaklaşık 800 metre uzunluğunda, 300 metre genişliğinde bir karayolu koridoru seçilmiştir. İnsansız hava aracı ile farklı yükseklikte ve bindirme oranlarında dört adet uçuş gerçekleştirilerek görüntüler elde edilmiştir. Yer kontrol noktaları ve arazi detay noktalarının konumları GNSS cihazı kullanılarak klasik RTK yöntemi ile belirlenmiştir. Görüntüler Pix4D ve Agisoft PhotoScan Professional yazılımlarında farklı sayıda yer kontrol noktası (YKN) ile işlenmiş ve SAM üretilmiştir. Yer kontrol noktalarının yer işaretleme sonuçları ve hata miktarları, yersel ve İHA yöntemiyle üretilmiş detay noktalarının konumları ve hesaplanan toprak işi miktarları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda İHA ve yersel yöntemle hesaplanan toprak işi miktarındaki farklar maksimum %3.5 ve minimum %0.6, noktaların yükseklikleri arasındaki farklar 12.9 cm ile 15.9 cm olarak elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İnsansız Hava Aracı, Karayolu Projesi, Sayısal Yükseklik Modeli, Toprak İş Hacim Hesabı

### Abstract

Today, using unmanned aerial vehicles (UAVs) has become pretty widespread in engineering applications with software and hardware components that have been developed. Some photogrammetric problems have been eliminated due to the use of high resolution and different camera types by the UAVs that provide flight at different heights and speeds. With these developments, it is possible to produce SAM with high accuracy with UAV technique. This study has been carried out to investigate the usability of unmanned aerial vehicles in highway projects in forested areas. In this direction, the data obtained by the ground method and UAV have been compared in terms of volume quantities and elevation information. As a working area, a wooded highway corridor of about 800 meters in length and 300 meters in width has been chosen. Images have been taken by performing 4 flights at different heights and different overlay rates with unmanned aerial vehicle. The coordinates of ground control points and terrain detail points have been determined by the classical RTK method using the GNSS device. The images have been processed with a different number of ground control points (GCP) in the Pix4D and Agisoft PhotoScan software and the digital terrain models (DTM) have been produced. Location marking results and error amounts of ground control points, calculated soil work and the location of ground points produced by ground measurement technique and UAV method have been compared. As a result, the difference in the amount of soil work has been maximum 3.5% and the minimum has been 0.6%, and the differences between the heights of the points have been 12.9 cm and 15.9 cm.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle, Highway Project, Digital Terrain Model, Volume Account

\*a Yağmur FİDANCI, yates@adiyaman.edu.tr, Tel:(0416) 725 8150-51 dâhili: (1197); orcid.org/0000-0001-8701-1463

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-7387-7004

## 1. Giriş

İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımı; veri toplama ve değerlendirme bileşenlerinin teknolojik gelişmeler doğrultusunda maliyetlerin azalması ve kullanılabilirliğinin artışı dolayısıyla sivil anlamda da yaygınlaşmıştır. İnsansız hava araçları kullanılarak, ormancılık alanında (Menteşoğlu ve İnan, 2016; Akgül vd., 2016), otomatik ağaç tespitinde (Gürbüz ve Türker, 2017), arkeolojik dokümantasyonda (Avdan vd., 2014), heyelan karakterizasyonu modellenmesinde (Carvajal vd., 2011), sayısal yüzey ve arazi modeli doğruluğunun araştırılmasında (Haarbrink ve Eisenbeiss, 2008; Uysal ve Toprak, 2015), ortofoto haritaların doğruluk analizinde (Yılmaz vd., 2013) vb. birçok alanda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sayısal arazi modeli (SAM-DTM), zeminin sürekli yüzeyinin, rastgele bir koordinat alanında bilinen X, Y, Z koordinatlarına sahip çok sayıda seçilmiş nokta ile istatistiksel bir temsildir (Miller ve Laflamme, 1958). Sayısal arazi modeli, yükseklik kavramı yanında diğer coğrafi unsurları ve nehirler, sırt çizgileri, kırılma çizgileri vb. doğal özellikleri de modele dahil etmeye çalışır (Li, 1990). Ulaşım sistemlerinde, projelendirme ve uygulama aşamalarında, güzergâh tespiti, hacim ve maliyet hesapları gibi uygulamalarda Sayısal Arazi Modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle SAM doğruluğu oluşturulmasında kullanılan yöntem ve teknikler karayolu projelerinde önem taşımaktadır.

Ulaşım sistemlerinde ön proje, kesin proje ve etüt aşamalarında, hacim hesabı işlerinde kullanılmak üzere harita üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Klasik yöntemlerle gerçekleştirilen haritalama işlemi işgücü ve zaman açısından oldukça maliyetlidir. Ayrıca doğal zemin üzerinde istenen sıklıkta veri elde etmek, zorlu ve tehlikeli arazi koşullarında erişim sağlamak her zaman mümkün olmamaktadır. Ancak geliştirilen fotogrametrik teknikler, insansız hava araçları ve algılayıcı teknolojileri ile veri toplama, işleme ve değerlendirme klasik yöntemlere kıyasla daha az işgücü gerektirirken maliyet ve zamandan tasarruf sağlamak mümkündür.

Ulaşım projelerinde insansız hava aracı kullanımına ilişkin oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte yersel teknikle üretilmiş verilerin İHA verilerine kıyası, hacim miktarı karşılaştırması (Tercan, 2017), kullanılan yer kontrol noktası sayısının hacim hesabına etkisinin araştırılması (Erdoğan, 2016) şeklinde

gerçekleştirilmiştir. Bir başka uygulamada karayolu çalışma alanında toprak yığınlarına ait hacimler incelenmiştir (Siebert ve Teizer, 2014).

Bu çalışmada, ormanlık arazi yapısına sahip alanlarda insansız hava aracı (İHA) verilerinin doğruluğunu ve karayolu projesi uygulamalarında kullanılabilirliğini incelemek amaçlanmıştır. Literatürde insansız hava aracı görüntülerinden üretilmiş verilerin doğruluğu, yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatası ya da hacim doğruluğu açısından irdelenmiştir. Bu çalışmada ise İHA ve yersel yöntemle üretilen hacim miktarları karşılaştırılırken üretilen nokta sayısının hacim doğruluğuna etkisi, yükseklik farkları, farklı uçuş yüksekliği ve bindirme oranlarının konum doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Elde edilmiş insansız hava aracı görüntüleri ile yüksek doğrulukta 3 Boyutlu (3B) nokta bulutu üretilmiştir. Çalışma alanının ormanlık yapıda olması nedeniyle Agisoft PhotoScan yazılımında maksimum açı, maksimum mesafe ve hücre boyutu gibi sınıflandırma parametreleri belirlenerek nokta bulutu sınıflandırılmış, sayısal arazi modeli üretilmiş ve toprak işi miktarları yüksek doğrulukla hesaplanmıştır. Çalışma; ormanlık arazi yapısına sahip alanlardaki karayolu projelerinde İHA kullanımı için önemli bir altlık oluşturacaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Uygulama Alanı

Bu çalışmada Bolu-Seben İl Yolu arasında, yaklaşık 300 metre genişliğinde ve 800 metre uzunluğunda bir koridoru kapsayan kısım uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Bölge, ağaçlık ve dağlık yapıda olması göz önünde bulundurularak seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanı

## 2.2. İnsansız Hava Aracı

Çalışmada Sayısal Arazi Modeli ve ortofoto üretimi için kullanılacak İHA (İnsansız Hava Aracı) görüntüleri DJI Phantom 4 Pro cihazı ile elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. DJI Phantom 4 Pro insansız hava aracı

DJI Phantom 4 Pro cihazı pil ve pervaneler dahil 1388 gr ağırlığında olup, 6000 metre irtifaya kadar çıkabilme ve maksimum 30 dakikaya kadar uçuş kapasitesine sahiptir. Uydu konumlama sistemi olarak GPS/GLONASS mevcuttur. Kamera olarak cihaza sabitlenmiş 20 MP, f/2,8-f/11 açıklığa sahip diyafram, 8-1/2000 sn. mekanik deklanşör ve 8-1/8000 elektronik deklanşör hızına sahip, 1 inç CMOS algılayıcıya sahiptir.

## 2.3. Yer Kontrol Noktalarının Ölçümleri

İnsansız hava aracı görüntülerinin dengelenmesinde kullanılacak 21 adet yer kontrol noktası belirlenmiştir. Yer kontrol noktaları, çalışma alanı içerisinde homojen olarak dağılmış ve arazinin kritik noktaları da gözetilerek zemin ile zıt renkte işaretlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Yer kontrol noktaları

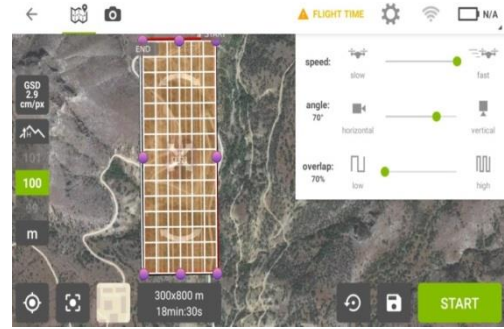
Yer kontrol noktalarının konumları Javad marka Triumph-1 model GNSS cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4). Ölçme işlemi Klasik RTK (Real Time Kinematic) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup cihaz yatayda 1cm+1 ppm, düşeyde 1.5+1 ppm RTK doğruluğuna sahiptir.



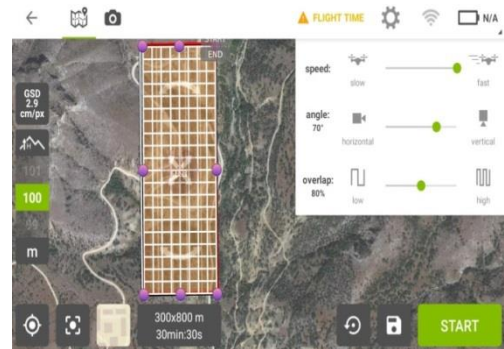
Şekil 4. Javad Triumph-1 GNSS cihazı

Bu çalışmada yersel ölçülerden ve İHA görüntülerinden faydalanılmıştır. Yersel ölçüm işlemleri GNSS cihazı ile Klasik RTK yöntemi kullanılarak yapılmış ve arazinin topografik yüzeyi 1907 nokta ile temsil edilmiştir. RTK yöntemiyle gerçekleştirilen ölçümler doğru kabul edilip karşılaştırmalar bu değerlere göre gerçekleştirilmiştir.

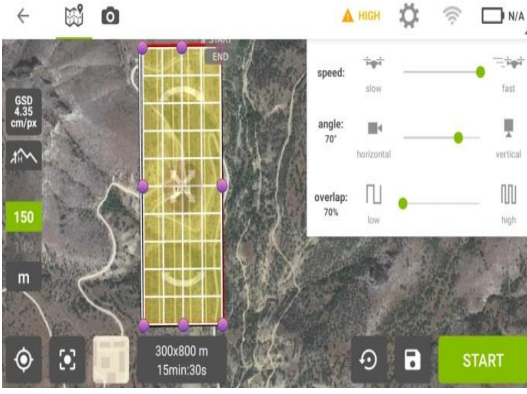
İnsansız hava aracı ile farklı yükseklik ve bindirme oranında görüntüler alınmıştır. Görüntülerden üretilen veriler ile yersel yöntemle üretilen veriler karşılaştırılarak, uçuş yüksekliği ve bindirme oranının doğruluğuna etkisini araştırılmıştır. Uçuş işlemi için Pix4DCapture yazılımı kullanılarak uçuş yüksekliği, bindirme oranları, uçuş hızı ve görüntüleme alanının tanımlandığı dört ayrı uçuş planı hazırlanmıştır (Şekil 5,6,7,8).



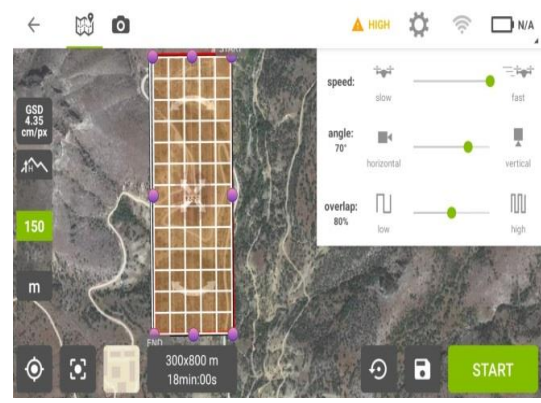
Şekil 5. 100 m yükseklikte enine ve boyuna %70 bindirme oranı ile uçuş planı



Şekil 6. 100 m yükseklikte enine ve boyuna %80 bindirme oranı ile uçuş planı



**Şekil 7.** 150 m yükseklikte enine ve boyuna %70 bindirme oranı ile uçuş planı



**Şekil 8.** 150 m yükseklikte enine ve boyuna %80 bindirme oranı ile uçuş planı

Uçuşlar sırasıyla; 100 metre yükseklikte %70 enine ve boyuna bindirme oranı ile, 100 metre yükseklikte %80 enine ve boyuna bindirme oranı ile, 150 metre yükseklikte %70 enine ve boyuna

bindirme oranı ile, 150 metre yükseklikte %80 enine ve boyuna bindirme oranı ile planlanmış olup uçuş bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Uçuş bilgileri

Uçuş Bilgileri	Uçuş Süresi	Fotoğraf Sayısı	Kolon Sayısı	Alınan Yol
100 m yükseklikte %70 bindirme oranı ile	18 d 30 sn	347	7	6311 m
100 m yükseklikte %80 bindirme oranı ile	30 d 30 sn	435	9	7730 m
150 m yükseklikte %70 bindirme oranı ile	15 d 30 sn	167	5	4715 m
150 m yükseklikte %80 bindirme oranı ile	18 d 00 sn	296	6	5516 m

İnsansız hava aracı ile elde edilen görüntüler Pix4D ve Agisoft PhotoScan Professional yazılımları ile değerlendirilmiştir. İlk olarak her iki yazılımda da 11 adet yer kontrol noktası (YKN) görüntülerde işaretlenmiş ve dengelemede kullanılmıştır. 10 adet nokta ise üretilen 3B model üzerinde yatay ve düşey doğruluğu kontrol amaçlı

olarak kullanılmıştır. İkinci değerlendirme işlemi ise 21 adet yer kontrol noktası (YKN) görüntülerde işaretlenerek blok dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir dengeleme işleminde görüntülerde işaretlenen yer kontrol noktalarına ait hata miktarları Tablo 2 ve 3’te verilmiştir.

**Tablo 2.** Pix4D yazılımında yer kontrol noktalarının (YKN) dengeleme sonuçları

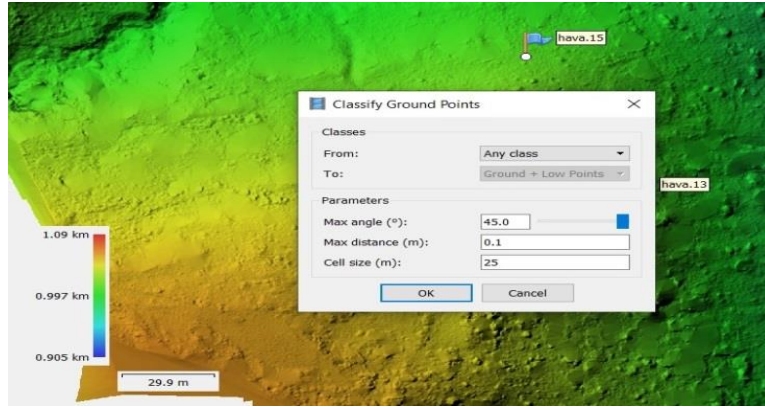
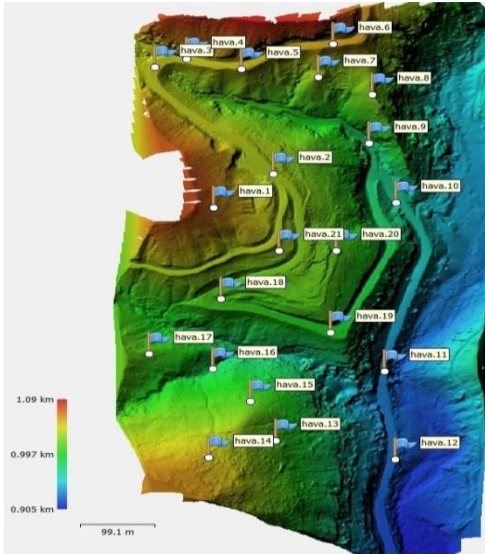
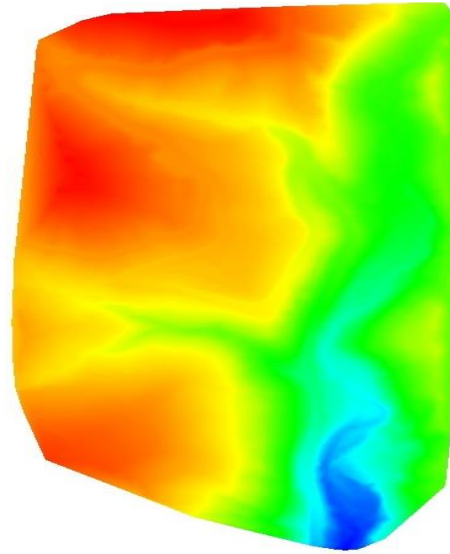
Kullanılan YKN Sayısı	Uçuş Yüksekliği	Bindirme Oranı	KOH X (cm)	KOH Y (cm)	KOH Z (cm)	YÖA (cm/piksel) Ortomozaik	3B Nokta sayısı
11	100 m	%70	1.1	2.1	1.8	2.85/1.12	48078047
	100 m	%80	1.2	2.4	1.3	2.80/1.10	56041783
	150 m	%70	1.4	2.7	4.9	4.20/1.65	24802531
	150 m	%80	1.3	3.1	2.5	4.21/1.66	34655454
21	100 m	%70	1.2	2.3	4.0	2.85/1.12	48378284
	100 m	%80	1.6	3.0	3.2	2.80/1.10	55780927
	150 m	%70	1.8	3.1	5.9	4.20/1.66	24821809
	150 m	%80	1.9	3.7	5.3	4.22/1.66	33378114

**Tablo 3.** Agisoft PhotoScan yazılımında yer kontrol noktalarının (YKN) dengeleme sonuçları

Kullanılan YKN Sayısı	Uçuş Yüksekliği	Bindirme Oranı	YKN Sayısı	KOH X (cm)	KOH Y(cm)	KOH Z(cm)	YÖA (cm/piksel) Ortomozaik	3B Nokta Sayısı	SAM Çözünürlüğü
11	100 m	%70	11	0.9	1.6	0.4	2.82	48435041	11.3
	100 m	%80	11	1.0	1.8	0.6	2.75	50750077	11.0
	150 m	%70	11	0.9	1.7	1.0	4.13	27320510	16.5
	150 m	%80	11	0.9	2.1	1.1	4.13	29781013	16.5
21	100 m	%70	21	1.2	1.7	2.1	2.82	48417447	11.3
	100 m	%80	21	1.2	1.6	2.7	2.75	50756077	11.0
	150 m	%70	21	1.6	1.9	2.8	4.13	27514899	16.5
	150 m	%80	21	1.7	2.6	4.0	4.13	29780367	16.5

Agisoft PhotoScan ve Pix4D yazılımları ile dengeleme işlemi ardından yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımında üretilen nokta bulutunda sınıflandırma parametreleri belirlenmiş ve Şekil 9'da

gösterilmiştir. Yoğun nokta bulutu kullanılarak üçgen model, sayısal arazi modeli (Şekil 10, 11), sayısal yüzey modeli ve ortofoto harita üretilmiştir.

**Şekil 9.** Agisoft PhotoScan sınıflandırma parametreleri**Şekil 10.** Agisoft PhotoScan yazılımında sayısal arazi modeli**Şekil 11.** Pix4D yazılımında sayısal arazi modeli

Zeminde işaretli 10 adet yer kontrol noktasının konumları 3B model üzerinden işaretlenerek

yersel yöntemle üretilen değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Agisoft PhotoScan yazılımı 3B modeli üzerinden alınan 10 adet yer kontrol noktasının (YKN) karşılaştırma sonuçları

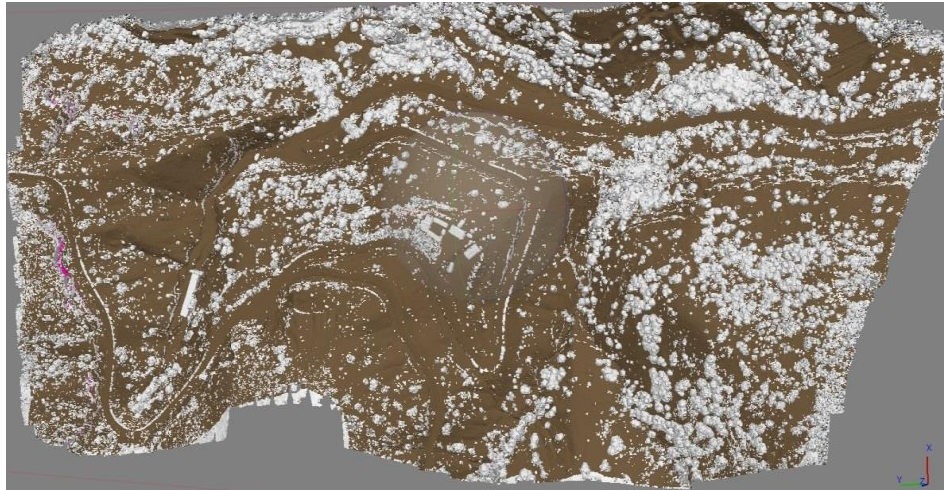
N.NO	PhotoScan 100 m Yükseklik %70 Bindirme oranı			PhotoScan 100 m Yükseklik %80 Bindirme oranı		
	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)
Hava.2	-5.00	2.00	-2.10	-3.30	-0.30	-1.70
Hava.3	2.70	1.80	2.20	0.80	2.50	2.20
Hava.5	8.70	2.50	1.20	5.80	4.30	1.90
Hava.7	-0.80	0.80	-6.70	2.90	-0.90	-5.90
Hava.9	2.10	0.80	1.70	1.70	1.40	0.60
Hava.11	2.50	-4.90	-7.10	3.50	-4.70	-6.30
Hava.15	-0.20	2.90	-7.00	3.40	-1.60	-3.40
Hava.17	-1.00	-3.20	-7.20	-2.00	-0.60	-15.40
Hava.19	1.10	5.70	-3.20	-2.90	2.90	-3.90
Hava.21	3.50	0.70	-14.50	1.10	4.10	-10.70
KOH(cm)	3.66	3.01	6.56	3.06	2.79	6.82
N.NO	PhotoScan 150 m Yükseklik %70 Bindirme oranı			PhotoScan 150 m Yükseklik %80 Bindirme oranı		
	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)
Hava.2	-5.50	0.70	-7.80	-3.90	-0.30	-5.00
Hava.3	2.40	5.00	-2.90	4.50	-0.80	-9.10
Hava.5	7.70	8.70	-0.30	7.30	6.50	-0.90
Hava.7	-2.50	1.80	-14.50	-0.60	3.00	-3.30
Hava.9	5.40	1.00	-2.70	2.00	-1.40	-14.80
Hava.11	-8.20	1.80	-12.60	-7.20	5.00	-12.00
Hava.15	1.00	-1.10	-9.10	4.20	-2.10	-12.00
Hava.17	-3.20	-0.20	-18.80	0.60	-2.50	-11.60
Hava.19	-1.70	0.40	-5.80	2.20	-2.40	-7.00
Hava.21	-0.60	4.70	-9.40	2.10	-1.50	-11.90
KOH(cm)	4.61	3.64	10.02	4.15	3.12	9.76

**Tablo 5.** Pix4D yazılımı 3B modeli üzerinden alınan 10 adet yer kontrol noktasının (YKN) karşılaştırma sonuçları

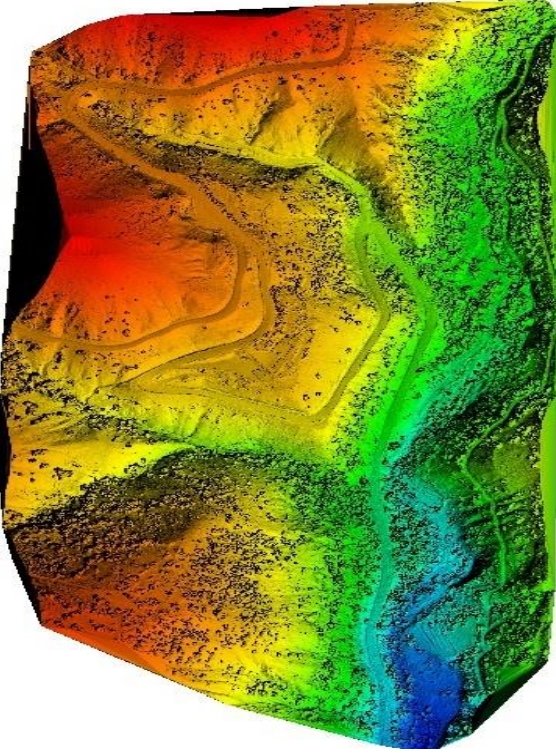
N.NO	Pix4D 100 m Yükseklik %70 Bindirme oranı			Pix4D 100 m Yükseklik %80 Bindirme oranı		
	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)
Hava.2	-2.60	1.70	-3.30	-1.60	1.70	-1.30
Hava.3	-0.40	3.80	-2.80	1.60	2.80	-0.80
Hava.5	6.40	8.30	3.70	6.40	8.30	4.70
Hava.7	-2.80	2.10	-5.70	0.20	0.10	-2.70
Hava.9	-0.80	4.90	6.10	-0.80	1.90	0.10
Hava.11	-1.50	-0.40	-3.20	-1.50	-2.40	-1.20
Hava.15	1.20	2.00	-5.70	-0.80	-1.00	-10.70
Hava.17	-1.90	-1.60	-4.30	-0.90	-0.60	-0.30
Hava.19	2.60	4.40	-1.60	-0.40	1.40	0.40
Hava.21	3.60	2.90	-6.20	0.60	4.90	0.80
KOH(cm)	2.89	3.86	4.52	2.26	3.41	3.85
N.NO	Pix4D 150 m Yükseklik %70 Bindirme oranı			Pix4D 150 m Yükseklik %80 Bindirme oranı		
	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>y</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>x</sub> (Farklar) (cm)	d <sub>H</sub> (Farklar) (cm)
Hava.2	-3.60	-0.30	-3.30	-3.60	-2.30	-1.30
Hava.3	6.60	2.80	-0.80	5.60	3.80	3.20
Hava.5	5.40	4.30	1.70	5.40	3.30	4.70
Hava.7	-2.80	2.10	-4.70	-0.80	4.10	-5.70
Hava.9	1.20	3.90	11.10	0.20	1.90	-0.90
Hava.11	-2.50	-3.40	1.80	0.50	0.60	-3.20
Hava.15	0.20	1.00	-10.70	-0.80	-2.00	-12.70
Hava.17	-0.90	-0.60	-15.30	-0.90	1.40	-7.30
Hava.19	-2.40	1.40	0.40	4.60	0.40	-3.60
Hava.21	-0.40	3.90	-7.20	-0.40	2.90	-2.20
KOH(cm)	3.29	2.76	7.51	3.12	2.57	5.57

İkinci değerlendirme işleminde iki yazılımda da her bir uçuş için 21 adet yer kontrol noktası ile dengeleme yapılmıştır. Nokta bulutu üretilmiş, sınıflandırma işlemi yapılmış (Şekil 12), üçgen

model, sayısal arazi modeli, sayısal yüzey modeli (Şekil 13) ve ortofoto-mozaik (Şekil 14,15) üretilmiştir.

**Şekil 12.** Agisoft PhotoScan sınıflandırılmış nokta bulutu görünümü





Şekil 13. Pix4D yazılımında sayısal yüzey modeli



Şekil 14. Pix4D yazılımında ortofoto örneği



Şekil 15. Ortofoto ve karayolu güzergahı

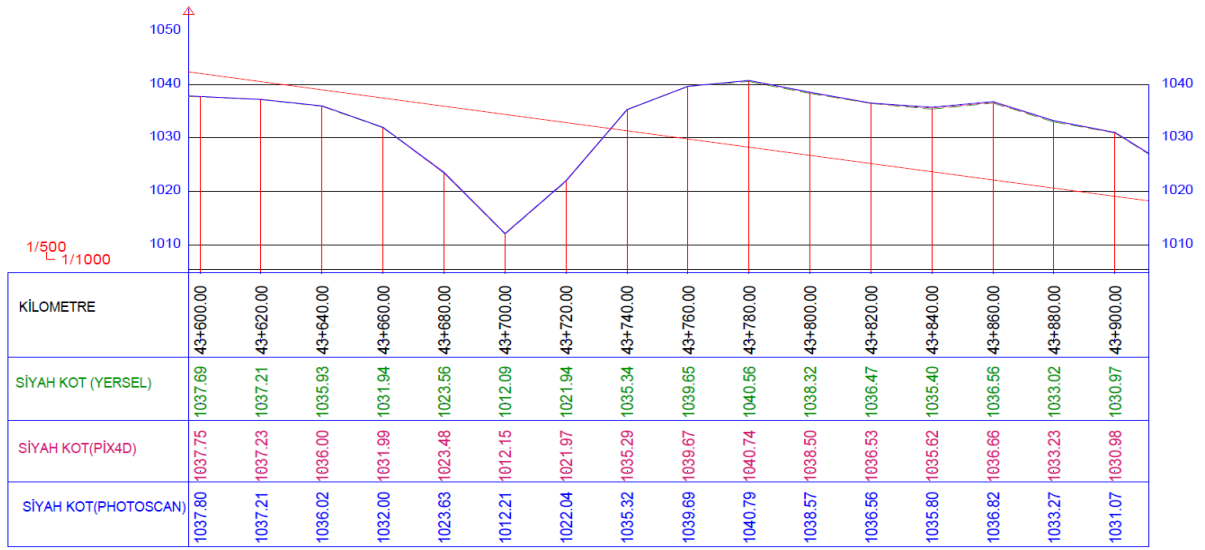
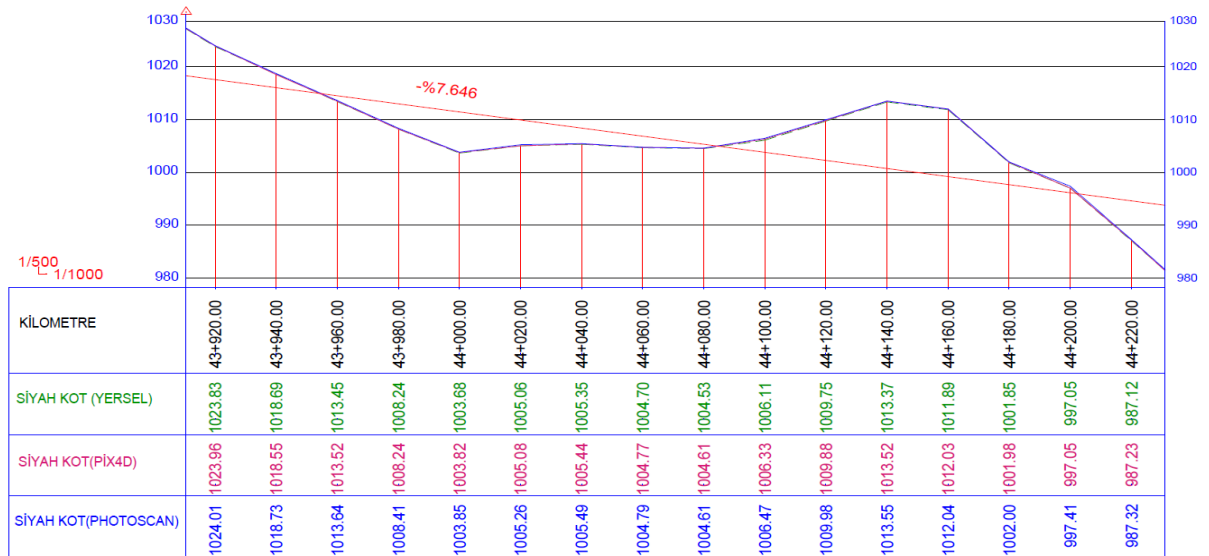
Yersel yöntemle elde edilmiş noktaların yükseklikleri, Pix4D yazılımında 21 adet YKN

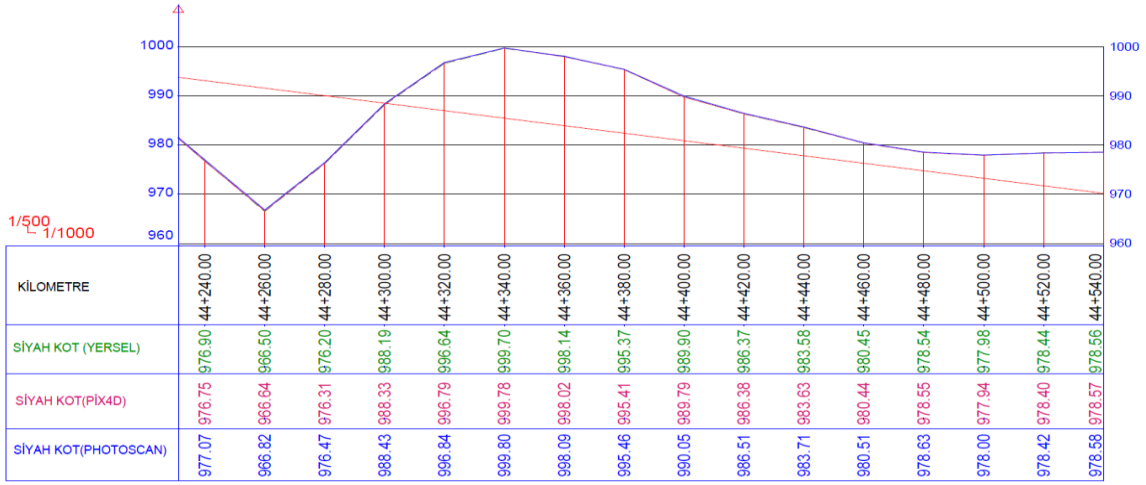
kullanılarak üretilen sayısal arazi modellerinin tümünde yataydaki konumuna karşılık gelen 1907 noktanın yüksekliği ile karşılaştırılmıştır. 1907 noktaya ait yükseklik verileri Autocad Civil 3D yazılımı kullanarak, farklı değerlendirmeler sonucunda üretilmiş sayısal arazi modellerinden üretilmiştir. Ek olarak Agisoft PhotoScan yazılımı ile 100 m yükseklikten enine ve boyuna %80 bindirme oranı ile elde edilen görüntülere ait sayısal arazi modeli verileri de kıyaslanmıştır. 10 adet YKN ile gerçekleştirilen değerlendirmeden yola çıkarak yatayda kabul edilebilir sonuçlar vermesi nedeniyle karşılaştırma yalnızca yükseklik verileri üzerinden yapılmıştır. Pix4D yazılımı önceki değerlendirmelerde daha doğru sonuçlar verdiği için bu yazılım verileri kullanılmıştır. 1907 noktaya ait yükseklik farklarının karesel ortalama hatası Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'da verilen değerler incelendiğinde en iyi sonuç 100 metre yükseklikten %80 bindirme oranıyla alınan görüntülere ait verilerden elde edilmiştir. Yersel yöntemle ve İHA yöntemi ile üretilen noktalara ait sayısal arazi modeli ile karayolu projesi karşılaştırılarak profiller oluşturulmuş ve Şekil 16- Şekil 18 arasında gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Yersel ölçüm ve İHA görüntülerinden üretilen noktalara ait yükseklik verilerinin karşılaştırılması

	Pix4D 100 m Yükseklik %70 Bindirme	Pix4D 100 m Yükseklik %80 Bindirme	Pix4D 150 m Yükseklik %70 Bindirme	Pix4D 150 m Yükseklik %80 Bindirme	PhotoScan 100 m Yükseklik %80 Bindirme
<b>KOH(cm)</b>	13.0	2.9	14.2	14.5	15.9

**Şekil 16.** 43+600.00-43+900.00 Km arası profil**Şekil 17.** 43+920.00-44+220.00 Km arası profil



Şekil 18. 44+240.00-44+540.00 Km arası profil

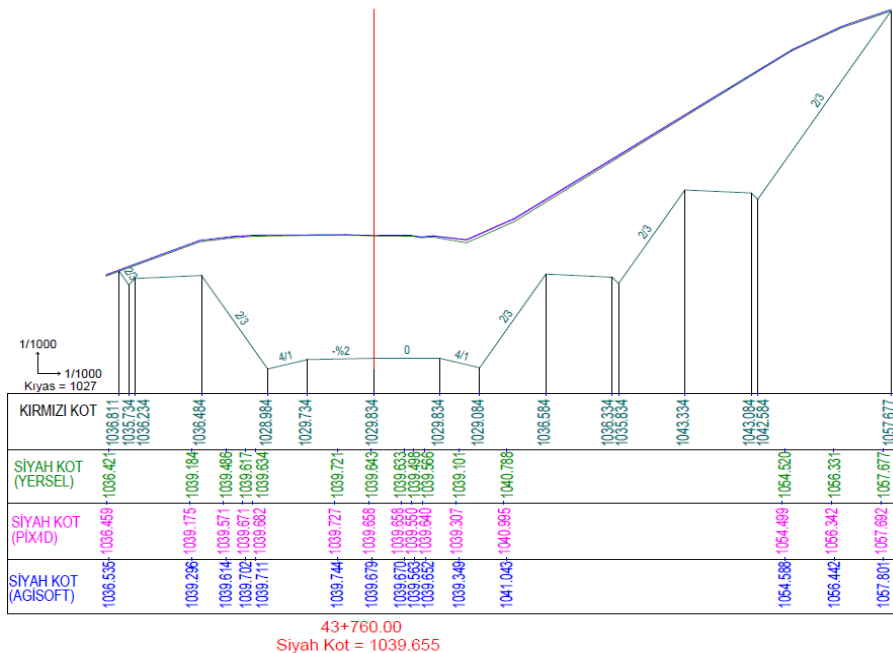
Çalışma alanına ilişkin yarma ve dolgu hacimleri, İHA verileri ve yersel yöntemle elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmış ve kıyaslanmıştır. Ayrıca İHA verilerinden üretilen sayısal arazi modellerinde, 1907 adet yersel noktaya karşılık gelen noktalar seçilerek yeniden sayısal arazi modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere göre toprak işi miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca İHA görüntülerinden Pix4D yazılımıyla üretilen sayısal

arazi modelinin tamamı kullanılarak toprak işi miktarları hesaplanmıştır. Toplamda dört farklı değerlendirme yapılmış olup toprak işi miktarları karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir.

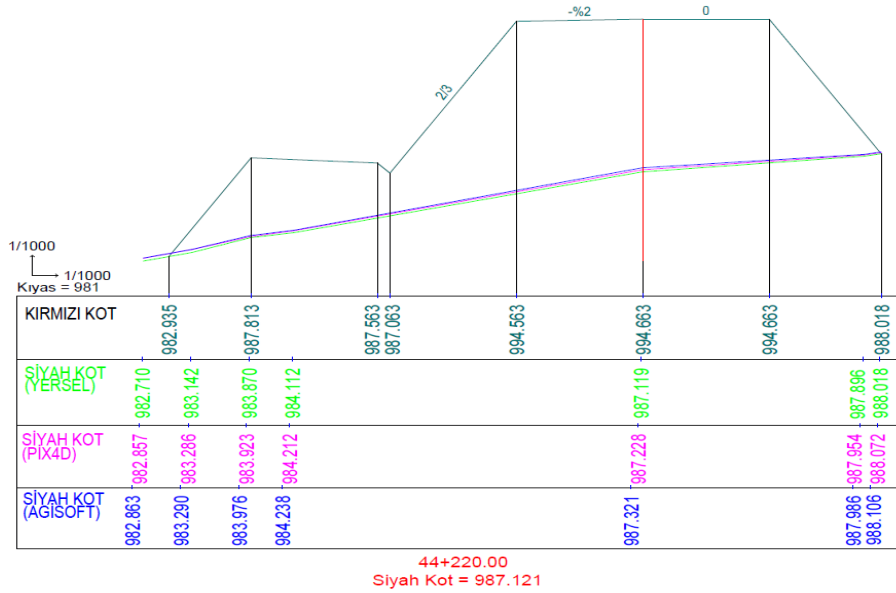
Proje alanında yersel ve İHA yöntemiyle üretilmiş arazi modeli ile proje eksenine dik düşey düzleminin arakesitini gösterir enkesit örnekleri Şekil 19 ve 20'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Toprak İşleri miktarları karşılaştırması

	Yersel Yöntem	SAM Pix4D (1907 nokta)	SAM PhotoScan (1907 nokta)	SAM Pix4D (Tüm SAM)
Yarma Hacmi (m <sup>3</sup> )	226518.366	227817.895	229977.964	233747.908
Dolgu Hacmi (m <sup>3</sup> )	91793.012	91051.575	90513.809	88587.932
Farklar(Yersel-Yarma)	-	1299.529	3459.598	7229.542
Farklar(Yersel-Dolgu)	-	-741.437	-1279.203	-3205.08
Farklar Yüzdesi (Yarma)	-	%0.6	%1.5	%3.2
Farklar Yüzdesi(Dolgu)	-	%0.8	%1.4	%3.5



Şekil 19. 43+760.00 Kilometre enkesiti ve siyah kot görünümü



Şekil 20. 44+220.00 Kilometre enkesiti ve siyah kot görünümü

### 3. Bulgular ve Sonuçların İrdelenmesi

İnsansız hava araçlarının ormanlık alanlarda karayolu projelerinde kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiş çalışmada elde edilen sonuçlar avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Çalışma alanında işaretli 10 adet noktanın konum kontrolü sonucunda elde edilen karesel ortalama hata (KOH) değerleri incelendiğinde alçak irtifada alınan görüntüleri ait hata miktarının nispeten daha az olduğu görülmüştür. Aynı yükseklikteki uçuşlar bindirme oranına göre incelendiğinde ise %80 bindirme oranında hata miktarının %70 bindirme oranına göre daha az olduğu görülmüştür. Agisoft PhotoScan ve Pix4D yazılımlarının kontrol sonuçları karşılaştırıldığında ise Pix4D ile elde edilen sonuçlarda farkın nispeten daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

Yersel yöntemle elde edilen detay noktalarının yükseklik bilgileri, Pix4D ile 21 YKN ile dengelenerek üretilmiş tüm sayısal arazi modelleri ve Agisoft PhotoScan ile değerlendirilmiş doğruluğu en yüksek model ile karşılaştırılmıştır. Burada 1907 noktaya ait yükseklik verileri Autocad Civil 3D yazılımı kullanılarak sayısal arazi modelinden üretilmiştir. 1907 noktanın yükseklik verileri karşılaştırıldığında en düşük karesel ortalama hata değeri 12.9 cm ile Pix4D yazılımında değerlendirilmiş 100 metre yükseklikten %80 bindirme oranı ile üretilmiş görüntüleri aittir (Tablo 6). Agisoft PhotoScan ile değerlendirilmiş aynı yükseklik ve bindirme oranına sahip görüntülerden elde edilen sonuç ise 15.9 cm ile en yüksek hatayı vermiştir. Agisoft

PhotoScan yazılımında 100 metre yükseklikten %80 bindirme oranında dengelenen görüntülerin yer örnekleme aralığı (YÖA) değeri 2.75 cm/piksel iken Pix4D ile 2.80 cm/piksel olarak elde edilmiştir. Ayrıca Pix4D ile üretilen nokta sayısı 55780927 iken Agisoft PhotoScan yazılımında 50756077 adettir. Buradan Pix4D ile arazinin daha detaylı temsil edildiği sonucuna ulaşmak mümkündür. Toprak işi miktarları karşılaştırılarak farkların yüzdeleri değerlendirildiğinde Pix4D yazılımı ile üretilen sayısal arazi modeli sonuçlarının yersel yöntemle daha yakın olduğu görülmüştür. Yersel olarak üretilen noktaların Pix4D'de üretilen nokta bulutundaki karşılığı olan 1907 nokta ile sayısal arazi modeli oluşturulmuş ve buna göre yarma hacminde %0.6, dolgu hacminde %0.8 oranında fark olduğu görülmüştür. Pix4D'de üretilen nokta bulutunun tamamı kullanılarak oluşturulan sayısal arazi modeline göre yarma hacminde %3.2, dolgu hacminde %3.5 oranında fark olduğu görülmüştür. Aynı yazılım kullanılarak iki farklı oran elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak da yersel yöntemle kıyasla arazi yapısının insansız hava aracı yöntemiyle daha detaylı tasvir edilmesi görülmektedir.

Sonuçlar benzer çalışmalarla kıyaslandığında; bir karayolu projesinde düz bir arazi yapısına sahip alanda gerçekleştirilmiş çalışmada kazı hacmindeki fark %0.998, dolgu hacmindeki fark %0.997 olarak bulunmuştur (Erdoğan, 2016). Dalgalı arazi yapısına sahip alanda gerçekleştirilmiş bir diğer çalışmada ise kazı hacmindeki fark %11.3, dolgu hacmindeki fark %1.1 olarak bulunmuştur (Tercan, 2017). Bir

başka uygulamada karayolu çalışma alanında 3 adet toprak yığınının ait hacimler incelenerek farklılıkların % 8-16 arasında olduğu görülmüştür (Siebert ve Teizer, 2014). Bu çalışma ise ormanlık ve dağlık yapıda bir alanda gerçekleştirilmiş olup yarma hacminde %3.2, dolgu hacminde %3.5 oranında fark olduğu görülmüştür. Bu çalışmada hacim miktarları karşılaştırmasında diğerlerinden farklı bir yöntem daha izlenmiştir. Yersel yöntemle üretilen 1907 noktanın yatay konumuna karşılık gelen yükseklik değerleri İHA görüntülerinden üretilen sayısal yükseklik modelinden alınmış ve kıyaslanmıştır. Ayrıca bu konum bilgileri ile yeni bir sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş ve hacim hesabı gerçekleştirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda insansız hava araçlarının yersel yöntemle veri üretimine alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Çalışma incelendiğinde İHA verileri ile elde edilen sonuçların yersel yöntemle benzer olduğu görülmektedir. Sonuçlar arasındaki farklar; yazılımlarda kullanılan algoritma ve yöntemlerden kaynaklı olabileceği gibi yer kontrol noktalarının işaretlenmesi, elle sınıflandırma işlemleri sırasında operatör kaynaklı da olabilmektedir. Toprak işi miktarlarının karşılaştırılmasında temel altlık sayısal arazi modelidir. Uygulamada kullanılan yazılımlar sayısal arazi modelini sınıflandırılmış nokta bulutunu kullanarak oluşturmaktadır. [Menteşoğlu ve İnan \(2016\)](#)'a göre; insansız hava araçları kullanılarak elde edilen nokta bulutu verisinin gerekli sınıflandırma çalışmalarından sonra üretilen sayısal yükseklik modeli (SYM); söz konusu alana ilişkin konum ve yükseklik bilgisini yüksek doğrulukta içermekte ve arazi üzerindeki orman, bitki örtüsü, binalar gibi tüm detayları tanımlamaya yeterli 3 boyutlu modellemeye olanak vermektedir. Ayrıca nokta bulutunun değerlendirilmesiyle sadece çıplak yer yüzeyini tanımlayan, eğim, bakı ve kabartma haritası gibi analizlere olanak veren Sayısal Arazi Modeli de (SAM) üretilebilmektedir. Buradan yola çıkarak nokta bulutunda bitki örtüsünün sınıflandırılmasının sayısal yükseklik modelinin doğruluğuna etki ettiğini söylemek mümkündür. Çalışma alanının ormanlık bir yapıya sahip olması nedeniyle sınıflandırma işlemi önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada Pix4D ve Agisoft PhotoScan yazılımlarında sınıflandırma işlemi otomatik olarak yapılmış olup ayrıca Agisoft PhotoScan yazılımında sınıflandırma parametreleri manuel olarak girilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımı otomatik sınıflandırmada kullanılan parametreler açısından kullanıcıya esneklik sağlamaktadır. Toprak işi miktarları karşılaştırıldığında Pix4D

yazılımı ile elde edilen sonuçların yersel yöntem ile daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte üretilen verinin doğruluğu, kullanılan İHA ve kamera türüne, değerlendirme yazılımına, kullanılan algoritma ve yöntemlere, iklim ve atmosferik koşullara, çalışma alanının yapısına ve değerlendiren operatörünün yeteneğine bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca İHA sistemlerinin uçuş süresinin sınırlı olması, hava koşullarından etkilenmesi, geniş uygulama alanlarında veri boyutunun fazla olması görüntü değerlendirme ve saklama problemi İHA kullanımında dezavantaj sağlamaktadır. Uygulamada elde edilen sonuçlar doğrultusunda İHA verisi kullanımının, arazi temsiliyetinin önem taşıdığı karayolu projelerinde yersel yöntemlere alternatif, ekonomik, hızlı ve güvenilir bir yöntem olabileceği ortaya çıkmaktadır.

#### Katkı Belirtme

Bu çalışma, Yağmur FİDANCI'nın yüksek lisans tezinden yapılmıştır.

#### 4. Kaynaklar

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S. ve Öztürk, T., 2016. İnsansız Hava Araçları İle Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi Ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66(1), 104-118.
- Avdan, U., Gülşen, F.F., Ergincan, F. ve , Çömert, R., 2014. Arkeolojik Alanlarda Taş Planlarının Çıkarılmasında İnsansız Hava Araçlarının Kullanılması (Anavarza Örneği). 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014, Hitit Üniversitesi, Çorum.
- Carvajal, F., Agüera, F. ve Pérez, M.,2011. Surveying A Land slide In A Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 2011
- Erdoğan, A., 2016. Şeritvari Haritaların İnsansız Hava Araçları İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya,48s.
- Gürbüz, M. F. ve Türker, M.,2017. Çok Yüksek Çözünürlüklü İHA Görüntülerinden Otomatik Ağaç Tespiti. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IX. Teknik Sempozyumu (TUFUAB2017),27-29 Nisan 2017, Afyonkarahisar.

- Haarbrink, R.B. ve Eisenbeiss, H., 2008. Accurate Dsm Production From Unmanned Helicopter Systems. The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B1. Beijing.
- Li, Z.L., 1990. Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling. PhDthesis, The University of Glasgow. Glasgow.
- Menteşoğlu, B. E. ve İnan, M., 2016. İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Ormancılık Uygulamalarında Kullanımı. 6. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Miller, C. ve Laflamme, R., 1958. The Digital Terrain Model-Theory And Applications. Photogrammetric Engineering, Volume 24, Pages 433-442.
- Siebert, S. Ve Teizer, J., 2014. Mobile 3D Mapping For Surveying Earthwork Using An Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Automation in Construction, Volume 41, May 2014, Pages 1-14.
- Tercan, E., 2017. Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi: Bucak-Kocaeliler Yolu Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (MAKÜ FEBED), cilt 8, sayı 2, sayfa 172-183.
- Uysal, M. ve Toprak, A.S., 2015. İnsansız Hava Araçları İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VIII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2015), 21-23 Mayıs 2015, Konya.
- Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karşlı, F. ve Gökalp, E., 2013. İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2013), 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.

## Yerel Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağlarının Farklı Nokta Yoğunluğundaki Performansı

### *Performance of Artificial Neural Networks on Different Point Density in Local Geoid Determination*

Yaşar FİDANCI\*<sup>a</sup>, Ramazan Alpay ABBAK<sup>b</sup>

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42075, Selçuklu, Konya

• Geliş tarihi / Received: 24.12.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 04.03.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 12.03.2019

#### Öz

Jeoit, fiziksel anlamı ortometrik yükseklikler için referans yüzeyidir. Bu nedenle jeoidin yüksek hassasiyette belirlenmesi yerbilimlerinde özellikle jeodezide hayati öneme sahiptir. Uygulamada jeoit belirleme için çoğunlukla GNSS (Global Navigation Satellite Systems-Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri) ve nivelman verilerini birlikte değerlendiren birçok matematiksel yüzey ve enterpolasyon teknikleri uygulayan geometrik yöntem kullanılır. Günümüzde hızla gelişen yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojileri, algoritması çok karışık problemlere insan beyni gibi davranarak çözümler üretmektedir. Bu çalışmada yapay zeka teknolojilerinden yapay sinir ağı incelenmiş, jeoit belirlemede kullanılabilirliği test edilmiştir. Bu amaçla yaklaşık 2765 km<sup>2</sup> lik yüzölçümüne sahip bir çalışma alanı seçilmiş ve bu alanda bulunan 326 GNSS-nivelman noktası aracılığı ile eğitim ve test verilerini değiştirerek 6 adet deney yapılmıştır. Bu noktalar çeşitli kombinasyonlar oluşturacak şekilde eğitim ve test seti olarak ayrılmıştır. Bu bağlamda yapay sinir ağı modelleri ve polinomal eğri yüzey modelleri oluşturulmuş ve karşılaştırma sonuçları üretilmiştir. Sayısal sonuçlar “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği” açısından bakıldığında homojen hem de homojen olmayan nokta dağılımında yapay sinir ağı modelinin polinomal yüzey modelinden daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Çok Katmanlı Algılayıcılar, Jeoit Belirleme, Polinomal Eğri Yüzey Uydurma, Yapay Sinir Ağları

#### Abstract

Geoid is a reference surface for physical orthometric heights. Thus precise geoid determination is essential important in geosciences especially in geodesy. For the geoid determination the geometrical method that evaluates GNSS (Global Navigation Satellite Systems) together with levelling data is mostly used in practice. In order to determine geoid surface, many mathematical surfaces and interpolation techniques are applied in this method. Today the rapidly developing artificial intelligence and machine learning technologies by behaving the human brain produce solutions to problems, which have very complex algorithms. In this study, the artificial neural network from artificial intelligence technologies was examined and also its usability was tested in the geoid determination. For this purpose, a study area that covers approximately 2765 km<sup>2</sup> was selected and some tests were carried out in this area by using 326 GNSS-levelling points. These points were divided into training and test datasets in order to create various combinations. In this context, some artificial neural network models and polynomial curve surface models were yielded and comparison results were produced. According to numerical results, it was observed that models of artificial neural networks produced better results than the polynomial curve surface models in the homogenous and non-homogeneous point distributions from viewpoint of “Rules of Large Scale Map and Map Data Production”.

**Keywords:** Multilayer sensors, Geoid Determination, Polynomial Curve Surface Fitting, Artificial Neural Networks

\*<sup>a</sup> Yaşar FİDANCI, yasar.fidanci@gmail.com, Tel: (542) 339 7372; orcid.org/0000-0001-7642-5257

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-6944-5329

## 1. Giriş

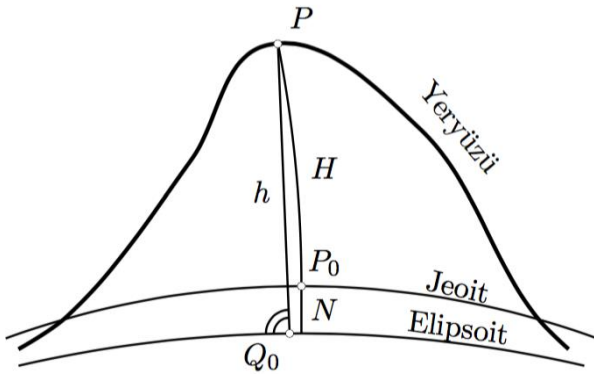
Fiziksel jeodezinin amacı gravite alanı ve onun eşpotansiyel yüzeylerinden biri olan jeoidin belirlenmesidir. Jeoit matematiksel olarak ifade edilemeyen belirli bir model veya algoritma ile kesin olarak açıklanamayan bir yüzey olarak tanımlanabilir. Yüksekliğin referans yüzeyi olduğu için jeoit jeodeziciler için hayati öneme sahiptir.

Yükseklik kavramını en yalın haliyle tanımlamak gerekirse bir noktanın başlangıç yüzeyiyle ilişkisi olarak anlaşılır. Bu ilişki yalnızca fiziksel, ya da geometrik olabileceği gibi hem fiziksel hem geometrik de olabilir. Ancak mühendislik uygulamalarından fiziksel yükseklik sistemleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni akışkanların hareket yönü doğrudan gravite alanı ile ilişkili olmasıdır. Başka bir deyişle altyapı ve mühendislik hizmetlerinin doğru bir şekilde gerçekleşebilmesi için gravite alanı ile ilişkili yükseklik sistemleri kullanılmalıdır (Abbak, 2017).

Gelişen teknolojilerle birlikte GNSS (Global Navigation Satellite Systems—Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri) ortaya çıkmış ve bu sistemlerle birlikte yüksek doğrulukta konum bilgileri elde edilmeye başlanmıştır. GNSS sistemlerinin sağladığı yükseklik bilgisi mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan türden bir fiziksel yükseklik olmayıp geometrik anlam içermektedir. Geometrik yükseklikten  $h$  fiziksel yüksekliğe  $H$  geçiş

$$H = h - N \quad (1)$$

eşitliği sağlanabilmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Ortometrik ve elipsoidal yükseklik arasındaki ilişki (Abbak, 2017)

Buradaki en önemli husus  $N$  jeoit yüksekliğinin (jeoidin) belirlenmesidir.

Yüksek doğruluklu jeoit belirleme çalışmaları halen günümüzde araştırma konularının başında gelmektedir. Jeoit yüzeyini modellemek için birçok yüzey ve enterpolasyon yöntemleri uygulanmış ve bu matematiksel yöntemlerle jeoit yüzeyi gerçeğe en yakın şekilde modellenmeye çalışılmıştır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar kısaca; polinomal, enterpolasyon, sonlu elemanlar, kollokasyon, bulanık çıkarımlar olarak sıralanabilir.

Bu yöntemlere ek olarak gelişen yapay zekâ teknolojisiyle makine öğrenmeleri yapılabildiği, makinelerin insanların beyin fonksiyonlarını taklit ederek olaylar arasında sebep sonuç ilişkisi kurabildiği görülmüştür. Dahası girdilerden yola çıkarak öngörü ve tahminler yapabilmektedir. Ayrıca değişen şartlar altında öğrenme devam etmekte ve yeni duruma kendilerini adapte edebilmektedir. Bu teknolojiye faydalanılarak yukarıda bahsettiğimiz gibi jeoit yüksekliğinin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi yerin fiziksel anlamı yüksekliklerinin bilinmesinde çok büyük önem arz etmektedir.

Literatürde birçok çalışmada makine öğrenmesi ve yapay zekâ teknolojileri kullanılarak jeoit belirleme üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar genel olarak yüzey uydurma ve enterpolasyon yöntemleri ile bu yöntemlere alternatif olabilecek yapay zekâ teknolojilerinin ürettiği modelin sonuçlarının karşılaştırılması niteliğindedir. Çorumluoğlu vd. (2005), yapay sinir ağları yardımı ile ortometrik yükseklikler elde edilmiş, test verilerinin standart sapmasının Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) sınırları içinde kaldığını göstermiştir. Bu çalışma jeoit belirlemede yapay sinir ağlarının etkin bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varmıştır. Arslan vd. (2007), yapay sinir ağları ile polinomal eğri yüzey uydurma yöntemlerini analiz etmiş ve yapay sinir ağlarının daha başarılı sonuç ürettiği sonucuna varılmış. Aşık (2013), yapay sinir ağları ile Kriging yöntemi kıyaslanmış yapay sinir ağının çok daha iyi sonuç ürettiğini göstermiştir. Çakır (2015) ise ileri beslemeli yapay sinir ağları, bulanık mantık çıkarımı, polinomal yüzey uydurma ve multikvadrik enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmış; yapay sinir ağları ve bulanık çıkartımın, polinomal ve multikvadrik yöntemden daha iyi sonuç verdiği sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada, Belçika'nın kuzeydoğu bölgesinde çalışma alanı seçilerek yapay zekâ teknolojisi makine öğrenmesi ile jeoit yükseklikleri tahmin



edilecek ve elde edilen sonuçlar polinomal yöntemle karşılaştırılarak irdelenecektir. Makine öğrenme teknolojilerinden ileri beslemeli hata geri yayımlı yapay sinir ağları ile polinomal eğri yüzey uydurma yöntemi ile karşılaştırılmış eğitim nokta verileri kademeli olarak azaltılarak modellerin nasıl etkilendiği irdelenmiş, ayrıca homojen ve homojen olmayan nokta dağılımında yöntemlerin ürettiği modellerin doğruluğu araştırılmıştır. Son olarak yapay sinir ağlarının gündelik kullanımına yönelik görüş ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Yöntem

### 2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yoluyla yeni bilgi türetme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfetme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2016). Daha genel bir tanım yapmak gerekirse insan beyninin öğrenmeyi sağlayan sinir hücrelerini model olarak örnek olayları ve sonuçlarını kullanarak öğrenebilen ve çevresel etkilere karşı üretilen tepkileri belirleyen bilgisayar sistemi olduğu söylenebilir.

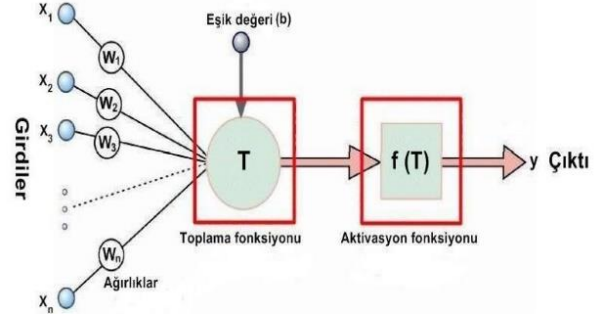
Yapay sinir ağlarının kullanım amacı herhangi matematiksel modelle tasvir edilemeyen bir problemi veya çok karmaşık algoritmalara sahip problemlerin çözümüdür. Dolayısı ile çevreden gelen etkileri okuyabilen bu etkilerle öğrenen ve bu etkilere tepki veren sistemlerdir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde; öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, optimizasyon görevlerini başarıyla yapmaktadır.

Teknik olarak da yapay sinir ağlarının en temel görevi, kendisine gösterilen örneklere karşılık gelebilecek bir sonuç belirlemektir. Bunu yapabilmesi için, yapay sinir ağının örnekler ile eğitilerek genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı setleri belirlenir (Öztemel, 2016).

Yapay sinir ağları ile nelerin yapılabileceği konusunda bir sınırlama yapmak çok zordur. Genel olarak örnek verilebilen tüm konular hakkında yapay sinir ağları kurulabilir. Çözüm aranan problemlerde yapay sinir ağları diğer çözüm yollarından daha avantajlı olduğu durumlarda tercih edilir. Yapay sinir ağları kullanırken iki maddeyi sağlaması önemlidir: sadece yapay sinir ağları ile konuya pratik çözüm

üretmek mümkün mü? Başka çözüm yolları olmasına rağmen yapay sinir ağları daha pratik ve etkin bir çözüm getirebiliyor mu?

Bir yapay sinir ağında bilgileri oluşturan, bilgileri üreten, bir bilgiden başka bir bilgiyi türeten ve bu bilgileri çevren alan, ürettiği veri çıktı olarak sonuç olarak çevreye veya diğer bir proses elemanına veren mekanizma olarak tanımlayabiliriz. Yapay sinir hücreleri mühendislikte *proses elemanları* olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Yapay sinir hücresinin yapısı (Kaftan, 2010)

Girdiler örneklerden gelen verilerdir. Bu bilgiler en temelinde dış dünyadan gelebileceği gibi başka bir proses elemanından da gelebilir. Ağırlıklar, yapay sinir hücresine giren bir bilginin önemini gösterir. Bir ağırlığın büyük veya küçük olması o verinin önemli veya önemsiz olduğunu göstermez. Ancak bir ağırlık değerinin sıfır olması ağ için çok önem arz edebilir. Verinin ağ için bir önem etkisinin olmadığını gösterir. Ağırlıkların pozitif veya negatif olması ise o ağa sonucu pozitif veya negatif yönde etkilediğini gösterir. Eşik değer, yapay sinir ağlarında ara katman veya çıktı katmanlarının çıktı değerlerinin sıfır olmasını önlemek için kullanılır. Toplama fonksiyonu olarak adlandırılan ifade bir yapay sinir ağı hücresine giren ağırlıklandırılmış net girdinin hesaplanması için kullanılan fonksiyonları ifade eder. Yapay sinir ağlarında en yaygın olarak kullanılan fonksiyon

$$NET = \sum_i^n G_i A_i \quad (2)$$

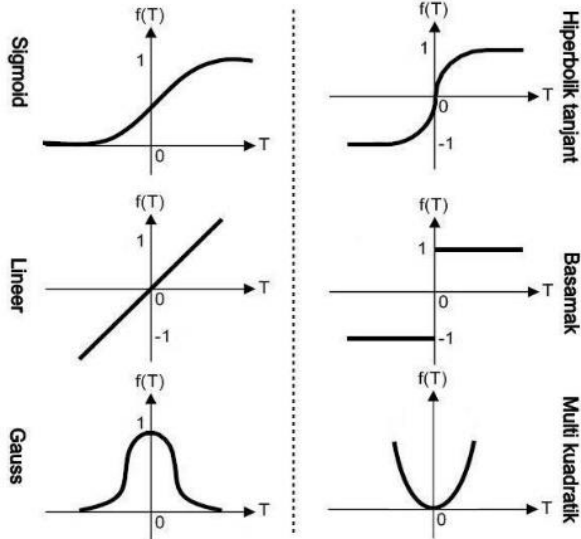
şeklinde ağırlıklı toplam fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu, temel hesaplama işlemi yapan ve sonucunda çıktının değerinin belirlendiği fonksiyonlardır. Aktivasyon fonksiyonunda da toplama fonksiyonu gibi temel bir formül yoktur. Yapay sinir ağlarının en yaygın olarak kullanılan modeli olan çok katmanlı algılayıcılarda

$$F(NE\text{T}) = \frac{1}{1+e^{-NE\text{T}}} \quad (3)$$

şeklinde sigmoid fonksiyon kullanılmaktadır. Buradaki NET proses elemanına giren NET girdi değeridir. Aktivasyon fonksiyonlarında da kullanımında belirli bir yöntem yoktur. Aktivasyon fonksiyonu belirlenirken yine tasarımcının kişisel öngörüsü ve deneme -yanılma yöntemi belirleyicidir. Bazı modellerde türevi alınabilir fonksiyonları şart koşmuştur. Yapay sinir ağlarında literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları Tablo 1'de verilmiştir (Graupe, 2007; Patan, 2008; Beale vd., 2010). Aynı aktivasyon fonksiyonlarının grafikleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Başlıca aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonunun adı	Fonksiyon
Sigmoid	$F(NE\text{T}) = \frac{1}{(1 + e^{-NE\text{T}})}$
Hiperbolik Tanjant	$F(NE\text{T}) = \frac{(e^{NE\text{T}} + e^{-NE\text{T}})}{(e^{NE\text{T}} - e^{-NE\text{T}})}$
Lineer	$F(NE\text{T}) = NE\text{T}$
Basamak	$F(NE\text{T}) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } NE\text{T} > \text{Eşik Değer} \\ 0 & \text{Eğer } NE\text{T} < \text{Eşik Değer} \end{cases}$
Gauss	$F(NE\text{T}) = e^{-\left[\frac{(NE\text{T}-C)^2}{\sigma^2}\right]}$
Multi Kuadratik	$F(NE\text{T}) = \frac{\sqrt{r^2 + (NE\text{T} - C)^2}}{r}$



**Şekil 3.** Aktivasyon fonksiyonlarının grafikleri (Yılmaz, 2012)

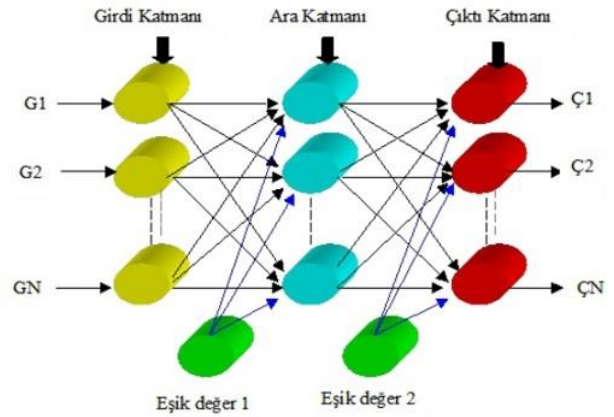
Çıktı, aktivasyon fonksiyonuna giren NET girdinin sonucudur. Çıktı dış dünyaya verilebile-

ceği gibi başka bir proses elemanına girdi değeri olarak da sunulabilir. Bir yapay sinir hücresi bir çıktı üretebilir ancak bu çıktı birçok proses elemanına girdi olarak sunulabilir.

Yapay sinir ağlarında proses elemanlarının şekilleri kullandıkları toplama ve aktivasyon fonksiyonlarına göre, öğrenme stratejileri ve kullanım alanlarına göre farklı modeller geliştirilmiştir aşağıda yer alan modeller en yaygın olanları sunulmuştur. Bunlar; algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, vektör kuantizasyon modelleri, kendi kendini organize eden modeller, adaptif rezonans teorisi modelleridir.

Bahsedilen ağlardan çok katmanlı algılayıcılar iyi bir tahmin edici olması nedeniyle geniş olarak açılarak incelenecektir. Çok katmanlı algılayıcılar haritacılık faaliyetlerden en çok tercih edilen modellerden biridir. Kestirim özelliği sebebi ile jeoit belirlemede bu modelle çözüm aranacaktır.

Çok katmanlı algılayıcıların yapısını Şekil 4'de gösterildiği gibidir. G1, G2, ..., GN gibi girdi değerleri girdi katmanlarına girer. Girdi katmanında her bir proses elemanının bir girdi ve bir çıktı değeri vardır. Girdi katmanına giren veri herhangi bir işlem uygulanmaksızın ara katman iletilmek üzere çıkar. Bu katmanda herhangi bir işlem yapılmaz.



**Şekil 4.** Çok katmanlı algılayıcıların yapısı (Öztemel, 2016)

Girdi katmanlarından gelen veriler bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile belirlenen hesaplama algoritması ile işlem görür. Belirlenen toplama fonksiyonu ile proses elemanına girer proses elemanın içinde yine belirlenen F(net) fonksiyonundan işlem görerek bir sonraki katmandaki proses elemanlarında işlem görmek

üzere çıkar. Ara katman yapısı tek veya birden çok katmandan oluşabilir. Bu katmanlardaki proses elemanlarının sayısı ve katman sayıları tamamen tasarımcının öngörüsüne bağlıdır. Bu topolojiyi belirlemek için bir kural yoktur. Genel olarak deneme-yanılma yolu ile ara katman sayısı ve bu katmanlardaki proses elemanı sayısı belirlenmektedir.

Ara katmanlarda işlenen veriler çıktı verisini üretmek üzere çıktı katmanına girer bu katman da veriler ara katmandaki prosedüre uygun olarak işlenerek dış dünyaya çıktı olarak verilmek üzere işlenir. Çıktı değerleri üretilir.

Eşik değer proses elemanları ise net verinin 0 (sıfır) olması durumuna karşı sonucunda sıfır çıkmasını önlemek amacı ile konmuş, tüm ara katmanlara ve çıktı katmanına değer gönderir. Proses eleman değeri daima 1 (bir) dir. Ancak ağırlık değeri değişir.

Çok katmanlı algılayıcılar öğretmenli öğrenme stratejisine göre çalışırlar. Yani ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi beklenen çıktılar gösterilir. Ağın görevi her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretmektir. Çok katmanlı algılayıcı ağının öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı Delta öğrenme kuralının genelleştirilmiş halidir. O nedenle öğrenme kuralı genelleştirilmiş Delta kuralı da denmektedir (Öztemel, 2016). İleri doğru hesaplama yapay sinir ağlarının öğrenmesini öğrenme algoritmalarını ele almak gerekirse öncelikle örnek değerleri girdi değerleri  $G_k$  girer bu girdi değerleri herhangi bir işleme tabi tutulmadan  $\zeta_k^i$  çıkar.

$$\zeta_k^i = G_k \quad (4)$$

Girdi katmanından çıkan veri ara katmanlara gönderilir. Girdi katmanı ile ara katman arasında bağlantılar da rasgele atanmış olan ağırlık değerleri bulunur. Bu ağırlık değerleri ile belirlediğimiz uygun toplama değerine göre işleme girecektir. Ara katman proses elemanın her biri için NET değerinin hesaplanması gerekir. NET değer hesaplanan değer belirlenen aktivasyon fonksiyonunda yerine konularak

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} \zeta_k^i \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Eşik değer proses elemanın çıktı değeri sabit olup daima "1" dir. Bu eleman aktivasyon fonksiyonunun oryantasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır.

Ara katmanda yapılan işlemlerin tamamı diğer ara katman elemanları için ve çıktı katmanı içinde yapılarak ağın çıktı üretmesi sağlanır. Burada bahsedilen hesaplamaların tümüne ileri doğru hesaplama denmektedir. Geri doğru hesaplama ileri olarak hesaplanan çıktı değeri ile örneğin sonucu arasındaki fark ağın o ağırlıktaki değeri için hatasını ifade etmektedir. Daha önceden de ifade edildiği gibi ağın öğrenmesini proses elemanları arasındaki bağlantılardaki ağırlık değerleri sayesinde gerçekleşmektedir. Geriye doğru hesaplamada da tam olarak uygun ağırlık değerleri aranmaktadır. Geriye doğru hesaplamada proses elemanları arasındaki ağırlık değerleri değiştirilmektedir. Geriye hesaplamada öncelikle beklenen çıktı  $B_m$  ile ağın çıktısı  $\zeta_m$  arasındaki farka bakılarak suretiyle hata değeri  $E_m$  bulunur. Bulunan hata değeri ağırlıklara dağıtılır.

$$E_m = B_m - \zeta_m \quad (6)$$

Bu ifade bir proses elemanı için çıktı değeridir. Eğer çıktı olarak birden çok değer varsa bu durumda toplam hatayı

$$TH = \sqrt{\sum_m E_m^2} \quad (7)$$

olarak hesaplamak gerekir. Hata değerleri görüldükten sonra yeni örneği göstermeden önce hatanın dağıtılması gerekmektedir. Bu işlemde iki durum söz konudur: ara katmanla çıktı katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi, ara katmanlar arası veya girdi katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıkların değiştirilmesidir. Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesinde ağırlıkların değişim miktarı,

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Bu bağıntıda  $\lambda$  öğrenme katsayısı,  $\alpha$  momentum katsayısıdır. Bu değerler başlangıçta tasarımcı tarafından verilen değerlerdir. Bağıntıda tek bilinmeyen değer  $\delta_m$  hata terimi

$$\delta_m = f'(NET) \cdot E_m \quad (9)$$

olarak hesaplanır. Burada yeni ağırlık değerleri ise,

$$A_{jm}^a(t) = A_{jm}^a(t-1) + \Delta A_{jm}^a(t) \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. Eşik değer ünitesi, ağırlıkların değişim miktarında ise (8) eşitliğine benzer şekilde değişmektedir. Eşik değer ünitesinin çıktı

değeri daima “1” olmasından dolayı formül yeniden düzenlenirse,

$$\Delta\beta_m^c(t) = \lambda\delta_m + \alpha\Delta\beta_m^c(t-1) \quad (11)$$

yeni ağırlık değerleri ise

$$\beta_m^c(t) = \beta_m^c(t-1) + \Delta\beta_m^c(t) \quad (12)$$

şeklindedir. Ara katmanlar arası veya girdi katmanı ile ara katman arası ağırlıkların değiştirilmesinde ise ileriye doğru hesaplamaya benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Proses elemanları arasındaki ağırlıkların değişimi,

$$\Delta A_{kj}^i(t) = \lambda\delta_j^a\zeta_k^i + \alpha\Delta A_{kj}^i(t-1) \quad (13)$$

olarak elde edilir. Buradaki bilinmeyen tek değer olan hata terimi hesabı,

$$\delta_j^a = f'(NET) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (14)$$

yeni ağırlık değerleri ise,

$$A_{kj}^i(t) = A_{kj}^i(t-1) + \Delta A_{kj}^i(t) \quad (15)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eşik değer ünitesi, ağırlıkların değişim miktarında ise (13)'e benzer şekilde değişmektedir. Eşik değer ünitesinin çıktı değeri daima 1 olmasından dolayı formül yeniden düzenlenirse,

$$\Delta\beta_j^a(t) = \lambda\delta_j^a + \alpha\Delta\beta_j^a(t-1) \quad (16)$$

yeni ağırlık değerleri ise

$$\beta_j^a(t) = \beta_j^a(t-1) + \Delta\beta_j^a(t) \quad (17)$$

elde edilir. Belirtilen algoritmalar ile iterasyonlar yapılır ve her seferde ağırlıklar değiştirilerek ağırlık öğrenmesi sağlanır ağ tüm örnekleri belirtilen hata toleranslarında öğrenene kadar işlem devam ettirilir. Çok katmanlı algılayıcıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar: problemin net anlaşılması, örneklerin problemi temsil edebilecek şekilde seçilmesi, girdilerin gösterim şekli, parametre seçimi ve ilk değerlerin atanması, ağırlık topolojisi, örneklerin ağa sunulma şekli, öğrenme ve durdurma kriterleri şeklinde sıralanır.

## 2.2. Polinomlarla Eğri Yüzey Uydurma

Polinomlarla yüzey uydurma yerel jeoit belirleme en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. BÖHNBÜY'ün 42. maddesine göre yerel jeoit oluşturmada bu yönteme göre

gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde yüzey bir fonksiyon ile modellenmeye çalışılmaktadır. Koordinatları bilinen dayanak noktalarının oluşturduğu jeoit yüzeyi sırasıyla  $n$ . dereceden ortogonal olmayan polinomlar kullanılarak,

$$N(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (18)$$

ifade edilebilir (İnal vd., 2003; Abbak, 2017).

Ancak burada kaçınıcı derece dereceden polinom kullanılmalıdır sorusu akla gelir. Bu amaçla, dayanak nokta sayısı göz önünde bulundurularak 1., 2. ve 3. derece polinomlar denenir. Bunlardan karesel ortalama hatası küçük olan çözüm için uygun görülür (Abbak, 2017). Yönetmeliğe göre karesel ortalama hata 5 cm üstünde çıkması halinde çözüm aranmaz bunun yerine uyuşumsuz ölçüler testi uygulanarak hatalı ölçü araştırması yapılır. Eğer varsa bu değer atılarak tekrar deneme yapılır. Ortalama hata 5 cm'nin altında ise  $t$  (student) dağılımına göre parametrelere anlamlılık testi uygulanır. Anlamlı parametrelerle yüzey modeli oluşturulur.

Noktaların yatay konumları 6 ve 7 basamaklı olduğundan en küçük kareler çözümünde katsayılar matrisinin elemanları çok büyük sayılardan oluşmakta ve normal denklem matrisinin kondisyonunu bozmaktadır. Bu durumda yatay koordinat değerlerini ölçeklendirmek üzere,

$$x'_i = \frac{x_i - x_0}{1000} \quad y'_i = \frac{y_i - y_0}{1000} \quad (19)$$

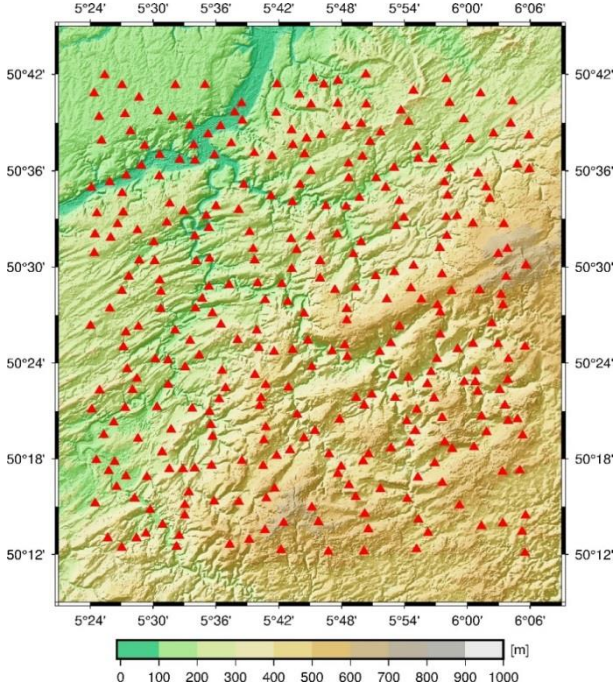
eşitliği kullanılır. Ölçeklendirme sonrasında elde edilen koordinatlar ile en küçük kareler yöntemine göre çözüm sağlanarak model oluşturulur. Test noktaları üretilen fonksiyonda hesaplanarak üretilen sonuçla olması gereken gerçek değer arasındaki farka bakılarak test noktaları için karesel ortalama hata hesaplanır. Modelin test verileri için ürettiği sonuç modelin başarısını (doğruluğunu) gösterir.

## 3. Sayısal Uygulama

### 3.1. Çalışma Alanı

Belçika'nın kuzey doğusunda yaklaşık olarak  $50.2^\circ < \varphi < 50.7^\circ$ ;  $5.4^\circ < \lambda < 6.1^\circ$  coğrafi sınırlar arasında kalan engebeli bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bölge yaklaşık 50 km x 56 km boyutlarında olup yüzölçümü 2765 km<sup>2</sup> dir. Çalışma alanında yükseklik değerleri 150 m ile

550 m arasında değişmektedir. Söz konusu bölge, jeoit ve topografya değişiminin fazla olması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 5). Araştırma konusu farklı yoğunluktaki verilerin jeoit modeline etkisi olduğundan sık ve yüksek doğruluklu veriler ancak bu bölgeden temin edilebilmiştir.



Şekil 5. Çalışma bölgesi ve uygulama noktaları

### 3.2. Veriler

Çalışma bölgesine ait GNSS-nivelman nokta verileri Belçika Ulusal Coğrafya Enstitüsünden elde edilmiştir. Çalışma bölgesinde 326 adet GNSS-nivelman noktası bulunmaktadır. Veriler; noktaların projeksiyon koordinatları ( $x$  ve  $y$ ), elipsoidal yüksekliği ( $h$ ) ve ortometrik yükseklik ( $H$ ) değerlerinden oluşmaktadır. Elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin doğruluğu 1 cm olduğundan noktaların jeoit yüksekliğinin doğruluğu 1-2 cm seviyesindedir (Verbeurgt, 2018). Verilere göre çalışma alanında jeoit yüksekliği değişimi 1,764 m olarak hesaplanmıştır. Veriler, çalışmada eğitim ve test verileri olarak ayrıştırılarak jeoit modeli belirlenecektir.

### 3.3. Araştırma

Bu çalışmanın amacı ileri beslemeli hata geri yayımlı yapay sinir ağlarının jeoit yüksekliğini tahminindeki performansını araştırmaktır. Bu amaçla, çalışma bölgesindeki veriler belirli kombinasyonlarla test ve eğitim seti olarak

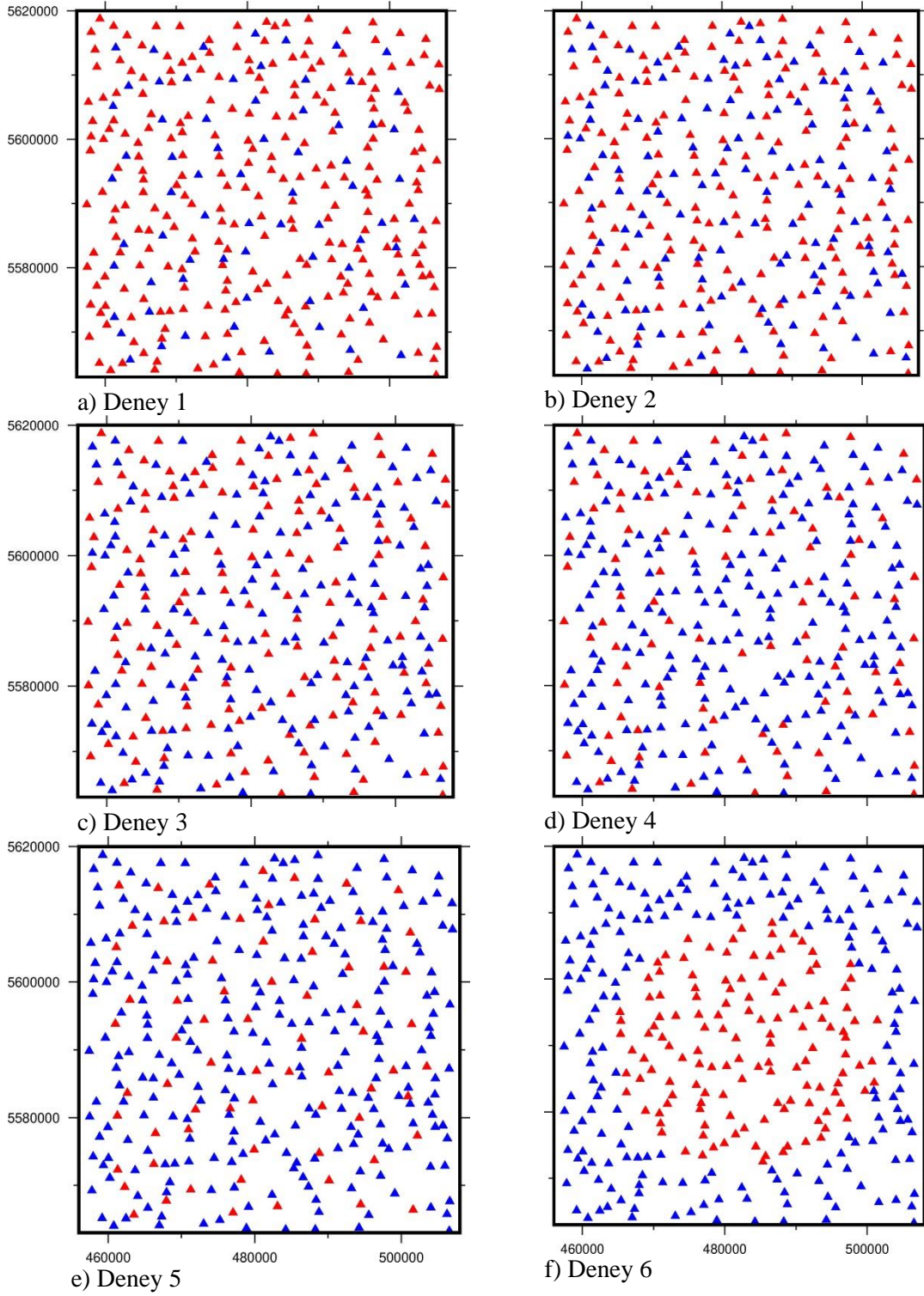
ayrıştırılarak yapay sinir ağlarının ürettiği sonuçlar, yönetmelikte bahsedilen polinomal yöntem ile karşılaştırılacak ve sonuçlar irdelenecektir (Tablo 2).

İlk deneyde tüm verilerin yaklaşık %22'si test verisi olacak şekilde 256 adet eğitim ve 70 adet test verisi olarak seçildi (Şekil 6a). Eğitim verileri çalışma alanının tamamını kapsayacak şekilde homojen dağılmış olmasına dikkat edildi. İkinci deneyde yine homojen dağılmış şekilde 200 adet eğitim 126 adet test verisi seçildi (Şekil 6b). Bu dağılımın seçilme nedeni yönetmeliğin 42. maddesi gereğince en az sayıda eğitim verisinde üretilerek sonuçların görülmesi amaçlanmıştır. Üçüncü, dördüncü ve beşinci deneyde yine homojen dağılmış olmak şartıyla eğitim verilerinin kademeli olarak azaltılması, modellerin başarısına olan etkisini görmek amacı ile seçildi (Şekil 6c, 6d, 6e). Altıncı deneyde ise verilerin homojen dağılmamış durumda yöntemlerin ne doğrulukta sonuçlar ürettiğini görmek amaçlanmıştır. Çalışma alanının ortasındaki 133 nokta eğitim verisi olarak seçilmiş bu noktaların dışındaki 193 adet nokta test verisi olarak kullanılmıştır (Şekil 6f).

Yapay sinir ağ modelini ve polinomal eğri yüzey modelini oluşturmak için MATLAB 2016 programlama dili kullanılmıştır. Polinomal eğri yüzey modelini oluşturmak için MATLAB'ın program geliştirme ortamında hazır bir fonksiyon kullanılmaksızın bir yazılım geliştirilmiştir. Diğer yandan ileri beslemeli hata geri yayımlı yapay sinir ağı için MATLAB'ın yapay sinir ağları modülünde (Neural Network Toolbox) hazır fonksiyonlar(network) kullanılarak programlanmıştır.

Polinomal eğri yüzey oluştururken öncelikle çalışma alanının en iyi uyan polinomun derecesi araştırıldı. Optimum çözümün 4. dereceden polinom olduğu görüldü. Parametre testi ile anlamsız parametreler atılarak jeoit modeli oluşturuldu.

Yapay sinir ağlarında model oluşturmada belirli bir kural yoktur. Ara katman sayıları, ara katmanlardaki proses elemanı sayısı, öğrenme algoritması, toplama fonksiyonu, iterasyon sayısı gibi değişkenler deneme-yanılma yoluyla belirlenebilmektedir. Bu nedenle verilerin çözümünde çok sayıda deneme yapılarak hata değeri en aza indirgenir. Bu denemelerde en az 1 en çok 10 adet ara katman sayısı belirlenmiştir. Ara katmanlardaki nöron sayısı olarak en az 10 en çok 700 olarak denemeler yapılmıştır.



Şekil 6. Deneylerdeki noktaların coğrafi dağılımı (kırmızı: eğitim, mavi: test verilerini göstermektedir)

Tablo 2. Deneylerdeki eğitim ve test verilerinin sayısı

Deney No	Eğitim Veri Sayısı	Test Veri Sayısı	Nokta Dağılımı
1	256	70	Homojen
2	200	126	Homojen
3	150	176	Homojen
4	100	226	Homojen
5	70	256	Homojen
6	133	193	Homojen değil

Bu amaçla ağın en iyi öğrenme modeli olarak 2 ara katmanda ve ara katman proses elemanı sayıları 20 ve 30 olarak bulunmuştur. Oluşturulan eğitim setleri programlara girdi olarak verilerek öncelikle uygun model araştırması yapılmış ve optimum modele eğitim verileri için karesel

ortalama hatası hesaplanmıştır. Aynı modellere test verileri de sunularak bu noktalar için sonuç üretmesi istenmiştir. Üretilen ile gerçek sonuçlar irdelenerek en iyi ve en kötü tahmin değerleri ile test setinin karesel ortalama hatası hesaplanmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Yapay sinir ağları ve polinomal modellerin karşılaştırması (cm)

Deney No	Eğitim seti adedi	Test seti adedi	Yapay sinir ağları				Polinomal eğri uydurma			
			KOH <sub>Eğitim</sub>	KOH <sub>Test</sub>	Test seti maksimum hata	Test seti minimum hata	KOH <sub>Eğitim</sub>	KOH <sub>Test</sub>	Test seti maksimum hata	Test seti minimum hata
1	256	70	0.53	0.92	2.57	0.02	2.24	2.07	6.38	0.09
2	200	126	0.68	0.99	3.36	0.01	2.23	2.20	6.47	0.01
3	150	176	0.65	1.00	3.25	0.01	2.11	2.32	5.80	1.25
4	100	226	0.82	1.12	3.40	0.00	2.29	2.26	7.26	0.00
5	70	256	0.90	1.55	5.53	0.01	2.01	2.69	11.86	0.02
6	133	193	0.53	5.99	23.08	0.04	1.52	30.13	169.70	0.02

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada yapay sinir ağları ve polinomal eğri yüzey uydurma teori ve kavramları açıklanmış, yerel jeoit belirleme konusunda çözümler araştırılmıştır. Sayısal uygulamada 2765 km<sup>2</sup> lik bir alan seçilmiş, bu alanda farklı nokta sayıları ile jeoit modellenmiş ve modellerin doğrulukları araştırılmıştır.

Deney 1’de sonuçlardan anlaşıldığı üzere her iki yöntem de yüksek doğruluklu modeller üretmiştir. Ancak yöntemler birbirlerine göre kıyaslanırsa yapay sinir ağı daha iyi sonuç ürettiği görülmüştür.

Deney 2’de yönetmelik dikkate alınarak eğitim verileri minimumda tutulmuş, yöntemlerin modelleri iyi sonuçlar vermiş ve yönetmelik hata sınırları içinde kalmıştır. Bu deneyde de yapay sinir ağı modeli polinomal yöneme oranla daha iyi sonuç üretmiştir.

Deney 3, deney 4 ve deney 5’de eğitim noktaları kademeli olarak azaltılması modellerin yüzeyleri tasvir gücünde azalma yaşandığı göstermiştir. Sonuçlar yönetmelik sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Ancak sonuçların bu denli istikrarlı kalması ve ani değişimlerin yaşanmamasının temel nedeni eğitimde kullanılan nokta verilerinin yüksek doğruluklu olması ve noktaların homojen olarak dağılmış olmasıdır. Yöntemlerin kıyaslanmasında ise yapay sinir ağlarının yine çok iyi sonuçlar vermiştir.

Deney 6’da ise eğitim nokta verilerinin homojen dağılmaması durumunda yöntemlerin üreteceği sonuçlar araştırılmıştır. Polinomal yöntem ve yapay sinir ağlarında örnekleme noktalarının problemin tamamını tasvir eder nitelikte olması gerekmektedir. Bu deneyde polinomal yöntemin modelleyemediği ve model yapısının bir anda bozulduğu belirlenmiştir. Diğer yandan yapay sinir ağlarında da model yapısının bozulduğu görülmüştür. Ancak polinomal yöneme oranla daha iyi sonuçlar üretmiş ve model alanı dışındaki noktalarda dahi güvenilir bir sonuç elde etmiştir.

Tüm deneylerin sonuçlarından yola çıkarak yapılan denemeler sonucunda ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağlarının jeoit belirlemede polinomal yöneme oranla çok daha iyi sonuçlar ürettiği anlaşılmıştır.

Yapay sinir ağları ürettiği bu sonuçlar günümüzde popüler bir teknoloji olmasının sebebini kanıtlar niteliktedir. Bunlara rağmen uygulamada da görüldüğü üzere çoğu parametre deneme-yanılma yöntemi ve kişisel deneyimlerle elde edilmektedir. Bunu gündelik hayatta kullanmak için kişinin yapay sinir ağı konusunda uzman olması gerekmektedir. Bu problemi aşabilmek için günümüz teknolojisi ile deneme-yanılma yöntemlerini kendisi otonom olarak gerçekleştirerek kendi kendine öğrenebilen ve optimum çözümü üretebilecek yazılımlar ile son kullanıcının hizmetine sunulabilir. Ayrıca yapay sinir ağların öğrenmesi sırasında oluşan ağır işlem yükü ve öğrenme sürelerinin uzunluğu sebebi ile

sonuçların üretilmesi donanıma bağımlı hale getirmektedir. Hızlı ve anlık çözülmesi gereken problemlerde yapay sinir ağlarının diğer yöntemlere oranla yetersiz kalacağı bir diğer zayıflık olarak değerlendirilmektedir. Ancak sınırlı sayıdaki verilerde dahi ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağlarının ne denli doğru sonuç ürettiği görülmektedir. Belirtilen öneriler ışığında gerekli yazılımlar üretilebilirse jeodezik projelerde yapay sinir ağları bir seçenek olarak kullanılabilir.

## Kaynaklar

- Abbak, R. A., (2017) Fiziksel Jeodezi Teori ve Uygulama, Atlas Akademi Yayıncılık, Konya.
- Arslan, O., Kurt, O., Konak, H., (2007) Yapay Sinir Ağlarının Jeodezide Uygulamaları Üzerine Öneriler, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan 2007, Ankara.
- Aşık, E., (2013) Lokal Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağları ve Kriging Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Beale, M. H., Hagan, M. T. Demuth, H. B., (2010) Neural Network Toolbox 7 User's Guide. The MathWorks Inc., Natick, MA.
- Çakır, L., (2015) Sayısal Yükseklik Modelinde Klasik Ve Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart 2015, Ankara.
- Çorumluoğlu, Ö., Özbay, Y., Kalaycı, İ., Şanlıoğlu, İ., (2005) GPS Yüksekliklerinden Ortometrik yüksekliklerin elde edilmesinde Yapay Sinir Ağı (YSA) Tekniğinin kullanımı, 2. Mühendislik Ölçmeleri sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İstanbul.
- Graupe, D., (2007) Principles of Artifical Neural Networks, World Scientific Publishing, Singapore.
- İnal, C., Turgut, B. ve Yiğit, C., Ö., (2003) Lokal Alanlarda Jeoit Ondüasyonunun Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde 30. Yıl Sempozyumu, Ekim, Konya, Bildiriler Kitabı, 97-106.
- Kaftan, İ., (2010) Batı Türkiye Gravite ve Deprem Katalog Verilerinin Yapay Sinir Ağları ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öztemel, E., 2016, Yapay Sinir Ağları, Papatya Bilim Üniversite Yayıncılığı, İstanbul.
- Patan, K., 2008, Artificial Neural Networks for the Modelling and Fault Diagnosis of Technical Processes, Springer, London-New York.
- Verbeurgt, J. (2018) Kişisel görüşme, Belçika Coğrafya Enstitüsü, Brüksel.
- Yılmaz, M., (2012) Jeodezik Nokta Hız Kestiriminde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar



## Comparative Analysis of Exact Solutions for the Phi-four Equation

### *Phi-four Denklemninin Tam Çözümlerinin Karşılaştırmalı Analizi*

Şamil AKÇAĞIL\*

Pazaryeri Vocational School, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 07.01.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.03.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 20.03.2019

#### Abstract

The Phi-4 equation plays an important role in mathematical physics and it is particular form of the Klein-Gordon equation that models the phenomenon in particle physics. This significant equation has been studied by many researchers and many solutions to this equation have been obtained by using different methods. In this study, the solutions obtained by three important methods have been focused on: The modified simple equation method, the ansatz method and He's variational method. Reconsidering the phi-4 equation, the same solutions and new trigonometric, hyperbolic and elliptic function solutions have been obtained by using the sn-ns method. The similarities and differences of the obtained solutions have been compared with each other. In addition to its easy applicability, the sn-ns method was shown to be highly effective and reliable method.

**Keywords:** Ansatz method, He's variational method, Modified simple equation method, Phi-four equation, Sn-ns method

#### Öz

Matematiksel fizikte önemli bir rol oynayan Phi-4 denklemi, bu olguyu parçacık fiziğinde modelleyen Klein-Gordon denkleminin özel bir halidir. Bu önemli denklem birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve bu denklemin birçok çözümü farklı yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, üç önemli yöntemle elde edilen çözümlere odaklanıldı: Modifiye edilmiş basit denklem yöntemi, ansatz yöntemi ve He'nin varyasyonel yöntemi. Phi-dört denklemi yeniden göz önüne alınarak, daha önce elde edilmiş çözümlerin yanında yeni trigonometrik, hiperbolik ve eliptik fonksiyon çözümleri sn-ns yöntemi kullanılarak elde edildi. Elde edilen çözümlerin benzerlikleri ve farklılıkları birbirleriyle karşılaştırıldı. Kolay uygulanabilirliğinin yanında, sn-ns metodun oldukça etkin ve güvenilir bir yöntem olduğu gösterildi.

**Anahtar kelimeler:** Ansatz metodu, He'nin varyasyonel metodu, Modifiye edilmiş basit denklem metodu, Phi-four denklemi, Sn-ns metodu

\* Şamil AKÇAĞIL; samilakcagil@hotmail.com; Tel: (0228) 214 16 54; orcid.org/0000-0002-8510-9683

**1. Introduction**

One of the well-known Phi-4 equations is given by

$$u_{tt} - \alpha u_{xx} - \lambda u + \beta u^3 = 0, \tag{1}$$

where  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\lambda$  are real constants. Its name being due to the expression

$$K = \frac{1}{2}(\phi_t^2 + \phi_x^2) - \frac{1}{2}\phi^2 + \frac{1}{4}\phi^4 \tag{2}$$

of the corresponding Hamiltonian density. This equation has been the subject of intensive investigation in the context of classical and quantised field theory and it has been mainly investigated as the simplest non trivial relativistic invariant field theoretical model (Calogero and Degasperis, 1982). Several forms of the phi-four equation have been studied extensively by many researchers and obtained different solutions. In this study, we have focused on the solutions obtained by three important methods: The modified simple equation method, the ansatz method and He's variational method.

Akter and Akbar have considered the Phi-4 equation in the form

$$u_{tt} - u_{xx} + a^2u + bu^3 = 0, \tag{3}$$

where  $a$  and  $b$  are real valued constants (Akter and Akbar, 2015). By applying the modified simple equation method and using the wave variable  $\tau = x + ct$ , they have found the following solutions:

$$u_1(x, t) = \pm \sqrt{-\frac{a^2}{b}} \tanh\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2}{c^2-1}}a(x + ct)\right), \tag{4}$$

$$u_2(x, t) = \pm \sqrt{-\frac{a^2}{b}} \coth\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2}{c^2-1}}a(x + ct)\right). \tag{5}$$

In Cao et al. (2014), the authors have obtained the topological 1-soliton solution or kink solution of the equation

$$u_{tt} - k^2u_{xx} - au - bu^3 = 0, \tag{6}$$

by the ansatz method where parameters  $k$ ,  $a$  and  $b$  are all real-valued constants. In order to obtain soliton solution of (6), they have taken the ansatz

$$u(x, t) = A \tanh^p \tau \tag{7}$$

where

$$\tau = B(x + ct) \tag{8}$$

Here in (7) and (8), the parameters  $A$  and  $B$  are known as free parameters of the soliton or the kink and  $c$  is the velocity of the soliton. Thus, they have given the 1-soliton solution to the equation (6) as follows:

$$u(x, t) = \sqrt{-\frac{a}{b}} \tanh\left(\sqrt{-\frac{a}{2(c^2-k^2)}}(x + ct)\right). \tag{9}$$

Najafi, by means of the He's variational method, has obtained solitary solutions of the following phi-four equation:

$$u_{tt} - \alpha u_{xx} - u + u^3 = 0, \tag{10}$$

where  $\alpha$  is an arbitrary constant (Najafi, 2012). The author has used the ansatz

$$u(x, t) = A \operatorname{sech}(x + ct) \tag{11}$$

in variational formulation and consequently, obtained the following solitary solutions:

$$u_1(x, t) = \frac{\sqrt{6+2(c^2-\alpha)}}{2} \operatorname{sech}(x + ct), \tag{12}$$

$$u_2(x, t) = -\frac{\sqrt{6+2(c^2-\alpha)}}{2} \operatorname{sech}(x + ct), \tag{13}$$

where  $c$  and  $\alpha$  are arbitrary constants.

The projective Riccati equations can be used to obtain powerful methods that allow us to solve many nonlinear ordinary and partial differential equations in closed form. The sn-ns method is one of the methods mentioned and it provides elliptic function solutions as well as trigonometric, complex and hyperbolic solutions.

Motivated by the above valuable works, we will study a generalized form of the phi-four equation given by

$$u_{tt} - \alpha u_{xx} - \lambda u + \beta u^3 = 0, \tag{14}$$

where  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\lambda$  are real constants. In this study, we will apply the sn-ns method for solving the phi-four equation and obtain new exact solutions. The similarities and differences of the obtained solutions will be compared with each other.

**2. A Brief Introduction to Jacobi Elliptic Functions**

The Jacobi elliptic functions are standard forms of elliptic functions and they can be defined with

respect to certain integrals. The sn-ns method provides an exact solution to differential equations in terms of the three basic Jacobi elliptic functions  $cn(u, m)$ ,  $dn(u, m)$  and  $sn(u, m)$ . Thus if

$$u = \int_0^\varphi \frac{d\theta}{(1-m^2\sin^2\theta)^{\frac{1}{2}}} \quad (15)$$

the angle  $\varphi$  is called the amplitude and its shown as

$$\varphi = amu. \quad (16)$$

Taking into account  $0 < m^2 < 1$ , we define the standard Jacobi elliptic functions

$$\sin\varphi = sn(u, m) \quad (17)$$

$$\cos\varphi = cn(u, m) \quad (18)$$

$$(1 - m^2\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}} = dn(u, m) \quad (19)$$

and the basic relations between these functions can be written as follows:

$$\begin{aligned} sn^2(u, m) + cn^2(u, m) &= 1, \\ m^2sn^2(u, m) + dn^2(u, m) &= 1, \\ m^2cn^2(u, m) + (1 - m^2) &= dn^2(u, m), \\ cn^2(u, m) + (1 - m^2)sn^2(u, m) &= dn^2(u, m). \end{aligned} \quad (20)$$

The basic jacobian elliptic functions also hold the following identities in the special cases:

$$\begin{aligned} sn(u, 0) = \sin u, \quad cn(u, 0) = \cos u, \quad dn(u, 0) = 1, \quad sn(u, 1) = \tanh u \\ cn(u, 1) = \operatorname{sech}u, \quad dn(u, 1) = \operatorname{sech}u, \quad sn(0, m) = 0, \quad cn(0, m) = 1 \\ dn(0, m) = 1, \quad sn(u, 1) = \tanh u, \quad cn(u, 1) = \operatorname{sech}u, \quad dn(u, 1) = \operatorname{sech}u \end{aligned} \quad (21)$$

These functions are derivable and the derivatives of the three basic Jacobi functions with respect to variable  $u$  can be expressed through other basic Jacobi functions:

$$\begin{aligned} \frac{\partial sn(u, m)}{\partial u} &= cn(u, m)dn(u, m), \\ \frac{\partial cn(u, m)}{\partial u} &= -sn(u, m)dn(u, m), \\ \frac{\partial dn(u, m)}{\partial u} &= -m^2sn(u, m)cn(u, m). \end{aligned} \quad (22)$$

The combinations of the letters  $s, c, d, n$  give a total of 12 functions:  $cd, cn, cs, dc, dn, ds, nc, nd, ns, sc, sd$ , and  $sn$ . Generally if  $p, q, r$  are any three of the letters  $s, c, d$  and  $n$ , these 12 functions can be derived as follows:

$$pqru = \frac{pru}{qru}. \quad (23)$$

Thus, relation of the Jacobian functions to the  $snu, cnu$  and  $dnu$  can be written as follows:

$$\begin{aligned} cdu &= \frac{cnu}{dnu} & dcu &= \frac{dnu}{cnu} & sdu &= \frac{snu}{dnu} & dsu &= \frac{dnu}{snu} & scu &= \frac{snu}{cnu} \\ csu &= \frac{cnu}{snu} & nsu &= \frac{1}{snu} & ncu &= \frac{1}{cnu} & ndu &= \frac{1}{dnu} \end{aligned} \quad (24)$$

For more details on the Jacobian elliptic functions we refer the interested readers to [Abramowitz and Stegun \(1972\)](#).

### 3. The sn-ns method

The sn-ns method has been introduced by Salas and Castillo ([Salas and Castillo, 2011](#)). Salas has considered the Ito equation and obtained some solutions of the equation by using the sn-ns

method ([Salas, 2011](#)). We can summarize the method as follows:

Step 1. First, consider a general form of the nonlinear equation

$$P(u, u_t, u_x, u_{xx}, u_{xt}, u_{tt}, \dots) = 0. \quad (25)$$

**Step 2.** To find the traveling wave solution of equation (25), we use wave transformation

$$u(x, t) = U(\xi) \text{ and } \xi = x + ct, \quad (26)$$

where  $c$  is a constant.

**Step 3.** Using (26) changes PDE (25) to an ODE

$$Q(U, U', U'', \dots) = 0. \quad (27)$$

**Step 4.** If necessary we integrate (27) as many times as possible. Adhering to the boundary conditions for  $\xi \rightarrow \pm\infty$ ,

$$U(\xi) \rightarrow 0, \frac{d^n U(\xi)}{d\xi^n} \rightarrow 0 \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad (28)$$

the integration constants should all be set zero.

**Step 5.** To obtain the solutions of (27) we try one of the following ansatz:

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^M a_i \text{sn}^i(k\xi, m) + \sum_{i=1}^M b_i \text{ns}^i(k\xi, m) \quad (29)$$

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^M a_i \text{cn}^i(k\xi, m) + \sum_{i=1}^M b_i \text{nc}^i(k\xi, m) \quad (30)$$

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^M a_i \text{dn}^i(k\xi, m) + \sum_{i=1}^M b_i \text{nd}^i(k\xi, m) \quad (31)$$

where  $k, a_i, b_i$  are constants and  $M$  is an integer in most cases. If  $M$  is not an integer, this problem can be solved by using a transformation formula.

**Step 6.** Before we look for the solutions we must first determine the parameter  $M$ . To determine the parameter  $M$ , the linear terms of highest order in the resulting equation with the highest power nonlinear terms are balanced. When  $M$  determined, using (29), (30) or (31) and (22) in (27), we get a polynomial of Jacobian elliptic functions. All the coefficients of powers of elliptic functions in the resulting equation must be zero. This yields a set of algebraic equations for  $k, a_i, b_i$  and  $c$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, M$ ). Solving the equation system we obtain an analytic solution in a closed form.

**4. The Exact Solutions of the Phi-four Equation by using the sn-ns method**

We now consider the generalized form of the phi-four equation

$$u_{tt} - \alpha u_{xx} - \lambda u + \beta u^3 = 0, \quad (32)$$

where  $\alpha, \beta$  and  $\lambda$  are real constants. Using the following transformation

$$u(x, t) = U(\xi), \xi = x + ct \quad (33)$$

we can carry (32) into the following ODE

$$(c^2 - \alpha)U'' - \lambda U + \beta U^3 = 0. \quad (34)$$

Balancing  $U''$  with  $U^3$ , we find  $M + 2 = 3M$  and  $M = 1$ . In view of the sn-ns method we could assume the solution of (34) has the ansatz form

$$U(\xi) = a_0 + a_1 \text{sn}(k\xi, m) + b_1 \text{ns}(k\xi, m). \quad (35)$$

Substituting (35) with the derivatives

$$\frac{\partial^2 \text{sn}}{\partial \xi^2} = 2m^2 k^2 \text{sn}^3(k\xi, m) - (m^2 + 1)k^2 \text{sn}(k\xi, m), \quad (36)$$

$$\frac{\partial^2 \text{ns}}{\partial \xi^2} = 2\text{ns}^3(k\xi, m) - (m^2 + 1)\text{ns}(k\xi, m), \quad (37)$$

into (34) and considering  $\text{ns}u = 1/\text{snu}$ , we obtain a polynomial equation with respect to the variable  $\phi = \text{sn}(k\xi, m)$ . If we collect the coefficients of each power of  $\phi$  and set each coefficient to zero then find a system of algebraic equation system for  $a_i, b_i, k$  and  $c$ . Solving the resulting system of algebraic equations, we find the following exact solutions:

$$u_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(m^2+1)}} \text{sn}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (38)$$

$$u_{3,4} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda}{\beta(m^2+1)}} \text{ns}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (39)$$

$$u_{5,6} = \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(m^2+6m+1)}} \text{sn}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+6m+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right) + \sqrt{\frac{2\lambda}{\beta(m^2+6m+1)}} \text{ns}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+6m+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (40)$$

$$u_{7,8} = \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(m^2-6m+1)}} \text{sn}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2-6m+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right) + \sqrt{\frac{2\lambda}{\beta(m^2-6m+1)}} \text{ns}\left(\sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2-6m+1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (41)$$

where  $c$  is left as a free parameter. We can use any other useful ansatz to obtain other solutions of (34). Now, we try the following ansatz:

$$U(\xi) = a_0 + a_1 \text{cn}(k\xi, m) + b_1 \text{nc}(k\xi, m). \quad (42)$$

Using the same procedure we obtain following solutions to equation (34):

$$u_{9,10} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(2m^2-1)}} \text{cn}\left(\sqrt{\frac{\lambda}{(2m^2-1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (43)$$

$$u_{11,12} = \pm \sqrt{\frac{2(1-m^2)\lambda}{\beta(1-m^2)}} \text{nc}\left(\sqrt{\frac{\lambda}{(2m^2-1)(c^2-\alpha)}}(x + ct), m\right), \quad (44)$$

where  $c$  is left as a free parameter.

## 5. Comparison of the solutions

In this section, we have compared the solutions obtained by the sn-ns method in this study with those obtained by modified simple equation method, the ansatz method and He's variational method.

We first consider the solutions (38) and (39) obtained by the sn-ns method in this work:

$$u_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(m^2+1)}} \operatorname{sn} \left( \sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+1)(c^2-\alpha)}} (x+ct), m \right),$$

$$u_{3,4} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda}{\beta(m^2+1)}} \operatorname{ns} \left( \sqrt{\frac{-\lambda}{(m^2+1)(c^2-\alpha)}} (x+ct), m \right).$$

Setting  $\alpha = 1, \lambda = -a^2$  and  $\beta = b$ , we get the following solutions respectively:

$$\tilde{u}_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{2a^2 m^2}{b(m^2+1)}} \operatorname{sn} \left( \sqrt{\frac{a^2}{(m^2+1)(c^2-1)}} (x+ct), m \right),$$

$$\tilde{u}_{3,4} = \pm \sqrt{-\frac{2a^2 m^2}{b(m^2+1)}} \operatorname{ns} \left( \sqrt{\frac{a^2}{(m^2+1)(c^2-1)}} (x+ct), m \right).$$

As stated before in (21) and (24) when  $m \rightarrow 1$  the following equalities hold:

$$\operatorname{sn}(u, m) = \tanh u$$

$$\operatorname{ns}(u, m) = \coth u$$

Thus, the solutions  $u_{1,2}$  and  $u_{3,4}$  degenerate into the solutions (4) and (5) obtained by the modified simple equation method.

Also, setting  $\alpha = k^2, \lambda = a, \beta = -b$  in (38) we get

$$\tilde{u}_{5,6} = \pm \sqrt{-\frac{2am^2}{b(m^2+1)}} \operatorname{sn} \left( \sqrt{\frac{-a}{(m^2+1)(c^2-k^2)}} (x+ct), m \right).$$

Taking  $m \rightarrow 1$ , the last solution reduces to the solution (9) obtained by the ansatz method.

We next consider the solution (43) obtained by the sn-ns method in this work:

$$u_{9,10} = \pm \sqrt{\frac{2\lambda m^2}{\beta(2m^2-1)}} \operatorname{cn} \left( \sqrt{\frac{\lambda}{(2m^2-1)(c^2-\alpha)}} (x+ct), m \right),$$

Setting  $\lambda = \beta = 1$ , we obtain following solutions:

$$\tilde{u}_{9,10} = \pm \sqrt{\frac{2m^2}{2m^2-1}} \operatorname{cn} \left( \sqrt{\frac{1}{(2m^2-1)(c^2-\alpha)}} (x+ct), m \right).$$

From (21), in the limit case  $m \rightarrow 1$ , we can write  $\operatorname{cn}(u, m) = \operatorname{sech} u$ .

So, the solution (43) turns into the solution:

$$u = \pm \sqrt{2} \operatorname{sech} \left( \frac{1}{\sqrt{c^2-\alpha}} \right) (x+ct). \quad (45)$$

It can be seen easily that (45) degenerate into the solutions (12) and (13) for  $c^2 = \alpha + 1$ .

## 6. Conclusion

We have given a brief introduction to Jacobi elliptic functions. Using basic Jacobi elliptic functions  $\operatorname{sn}, \operatorname{cn}$  and  $\operatorname{dn}$  we have summarized the sn-ns method. The method has been successfully implemented to find travelling wave solutions for the Phi-4 equation. Although we have had the same solutions found by the modified simple equation method, the ansatz method and He's variational method, the sn-ns method have given trigonometric and elliptic function solutions in addition to hyperbolic solutions. Therefore, the sn-ns method is useful and trustworthy method to get more solutions to NLPDEs. Throughout the work, Maple and Mathematica have been used to overcome the tedious algebraic calculations.

## References

- Abramowitz, M. and Stegun, I. A., 1972. Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, 9th printing, New York, Dover, 1046p.
- Akter, J. and Akbar, M. A., 2015. Exact solutions to the Benney-Luke equation and the Phi-4 equations by using modified simple equation method. Results in Physics, 5, 125-130.
- Calogero, F. and Degasperis, A., 1982. Spectral Transform and Solitons: Tools to Solve and Investigate Nonlinear Evolution Equations. New York: North-Holland, 532p.
- Cao, J., Song, M. and Biswas, A., 2014. Topological Solitons and Bifurcation Analysis of the PHI-Four Equation. Bull. Malays. Math. Sci. Soc., 37, 1209-1219.
- Najafi, M., 2012. Using He's Variational Method to Seek the Traveling Wave Solution of PHI-Four Equation. International Journal of Applied Mathematical Research, 1, 659-665.
- Salas H. A., 2011. Exact Solutions for the Ito Equation by the sn-ns Method. Applied Mathematical Sciences, 5, 2283-2287.
- Salas, H.A. and Castillo, J.E., 2011. New exact solutions to sinh-cosh-Gordon equation by using techniques based on projective Riccati equations. Computers and Mathematics with Applications, 61, 470-481.

## On Partial Sums of Normalized Error Function

### *Normaliz Edilmiş Hata Fonksiyonunun Kısmi Toplamları Üzerine*

İbrahim AKTAŞ\*

Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mathematical Engineering, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 12.03.2019 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 08.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 29.04.2019

#### **Abstract**

The main purpose of this paper is to determine some lower bounds for real parts of the quotient of normalized error function and its partial sum. In addition, the some upper bounds for absolute values of normalized error function and its derivative are also given.

**Keywords:** Analytic Function, Error Function, Partial Sums

#### **Abstract**

*Bu makalenin temel amacı normalize edilmiş hata fonksiyonunun kısmi toplamlarına oranının reel kısımları için bazı alt sınırlar belirlemektir. Ek olarak, normalize edilmiş hata fonksiyonu ve türevinin mutlak değerleri için bazı üst sınırlar da verilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Analitik Fonksiyon, Hata Fonksiyonu, Kısmi Toplamlar

\* İbrahim AKTAŞ; aktasibrahim38@gmail.com; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0003-4570-4485

**1. Introduction**

The error function is defined by (Abromowitz and Stegun, 1965)

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n z^{2n+1}}{(2n+1)n!}. \quad (1)$$

This function appears widely in mathematics and related disciplines. Especially, it has various applications in statistics, probability theory, partial differential equations, special functions and physics. It is important to mention here that the error function is also known as *probability integral* in the literature. Because of its remarkable properties, some interesting studies has been done on the error function. For some interesting properties including completely monotonicity, functional inequalities and differential inequalities of the error function one can refer to the papers (Alzer, 2003, 2009, 2010) and references therein. On the other hand, Kreyszig and Todd (1959a, 1959b) studied on the univalence of the error function and a related function while, Ramachandran et al. (2018, p.365-367) gave certain results for  $q$ -starlike and  $q$ -convex error functions. In additon, Silverman (1997) and Silvia (1985) gave some results on the partial sums of starlike and convex functions. Also, Çağlar and Deniz (2015), Aktaş (2019) and, Aktaş and Orhan (2016, 2018) obtained some lower bounds for the quotient of some special functions and their partial sums. Moreover, Çağlar and Orhan (2017) studied on neighborhood and partial sum problem for generalized Sakaguchi type functions. However, other geometric properties (like starlikeness, convexity, close-to convexity, uniform convexity and so forth) of the error function has not been studied yet. The importance of this study is that: determining other geometric properties of the error function can be useful for other disciplines such as mathematical physics, engineering, probabilty and statistics. Because some functions with the positive real part are frequently used in geometric function theory and related areas. Motivated by the earlier works on analytic univalent functions, our main aim is to present some lower bounds for real parts of the quotient of normalized error function and its partial sum. In addition, we give upper bounds for absolute values of normalized error function and its derivative.

Now, we would like to recall some basic notions concerning geometric function theory. Let  $\mathcal{A}$  denote the class of function of the form:

$$f(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad (2)$$

which are analytic in the open unit disk

$$\mathcal{U} = \{z: z \in \mathbb{C}, |z| < 1\}.$$

We denote by  $\mathcal{S}$  the class of all functions in  $\mathcal{A}$ , which are univalent in  $\mathcal{U}$ . It is clear that the function  $\operatorname{erf} z$  does not belong to the class  $\mathcal{A}$ . For this reason, we consider the following normalized form:

$$\begin{aligned} E_r f(z) &= \frac{\sqrt{\pi z}}{2} \operatorname{erf}(\sqrt{z}) \\ &= z + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!(2n-1)} z^n. \end{aligned} \quad (3)$$

As a result, the function  $z \mapsto E_r f(z)$  is in the class  $\mathcal{A}$ . We would like to mention here that the following well-known series sums which will be used in the sequel hold true:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n2^n} = \ln 2 \quad (4)$$

and

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} = e - 1. \quad (5)$$

Also, the well-known triangle inequality

$$|z_1 + z_2| \leq |z_1| + |z_2| \quad (z_1, z_2 \in \mathbb{C}) \quad (6)$$

and the following known inequalities

$$2^{n-1} \leq n! \quad (n \geq 1) \quad (7)$$

and

$$2n < 2n + 1 \quad (n \geq 1) \quad (8)$$

will be used in order to derive our main results.

Let  $w(z)$  denote an analytic function in  $\mathcal{U}$ . It is worth to remember here that the following well-known result which will be frequently used in the sequel plays a vital role to prove our main results:

$$\Re \left\{ \frac{1+w(z)}{1-w(z)} \right\} > 0 \text{ iff } |w(z)| < 1, z \in \mathcal{U}. \quad (9)$$

**2. Main Results**

In this section, we firstly prove the following lemma which will be used in order to derive our main results.

**Lemma.** The normalized error function  $z \mapsto E_r f(z)$  which is given by (3) satisfies the following two inequalities for  $z \in \mathcal{U}$ :

*i.*  $|E_r f(z)| \leq 1 + \ln 2,$  (10)

*ii.*  $\left| (E_r f(z))' \right| \leq \frac{1+e+2\ln 2}{2}.$  (11)

**Proof. i.** By using the inequalities which are given by (6), (7) and (8), we can write that

$$\begin{aligned} |E_r f(z)| &= \left| z + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!(2n-1)} z^n \right| \\ &= \left| z + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!(2n+1)} z^{n+1} \right| \\ &\leq |z| + \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!(2n+1)} z^{n+1} \right| \\ &\leq 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!(2n+1)} \\ &\leq 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n2^n} \end{aligned}$$

for  $z \in \mathcal{U}$ . Now consider the series sum which is given by (4) in the last inequality, we deduce that

$|E_r f(z)| \leq 1 + \ln 2,$

which is desired.

*ii.* By considering the inequalities which are given by (6), (7) and (8), it can be written that

$$\begin{aligned} \left| (E_r f(z))' \right| &= \left| 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+1)(-1)^n}{n!(2n+1)} z^n \right| \\ &\leq 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+1)}{n!(2n+1)} \\ &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n-1)!(2n+1)} \\ &\quad + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!(2n+1)} \\ &\leq 1 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n2^n}. \end{aligned}$$

Now using the series sums which are given by (4) and (5), we have

$\left| (E_r f(z))' \right| \leq \frac{1+e+2\ln 2}{2}.$

So the proof is completed.

**Theorem.** Let  $E_r f: \mathcal{U} \rightarrow \mathbb{C}$  be defined by

$E_r f(z) = z + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^{n+1}$

and its sequence of partial sum defined by

$(E_r f)_m(z) = z + \sum_{n=1}^m A_n z^{n+1},$

where  $A_n = \frac{(-1)^n}{n!(2n+1)}$ . Then, the following two inequalities are valid for  $z \in \mathcal{U}$ :

*i.*  $\Re \left( \frac{E_r f(z)}{(E_r f)_m(z)} \right) \geq 1 - \ln 2 \cong 0.307$  (12)

and

*ii.*  $\Re \left( \frac{(E_r f)_m(z)}{E_r f(z)} \right) \geq \frac{1}{1+\ln 2} \cong 0.591.$  (13)

**Proof. i.** From the inequality (10) in Lemma, it can be written that

$$\begin{aligned} |E_r f(z)| &= |z + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^{n+1}| \\ &\leq 1 + \sum_{n=1}^{\infty} |A_n| \\ &\leq 1 + \ln 2 \end{aligned}$$

which is equivalent to

$\frac{1}{\ln 2} \sum_{n=1}^{\infty} |A_n| \leq 1.$  (14)

In order to prove the inequality (12), consider the function  $w(z)$  defined by

$$\begin{aligned} \frac{1+w(z)}{1-w(z)} &= \frac{1}{\ln 2} \left\{ \frac{E_r f(z)}{(E_r f)_m(z)} - (1 - \ln 2) \right\} \\ &= \frac{1}{\ln 2} \left\{ \frac{z + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^{n+1}}{z + \sum_{n=1}^m A_n z^{n+1}} - (1 - \ln 2) \right\} \\ &= \left\{ \frac{1 + \sum_{n=1}^m A_n z^n + \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}{1 + \sum_{n=1}^m A_n z^n} \right\}. \end{aligned}$$

As a result of the last equality, we have

$$w(z) = \frac{\frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}{2 + 2 \sum_{n=1}^m A_n z^n + \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}$$

and

$$|w(z)| < \frac{\frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|}{2 - 2 \sum_{n=1}^m |A_n| - \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|}.$$

The inequality

$\sum_{n=1}^m |A_n| + \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n| \leq 1$  (15)

implies that  $|w(z)| \leq 1$ . It suffices to show that the left hand side of the inequality (15) is bounded above by

$\frac{1}{\ln 2} \sum_{n=1}^{\infty} |A_n|,$

which is equivalent to

$\frac{1-\ln 2}{\ln 2} \sum_{n=1}^m |A_n| \geq 0.$

*ii.* In order to prove the inequality (13), consider the function  $p(z)$  defined by



$$\begin{aligned} \frac{1+p(z)}{1-p(z)} &= \left(1 + \frac{1}{\ln 2}\right) \left\{ \frac{z + \sum_{n=1}^m A_n z^{n+1}}{z + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^{n+1}} - \frac{1}{1+\ln 2} \right\} \\ &= \frac{1+\ln 2}{\ln 2} \left\{ \frac{1 + \sum_{n=1}^m A_n z^n}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^n} - \frac{1}{1+\ln 2} \right\} \\ &= \frac{1 + \sum_{n=1}^m A_n z^n - \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}{\sum_{n=1}^{\infty} A_n z^n}. \end{aligned}$$

A simple calculation yields that

$$p(z) = \frac{-\left(\frac{1+\ln 2}{\ln 2}\right) \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}{2 + 2 \sum_{n=1}^m A_n z^n - \left(\frac{1-\ln 2}{\ln 2}\right) \sum_{n=m+1}^{\infty} A_n z^n}$$

and

$$|p(z)| < \frac{\frac{1+\ln 2}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|}{2 - 2 \sum_{n=1}^m |A_n| - \left(\frac{1-\ln 2}{\ln 2}\right) \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|}.$$

To show that  $|p(z)| \leq 1$ , it is enough to prove that

$$\frac{\frac{1+\ln 2}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|}{2 - 2 \sum_{n=1}^m |A_n| - \left(\frac{1-\ln 2}{\ln 2}\right) \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n|} \leq 1,$$

which is equivalent to

$$\sum_{n=1}^m |A_n| + \frac{1}{\ln 2} \sum_{n=m+1}^{\infty} |A_n| \leq 1.$$

But the last inequality is bounded above by

$$\frac{1}{\ln 2} \sum_{n=1}^{\infty} |A_n|.$$

This implies that  $|p(z)| \leq 1$ . The proof is thus completed.

### 3. Conclusion

Geometric properties of special functions and their zeros are very important for engineers and physicists. It is known that, some criterions which depend on positive real part of the functions has been developed to determine geometric properties of analytic functions. In this investigation, by making use of some earlier results for analytic function, we obtain some lower bounds for real part of the quotient of normalized error function and its partial sum. Moreover, with the help of the some well-known inequalities and series sums in mathematics, we present some upper bounds for the absolute values of the normalized error function and its derivative.

### References

- Abromowitz, M., Stegun, I. A., 1965. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables, Newyork: Dover Publication.
- Aktaş, İ., Partial sums of hyper-Bessel function with applications, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, (Accepted).
- Aktaş, İ., Orhan, H., 2016. Partial sums of normalized Dini functions, Journal of Classical Analysis, 9(2), 127-135.
- Aktaş, İ., Orhan, H., 2018. On partial sums of normalized  $q$ -Bessel functions, Communication of the Korean Mathematical Society, 33(2), 535-547.
- Alzer, H., 2003. Functional inequalities for the error functions I, Aequationes Mathematicae, 66, 119-127.
- Alzer, H., 2009. Functional inequalities for the error functions II, Aequationes Mathematicae, 78, 113-121.
- Alzer, H., 2010. Error function inequalities, Advances in Computational Mathematics, 33, 349-379.
- Çağlar, M., Deniz, E., 2015. Partial sums of the normalized Lommel functions. Mathematical Inequalities and Applications, 18(3), 1189-1199.
- Çağlar, M., Orhan, H., 2017. On neighborhood and partial sums problem for generalized Sakaguchi type functions. Analele Stiintifice Ale Universitatii Al I Cuza Din Iasi-Serie Noua-Matematica, Tomul LXIII, f. 1, 17-28.
- Kreyszig, E., Todd, J., 1959a. The radius of univalence of the error function, Numerische Mathematik, 1, 78-89.
- Kreyszig, E., Todd, J., 1959b. On the Radius of univalence of the function  $\exp z^2 \int_0^z \exp(-t^2) dt$ , Pasifik Journal of Mathematics, 9(1), 123-127.
- Ramachandran, C., Vanitha, L., Kanas, S., 2018. Certain results on  $q$ -starlike and  $q$ -convex error functions, Mathematica Slovaca, 68(2), 361-368.
- Silverman, H., 1997. Partial sums of starlike and convex functions, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 209, 221-227.
- Silvia, EM., 1985. On partial sums of convex functions of order  $\alpha$ , Houston Journal of Mathematics, 11, 397-404.

# BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Malzemesinin Fiziksel Özelliklerinin Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Kullanılarak İncelenmesi

*Investigation of Physical Properties of the BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> by Using Density Functional Theory*

**Ertuğrul KARACA\***

*Biyomedikal, Manyetik ve Yarıiletken Malzemeler Araştırma Merkezi (BIMAYAM), Sakarya Üniversitesi, Adapazarı*

• Geliş tarihi / Received: 21.12.2018

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 01.04.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 29.04.2019

## Öz

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin yapısal, elektronik, fonon ve süperiletkenlik özellikleri ab initio pseudopotansiyel metodu kullanılarak incelendi. Elektronik hesaplamaların sonucunda, Fermi enerjisi durum yoğunluğu  $N(E_F)$  1.79 durum/eV olarak bulundu ve Fermi enerjisi civarında en büyük katkı Ru 4d ve As 4p orbitallerinden kaynaklandığı gözlemlendi. Bu bileşiğin fonon dağılım eğrilerinin ve fonon durum yoğunluğunun hesaplaması doğrusal tepki metodu kullanılarak yapıldı. Fonon dağılım eğrileri ve fonon durum yoğunluğu sonuçları BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin dinamik kararlı olduğunu gösterdi. Ayrıca doğrusal tepki metodu ve Migdal-Eliashberg yaklaşımı kullanılarak BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin elektron-fonon matris elemanları hesaplandı. Bu matris elemanları yardımıyla BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için ortalama elektron-fonon etkileşim parametresi  $\lambda=0.21$  gibi zayıf bir etkileşim olarak bulundu. Bu sonuç incelenen bileşikte elektron-fonon etkileşiminin çok küçük olduğunu göstermektedir. Bu düşük  $\lambda$  değeri incelenen bileşikte 0.1 K değerine kadar geleneksel süperiletkenlik gözlemlenememesini açıklamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Elektronik Özellikler, Fononlar, Süperiletkenlik, Yoğunluk Fonksiyonel Teori

## Abstract

*Ab initio pseudopotential calculations have been made to investigate structural, electronic, vibrational, and superconducting properties of BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. Electronic results show that the calculated density of states at the Fermi level  $N(E_F)$  is 1.79 states/eV and  $N(E_F)$  is mainly contributed by Ru 4d states and As 4p states. A linear response approach is used to determine phonon dispersion curves and phonon density of states for this compound. The phonon dispersion curves and phonon density of states indicate the optimized structure of BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> is dynamically stable. Furthermore, the linear response method and the Migdal-Eliashberg approach have been used to calculate electron-phonon matrix elements for BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. By using these matrix elements, the average electron-phonon coupling parameter is found to be weak strength such as  $\lambda=0.21$ . This result confirms that very small electron-phonon interaction occurring in this compound. This low value of ( $\lambda$ ) explains the absence of conventional superconductivity up to 0.1 K in this compound.*

**Keywords:** Electronic properties, Phonons, Superconductivity, Density Functional Theory

\* Ertuğrul KARACA; ertugrulkaraca@sakarya.edu.tr; Tel: (0264) 295 31 73; orcid.org/0000-0003-4451-4989

## 1. Giriş

ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> tipi kristalleşen AT<sub>2</sub>X<sub>2</sub> (A = Toprak alkali metal veya Lantanit element, T = Geçiş metali, X = Si, P, Ge, As) bileşikleri çok yoğun bir şekilde deneysel ve teorik olarak çalışılmaktadır (Nagarajan vd., 1981; Sampathkumaran vd., 1986; Ronning vd., 2008; Kim vd., 2012). Bu bileşikler düşük sıcaklıklarda süperiletkenlik (Hull vd., 1981; Jeitschko vd., 1987; Tomioka vd., 2009; Hirai vd., 2010), basınç (Torikachvili vd., 2008; Miclea vd., 2009; Ronning vd., 2009) veya farklı malzemelerle katılanarak (Rotter vd., 2008; Sefat vd., 2008; Jeevan vd., 2008; Shan vd., 2012; Hirai vd., 2012) yüksek sıcaklıklarda süperiletkenlik ve farklı manyetik özelliğe sahip olma (Reehuis vd., 1992) gibi ilginç fiziksel özellikler göstermektedirler. ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> tipi süperiletkenler bu karmaşık davranışlarından dolayı basınç altında birinci veya ikinci tür faz geçişi gösterebilirler (Shein ve Ivanovskii, 2009b). LaRu<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiği için süperiletkenlik geçiş sıcaklığı 4 K olarak gözlenmiştir (Jeitschko vd., 1987). Bu bileşik manyetik element içermediğinden süperiletkenlik durumunda herhangi bir manyetik geçiş gözlenmeyecektir. Bu yüzden Süperiletkenliğin doğasının incelenmesi için oldukça uygun bileşiktir. Bu bileşik ile ilgili son yıllarda elektronik ve süperiletkenlik özelliklerini incelemek için deneysel çalışmalar yapılmış ve bileşiğin süperiletkenlik özelliği gösterdiği doğrulanmıştır (Schaak ve Cava, 2004; Moll vd., 2011; Ying vd., 2010; Razzoli vd., 2012). Ayrıca bu bileşiğin elektronik özellikleri çeşitli teorik çalışmalarla incelenmiştir (Moll vd., 2011; Razzoli vd., 2012). Mine vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiğinin süperiletken olduğunu kanıtladılar ve bu bileşik için süperiletkenlik geçiş sıcaklığını 3 K olarak belirlediler. Keimes vd. (1997) BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiğinin yapısal özelliklerini yapmış oldukları deneysel çalışma ile belirlemişlerdir. Ayrıca BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiğinin elektronik özellikleri teorik çalışma ile belirlenmiştir (Shein ve Ivanovskii, 2009b). BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiğine çok benzer kristalleşen BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub> ve BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşikleri için de çalışmalar yapılmıştır (Wurth vd., 1997; Lohken vd., 2002). BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub> ve BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiklerinin BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşiğinden farkları, manyetik Ni bileşeni yerine manyetik olmayan Ir ve Rh atomlarını içermeleridir. BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub> ve BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub> bileşikleri için deneysel olarak yapılan ısı kapasitesi, direnç ve manyetik duygunluk ölçümlerinde süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları sırasıyla 2.1 K (Berry vd., 2009) ve 1 K (Hirai vd., 2009) olarak belirlenmiştir. Fujii ve Sato (2009), SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> bileşiği için

yapmış oldukları çalışmada süperiletkenlik geçiş sıcaklığını yaklaşık olarak 3 K olarak bulmuşlardır. SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> bileşiğinin süperiletkenlik özelliklerini belirleyebilmek için birkaç deneysel çalışma daha yapılmıştır (Sung vd., 2011; Wang vd., 2012; Hung vd., 2013; Samuely vd., 2013). Yapılan çalışmalar sonucu SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> bileşiğinin II. tip süperiletken olduğu bulunmuştur (Shein ve Ivanovskii, 2009b; Shein ve Ivanovskii, 2011; Razzoli vd., 2012; Ghebouli vd., 2011; Kittel, 2014). Anand vd., (2013) deneysel olarak SrPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve CaPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin yapısal, elektronik, manyetik ve süperiletkenlik özelliklerini incelemişler ve SrPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve CaPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarını sırasıyla 0.92 K ve 1.27 K olarak belirlemişlerdir. Ayrıca SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, SrPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve CaPd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin elektronik özelliklerini belirleyebilmek için de teorik çalışmalar da yapılmıştır (Jayalakshmi ve Sundareswari, 2013; Ghebouli vd., 2011; Shein vd., 2014).

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin manyetik, termal ve elektriksel direnç ölçümleri Nath vd., (2009) tarafından deneysel olarak incelenmişler ve BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin sıcaklığa karşı direnç davranışının normal metallerin davranışına benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. Shein ve Ivanovskii (2009a) SrRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, SrRh<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, BaRh<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin yapısal ve elektronik özelliklerini teorik olarak incelenmişlerdir. Ayrıca yine Shein ve Ivanovskii (2010) SrRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin bant yapısı özelliklerini teorik olarak incelenmişler. ve SrRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiklerinin elektron-fonon etkileşim parametrelerini ( $\lambda$ ) hesaplamışlardır. Fakat Shein ve Ivanovskii (2010) yapmış oldukları çalışmada belirttikleri gibi kullandıkları yöntem basit bir yaklaşımdır. Onlar deneysel ve teorik Sommerfeld sabitlerini kullanarak  $\gamma^{\text{dency}} = \gamma^{\text{teorik}}(1+\lambda)$  formülünden SrRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ve BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> süperiletkenleri için  $\lambda$  değerlerini yaklaşık olarak sırasıyla 0.20 ve 0.02 olarak belirlemişlerdir. Bardeen, Cooper ve Schrieffer (BCS) teorisine göre süperiletkenlik elektron-fonon etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Elektron-fonon etkileşim parametresini hesaplamamanın en iyi yolu Eliashberg spektral fonksiyonunu ( $\alpha^2F(\omega)$ ) belirlemektir (Tütüncü vd., 2012; Tütüncü vd., 2010; Bağcı vd., 2010; Liu ve Quong, 1996; Bauer vd., 1998; Baroni vd., 2001; Weber vd., 2012). Çünkü bu fonksiyon elektronlar, fononlar ve onların etkileşiminden gelen katkıyı içermektedir. Şimdiye kadar bu fonksiyon BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için incelenmemiştir. Bu çalışmada, teorik olarak bu bileşiğin süperiletken olup olmadığını belirleyebilmek amaçlı BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin

yapısal, elektronik, fonon ve elektron-fonon özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu sebeple Fermi seviyesindeki elektronik durum yoğunluğu ( $N(E_F)$ ), Eliashberg spektral fonksiyonu ( $\alpha^2F(\omega)$ ) ve elektron-fonon etkileşim parametresi ( $\lambda$ ) tayin edilmiştir. Bu parametrelerden yararlanılarak BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin süperiletkenlik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) belirlenmiştir. süperiletkenlik için elde edilen sonuçlar, mevcut deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

## 2. Hesaplama Metodu

Hesaplamamızda düzlem dalga ve pseudopotansiyel teorilerini temel alan QUANTUM ESPRESSO (Giannozzi vd., 2009) programı ve Perdew vd. (1996) tarafından elde edilmiş Genelleştirilmiş Gradyent Yaklaşımı (GGA) kullanıldı. Elektron-iyon etkileşimleri için Ultrasoft (Vanderbilt, 1990; Rappe vd., 1990) pseudopotansiyeller kullanıldı. Kohn ve Sham (1965) denklemleri Brillouin bölgesi içerisinde bir set olan Monkhorst ve Pack (1976) özel  $\vec{k}$  noktaları kullanılarak belirlendi. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin yapısal parametrelerini belirlemek için  $\vec{k}$ -noktalar  $8 \times 8 \times 8$  alınarak kullanıldı. Elektronik yapı ve elektronik durum yoğunluğu hesaplamaları için  $24 \times 24 \times 24$ 'lük  $\vec{k}$ -noktalar kullanıldı. Fonon frekansları lineer-tepki metodu (Perdew vd., 1996) kullanılarak hesaplandı. Ayrıca süperiletkenlik özellikleri Migdal (1958) ve Eliashberg (1960) yaklaşımları kullanılarak hesaplandı. Fonon hesaplamaları için indirgenmiş Brillouin bölgesinde  $8 \times 8 \times 8$  8'lik  $\vec{k}$ -noktalar kullanılmıştır. Brillouin bölgesinde  $4 \times 4 \times 4$ 'lük  $\vec{q}$ -noktalar kullanılarak 13 dinamik matris belirlendi.

Elektron-fonon etkileşimleri için matris elemanları

$$g_{(\vec{k}+\vec{q})m;kn}^{\vec{q}j} = \sqrt{\frac{\hbar}{2M\omega_{\vec{q}j}}} \langle \Phi_{(\vec{k}+\vec{q})m} | \vec{e}_{\vec{q}j} \cdot \vec{\nabla} V^{SCF}(\vec{q}) | \Phi_{\vec{k}n} \rangle \quad (1)$$

ifadesi ile verilir. Burada M atomik kütleli ifade ederken,  $\vec{\nabla} V^{SCF}(\vec{q})$  ise,  $\vec{q}$  dalga vektörlü bir fonondan kaynaklanan atomik yer değiştirmeye göre kararlı etkin potansiyelin türevini ifade etmektedir. Elektron-fonon matris elemanları Denklem 1'den yararlanılarak  $\gamma_{\vec{q}j}$  fonon çizgi genişliği hesaplanabilir.

$$\gamma_{\vec{q}j} = 2\pi\omega_{\vec{q}j} \sum_{\vec{k}nm} |g_{(\vec{k}+\vec{q})m;kn}^{\vec{q}j}|^2 \delta(\epsilon_{\vec{k}n} - \epsilon_F) \delta(\epsilon_{(\vec{k}+\vec{q})m} - \epsilon_F) \quad (2)$$

Elektron-fonon çiftlenimi,

$$\lambda_{\vec{q}j} = \frac{\gamma_{\vec{q}j}}{\pi N(E_F)\omega_{\vec{q}j}^2} \quad (3)$$

eşitliğinden belirlenebilir. Denklem 3'te bulunan  $N(E_F)$ , Fermi seviyesi durum yoğunluğunu ifade etmektedir. Elektron-fonon etkileşim parametresi ve fonon genişliği hesaplamalarında fonon spektrumlarında meydana gelen beklenmeyen durumları analiz etmek çok önemlidir. Çünkü bu durum elektron-fonon etkileşimi olduğunun bir göstergesidir. Elektron-fonon etkileşim parametresini elde edebilmek için Eliashberg spektral fonksiyonunu kullanmak uygundur. Bu fonksiyon;

$$\alpha^2F(\omega) = \frac{1}{2\pi N(E_F)} \sum_{\vec{q}j} \frac{\gamma_{\vec{q}j}}{\hbar\omega_{\vec{q}j}} \delta(\omega - \omega_{\vec{q}j}) \quad (4)$$

eşitliği ile verilir. Ortalama elektron-fonon etkileşim parametresi ise,

$$\lambda = 2 \int \frac{\alpha^2F(\omega)}{\omega} d\omega \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Süperiletkenlik çalışmalarının ana fikirlerinden birisi elektron-fonon etkileşiminin gücünü belirleyebilmektir. Elektron-fonon etkileşim parametresi hesaplandıktan sonra süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı;

$$T_c = \frac{\omega_{ln}}{1.2} \exp\left(-\frac{1.04(1+\lambda)}{\lambda - \mu^*(1+0.62\lambda)}\right) \quad (6)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Burada  $\omega_{ln}$ , logaritmik ortalama fonon frekansını ifade etmektedir. Bu ifade;

$$\omega_{ln} = \exp[2\lambda^{-1} \int_0^\infty \frac{d\omega}{\omega} \alpha^2F(\omega) \ln\omega] \quad (7)$$

denkleminde hesaplanır. Elektron-fonon etkileşim parametresi elektronik ısı sığası katsayısının ( $\gamma$ ) hesaplanması için de kullanılabilir. Bu katsayı aşağıdaki formül ile verilir;

$$\gamma = \frac{1}{3} \pi^2 k_B^2 N(E_F) (1 + \lambda). \quad (8)$$

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Bileşiğinin Yapısal Özellikleri

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için hesaplamalar sonucu elde edilmiş olan kristal yapı Şekil 1a'da ve Enerji-Hacim grafiği Şekil 1b'de verildi. Bu bileşiğin ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-tipi hacim merkezli tetragonal yapıda

kristalleştiği bilinmektedir (Nath vd., 2009; Shein ve Ivanovskii, 2009a; Shein ve Ivanovskii, 2010). BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> kristali BCT örgü üzerine kurulmuş ve uzay grubu I4/mmm olan bir yapıdır. Bu kristal yapıdaki atomların Wyckoff pozisyonları: Ba 2a(0, 0, 0), Ru 4d(0, 1/2, 1/4) ve As 4e(0, 0, z) olarak verilir. Burada z iç parametre olarak isimlendirilir. Bu yüzden bu yapı iki kristal parametresi (a ve c) ve bir iç parametre (z) ile belirlenir. Enerji-Hacim grafiği çizilerek bileşiğin en kararlı olduğu nokta hesaplandı ve bu noktada bileşiğin örgü parametreleri, Bulk modülü (B) ve Bulk modülünün basınca göre birinci türevi (B') aşağıda verilen Murnaghan (1944) eşitliğinden yararlanılarak elde edildi.

$$P = \frac{B_0}{B_0'} \left[ \left( \frac{\Omega_0}{\Omega} \right)^{B_0'} - 1 \right] \quad (9)$$

$$E = \frac{\Omega_0 B_0}{B_0'} \left[ \frac{1}{B_0'-1} \left( \frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{B_0'-1} + \frac{\Omega}{\Omega_0} \right] - \frac{\Omega_0 B_0}{B_0'-1} + E(\Omega_0) \quad (10)$$

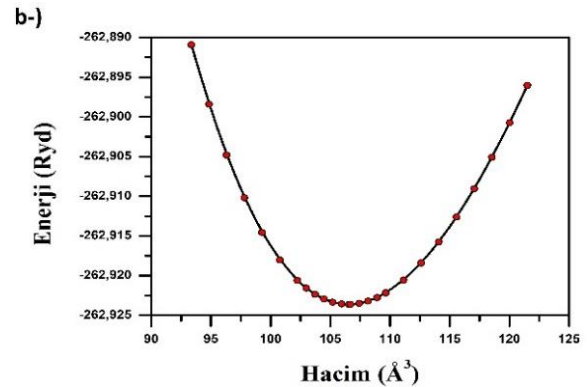
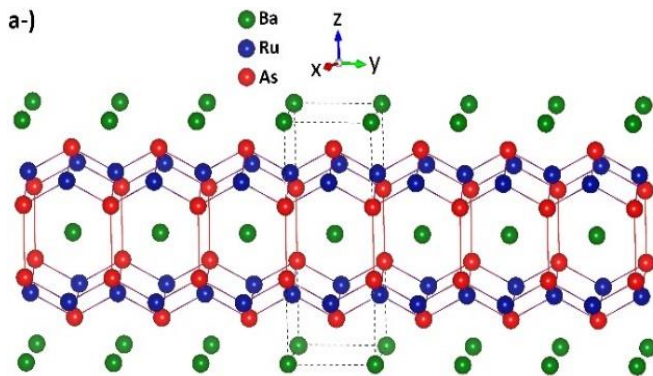
Burada  $\Omega$  ve  $B_0$  değerleri sırasıyla örgü sabiti ve Bulk modülü değerlerini ifade etmektedir. Bulk modülü kristallerin dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Bulk modülü hesaplaması yapılmadan hiçbir

kristal teknolojik uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılması beklenmez. Bu grafikten elde edilen örgü parametreleri BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için  $a = b = 4.203 \text{ \AA}$ ,  $c = 12.063 \text{ \AA}$  ve iç parametre değeri kristal koordinatlar cinsinden  $z = 0.352$  olarak hesaplandı. Bulunan bu değerlerin daha önceki deneysel sonuçlar olan  $a = b = 4.152 \text{ \AA}$  ve  $c = 12.250 \text{ \AA}$  (Nath vd., 2009) değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için elde edilen Bulk modülü (B) ve Bulk modülün basınca göre birinci türevi (B') değerleri sırasıyla 70.3 GPa ve 3.84 olarak hesaplandı. Bu bileşik için yapılan incelemelerde Bulk modülünün ve Bulk modülünün birinci türevinin literatürde daha önceden verilmediği gözlemlendi.

Tablo 1'de bileşiğin hesaplanan teorik yapısal parametre değerleri ve onlara karşılık gelen önceki deneysel ve teorik değerler verildi. Bunlara ek olarak elektron-fonon etkileşimini farklı şekillerde etkilediği düşünülen bazı mesafeler de hesaplandı. Tablo 1'den görüleceği gibi elde ettiğimiz a ve c değerlerinin daha önceki teorik ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir. İç parametre (z) değerinin de teorik veri ile uyumludur.

**Tablo1.** BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için hesaplanan yapısal değerler ve bu değerlerin daha önceki deneysel ve teorik verilerle kıyaslanması (Tüm uzunluklar Å birimindedir).

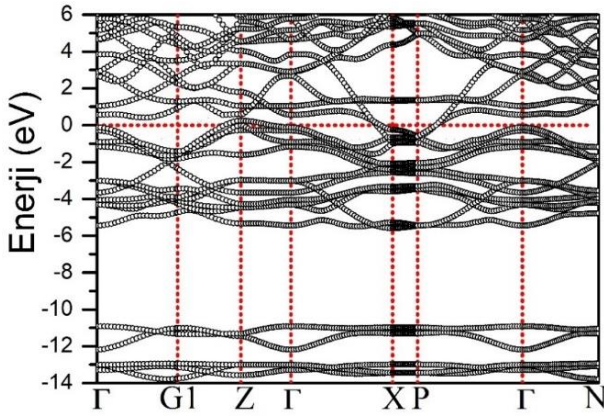
	a	c	z	d <sub>Ru-Ru</sub>	d <sub>Ru-As</sub>	d <sub>As-As</sub>	B(GPa)	B'
Bu Çalışma	4.203	12.063	0.352	2.972	2.434	3.574	70.3	3.84
Deneysel (Nath vd., 2009)	4.152	12.250	0.353					
GGA (Shein ve Ivanovskii, 2009a)	4.193	12.314	0.351	2.966	2.438	3.671		



**Şekil 1.** BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için a-) kristal yapının gösterimi b-) hesaplamalar sonucu elde edilen Enerji-Hacim grafiği

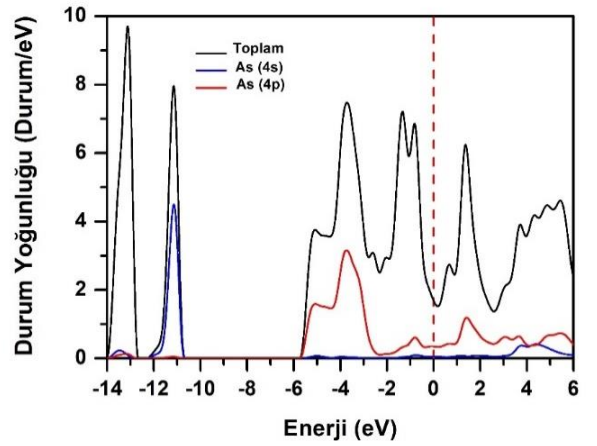
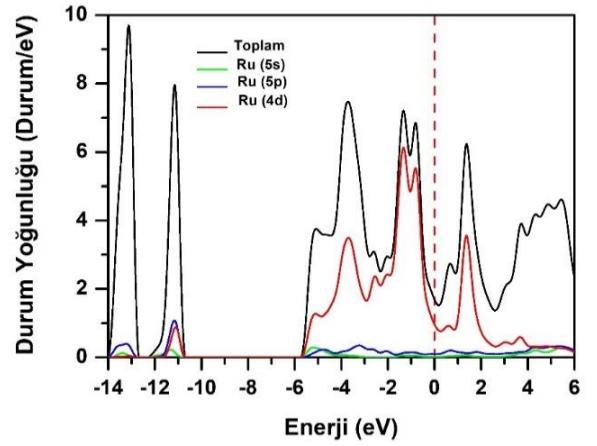
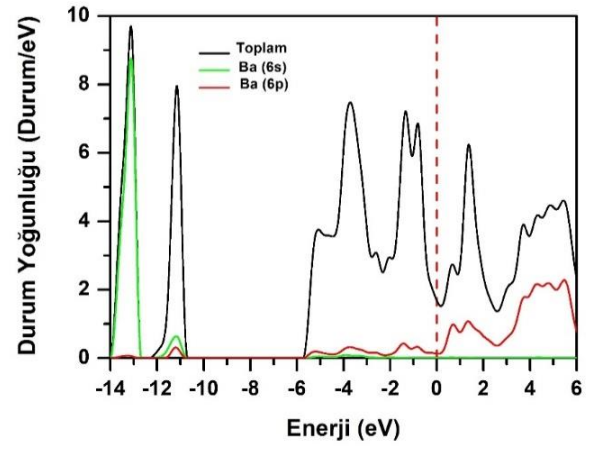
### 3.2. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Bileşiğinin Elektronik Özellikleri

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için elektronik enerji band yapısı Şekil 2.'de görüldüğü gibi elde edildi. Fermi enerjisi sıfır olarak seçildi ve yatay kesikli çizgi ile gösterildi. Elde edilen bulgular daha önce hesaplanmış teorik çalışma ile uyumludur (Shein ve Ivanovskii, 2009a). Şekil 2 detaylı olarak incelendiğinde değerlik ve iletkenlik bandlarının Fermi seviyesini kestiği açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin metalik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ru-As atomları arası mesafe 2.434 Å olarak hesaplanmıştır ve bu mesafe Ru ve As atomlarının kovalent yarıçapları toplamından (2.45 Å) daha küçüktür. Bu durum Ru ve As atomları arasında güçlü kovalent bağ olduğunu gösterir.



Şekil 2. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için yüksek simetri noktaları boyunca elektronik enerji band yapısı. Fermi enerjisi 0 eV olarak alındı.

Şekil 3'te BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için hesaplamalar sonucu elde edilen enerji durum yoğunluğu ve atomik bazda durum yoğunluğu grafiği verildi. Enerji durum yoğunluğu sonuçları önceki teorik verilerle uyumludur (Shein ve Ivanovskii, 2009a; Shein ve Ivanovskii, 2010). Şekil 3'ten görüldüğü gibi -14.0 eV ile -12.6 eV enerji aralığındaki üç banda en fazla katkı Ba 6s orbitalinden gelmiştir. -12.4 eV ile -10.6 eV enerji aralığındaki iki banda en fazla katkı As 4s orbitalinden gelmiştir. Bu enerji bölgesinde diğer orbitallerden de katkı gelmektedir. Fakat bu katkı çok küçüktür. Bu düşük enerjili valans bandları 4.8 eV değerinde bir enerji ile yüksek valans bölgesinden ayrılmıştır. Yüksek valans bölgesi -5.8 eV değerinden Fermi enerjisi seviyesine kadar uzanmaktadır. -5.8 eV ile -2.2 eV enerji aralığında Ru d orbitali ile As p orbitalleri güçlü bir hibritleşme göstermektedir. Bu durum Ru ile As atomları arasında kovalent bağ olduğunu vurgulamaktadır. -3.7 eV enerji değerinde yoğun bir pik bulunmaktadır.



Şekil 3. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için toplam ve kısmi elektronik durum yoğunluğu. Fermi enerjisi 0 eV olarak alınmıştır.

Bu pike en büyük katkı Ru 4d orbitali ile As 4p orbitalinin hibritleşmesinden gelmektedir. -2.0 eV ile Fermi enerjisi seviyesine kadar olan bölgede Ru 4d orbitali en büyük katkıyı yapmaktadır. Süperiletkenlik özelliklerini daha detaylı inceleyebilmek için Fermi enerjisi durum yoğunluğu hesaplanmalıdır. Çünkü BCS teorisine göre Cooper çiftleri oluşumu Fermi enerjisi seviyesine yakın olan elektronlardan kaynaklanmaktadır. Fermi enerjisi seviyesine en fazla katkıda bulunan orbital ise Ru 4d olduğu bulundu. Daha

sonra en büyük katkının As 4p orbitalinden kaynaklandığı bulundu. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin elektronik durum yoğunluğuna bakıldığında N(E<sub>F</sub>) 1.79 Durum/eV olarak bulundu. N(E<sub>F</sub>) değerine Ru ve As atomlarından gelen katkılar sırasıyla %65.1 ve %24.9 olarak elde edildi. Ba atomundan gelen katkı ise %9.9'dur. Bu gözlem [Shein ve Ivanovskii \(2009a\)](#) tarafından yapılan teorik çalışma ile uyumludur. Fermi enerjisi durum yoğunluğuna en büyük katkının Ru 4d orbitalinden kaynaklandığı (%59.1) ve daha sonra en büyük katkının As 4p orbitalinden kaynaklandığı (%21.7) bulundu. Ayrıca N(E<sub>F</sub>) değerine tüm atomlardan katkı geldiğinden dolayı BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin elektronik yapısının üç boyutlu karakter gösterdiği söylenebilir.

### 3.3. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Bileşiğinin Titreşim Özellikleri

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin BCS teorisine göre süperiletkenlik özelliklerinin incelenmesi için fonon özelliklerinin incelenmesi gerekir. Titreşim özellikleri tam bir elektron-fonon etkileşim parametresinin hesaplanabilmesi için ölçülmesi gereken en önemli özelliklerden birisidir. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için elektron-fonon etkileşimi daha önce teorik veya deneysel olarak çalışılmamıştır. Bu sebepten BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için teorik olarak fonon yapısı, fonon durum yoğunluğu, Eliashberg spektral fonksiyonu ve elektron-fonon etkileşim parametresi incelendi.

BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için merkezi-fonon modları D<sub>4h</sub> (4/mmm) nokta grubu ile tanımlanır. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için grup teorie göre  $\Gamma$  noktasındaki optik fonon modları simetrisi Denklem 9'da verilmiş olan eşitlikle tanımlanır.

$$\Gamma = 2E_g + B_{1g} + 2E_u + 2A_{2u} + A_{1g} \quad (11)$$

Burada,  $E_g$ ,  $B_{1g}$ ,  $A_{1g}$  modları Raman aktif ve  $E_u$ ,  $A_{2u}$  modları Kızıl-ötesi (İnfrared) aktiftir. Dejenere olmuş E modlarında bulunan atomların titreşimleri x-y düzleminindedir. A ve B modlarındaki atomların titreşimleri ise z yönündedir. Tablo 2'de Brillouin merkezi-fonon modlarının frekans değerleri ve elektron-fonon etkileşim parametre değerleri verildi. Elektron-fonon etkileşim hesaplamalarımıza göre elektron-fonon etkileşim parametresi tüm Brillouin merkezi-fonon modlarında çok küçük değere sahiptir. Bu da BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinde zayıf elektron-fonon etkileşiminin olduğunun bir göstergesidir. Brillouin bölgesi içerisinde hesapladığımız fonon dispersiyon eğrisi ve fonon durum yoğunluğu grafikleri Şekil 4'te verildi. Şekil 4a'da görüldüğü gibi tüm fonon modları pozitif frekanslara sahip olduklarından BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği BCT yapıda dinamik kararlıdır. BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği her bir birim hücresinde beş atom içerdiğinden toplamda on beş adet fonon modu vardır. Bunlardan üçü akustik diğer on iki tanesi ise optik moddur. Fonon dispersiyon eğrisi grafiği incelendiğinde iki ana bölgeye ayrıldığı açıkça görülmektedir. Bu iki bölge 0 ile 5.8 THz arasındaki frekanslarda değişen düşük frekans bölgesi (Low Frequency Region-LFR), 6.4 ile 8.6 THz arasındaki frekanslarda değişen yüksek frekans bölgesidir (High Frequency Region-HFR). LFR bölgesinde üç akustik altı optik mod olmak üzere dokuz fonon modu bulunmaktadır. HFR bölgesinde ise altı optik fonon modu bulunmaktadır. HFR bölgesi LFR bölgesinden 0.6 THz değerinde bir frekans ile ayrılmıştır.

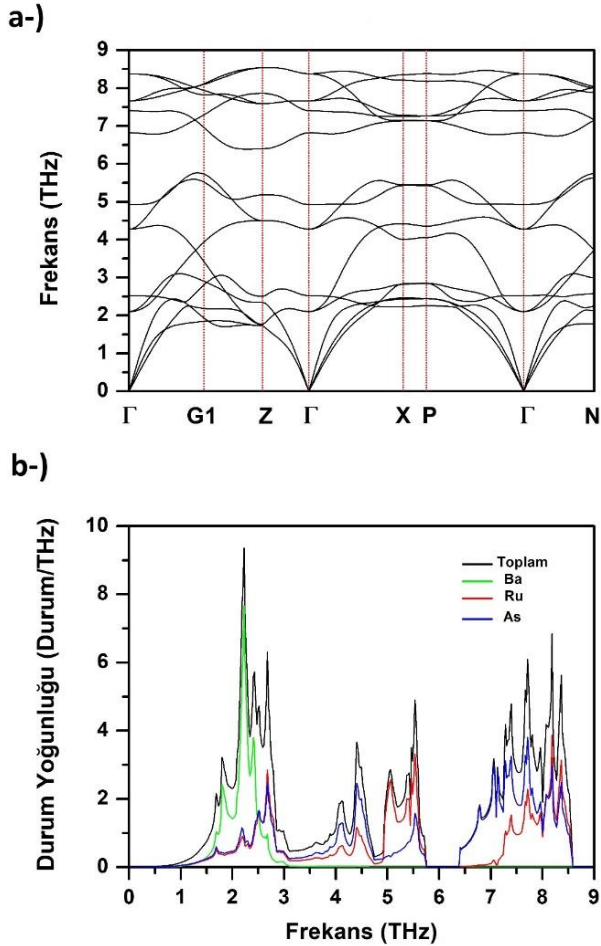
**Tablo 2.** BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin  $\Gamma$  noktasındaki optik modlara ait frekans (THz) ve onlara karşılık gelen elektron-fonon etkileşim parametresi değerleri.

Bileşik	$E_u$	$A_{2u}$	$E_g$	$B_{1g}$	$A_{1g}$	$A_{2u}$	$E_u$	$E_g$
BaRu <sub>2</sub> As <sub>2</sub> ( $\nu$ )	2.102	2.523	4.277	4.926	6.822	7.401	7.663	8.376
BaRu <sub>2</sub> As <sub>2</sub> ( $\lambda$ )	0.019	0.067	0.089	0.042	0.039	0.005	0.004	0.010

LFR bölgesi incelendiğinde bu bölgedeki akustik modlar ile düşük frekanslı optik modların üst üste bindiği gözükmemektedir. Bu üst üste binmenin sonucunda ısı taşıyan fonon modları saçılmakta ve malzemenin elektrik iletkenliğinde azalma olması beklenmektedir. Bu yüzden BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinde fononların termal iletkenliğe katkısı azalmış olabilir. Fonon dispersiyon eğrisini daha iyi anlayabilmek için fonon durum yoğunluğu

özellikleri incelendi. Fonon durum yoğunluğu eğrisi Şekil 4b'de gösterildi. Fonon durum yoğunluğuna 0 ile 3.0 THz arasında değişen frekans bölgesinde en büyük katkı Ba atomlarından kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi Ba atomlarının kütlelerinin diğer atomların kütlelerinden fazla olmasındandır. Ru ve As atomlarının da bu bölgede önemli katkısı bulunmaktadır. Ayrıca bu bölgede Ru ve As

atomlarının hibritleştiği açık bir şekilde görülmektedir. 3.0 THz değerinden daha yüksek frekans bölgesinde Ba atomundan katkı gelmemektedir. 3.0 ile 5.0 THz arasında kalan bölgede fonon durum yoğunluğuna katkı Ru ve As atomlarının hibritleşmesinden kaynaklanmaktadır HFR bölgesinde de ana katkı Ru ile As atomlarının hibritleşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bu frekans bölgesindeki titreşimler  $RuP_4$  tetrahedral yapısından kaynaklanmaktadır.

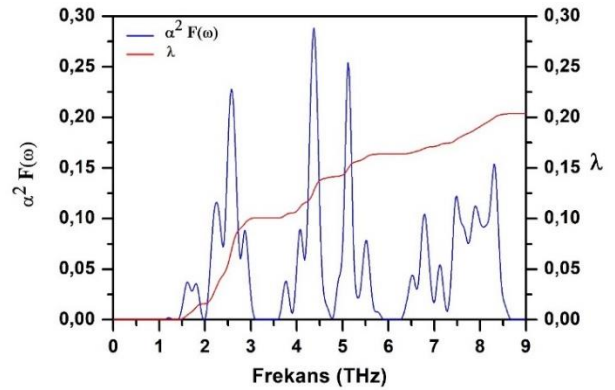


**Şekil 4.**  $BaRu_2As_2$  bileşiği için a-) fonon modlarının farklı yüksek simetri doğrultularında dağılımlarının gösterilmesi b-) atomların katkısına göre fonon durum yoğunluğunun gösterimi.

### 3.4. $BaRu_2As_2$ Bileşiğinin Süperiletkenlik Özellikleri

$BaRu_2As_2$  bileşiği için yapmış olduğumuz hesaplamaların temel amacı  $BaRu_2As_2$  bileşiğinde süperiletkenliğin neden 0.1 K gibi çok düşük sıcaklıklara kadar gözlemlenemediğidir. Bu amacımıza ulaşabilmek için son olarak Eliashberg spektral fonksiyonunu ( $\alpha^2 F(\omega)$ ) ve toplam elektron-fonon etkileşim parametresini ( $\lambda_{acc}$ ) hesapladık.  $BaRu_2As_2$  bileşiği için  $\lambda = 0.21$

olarak bulunmuştur. Bu değer çok küçük çıkması  $BaRu_2As_2$  bileşiğinde elektron-fonon etkileşiminin çok zayıf olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca bu değer çok küçük çıkması  $BaRu_2As_2$  bileşiğinde süperiletkenliğin olmadığını ana göstergesidir. Eliashberg spektral fonksiyonu ve elektron-fonon etkileşim parametresinin frekansa göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Eliashberg spektral fonksiyonu hesaplamalarımıza göre  $\lambda_{acc}$  değerine LFR ve HFR bölgelerinden gelen katkılar sırasıyla %81 ve %19 olarak hesaplanmıştır. Bu sebepten dolayı elektron-fonon etkileşimine ana katkı LFR bölgesindeki fononlar tarafından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ortalama logaritmik frekans ( $\omega_{ln}$ ) değerini 174.24 K olarak hesaplanmıştır. Son olarak süperiletkenlik geçiş sıcaklığı  $T_c$  değeri Allen-Dynes formülünü kullanarak  $T_c = 0.01$  K olarak bulundu. Bizim bu sonucumuz Nath vd. (2009) tarafından yapılan deneysel çalışma ile uyum içindedir. Çünkü Nath vd. (2009)  $BaRu_2As_2$  bileşiğinin sıcaklığa bağlı direnç davranışının süperiletken bileşiklerden ziyade normal metallerin davranışına benzediğini söylemişlerdir.



**Şekil 5.**  $BaRu_2As_2$  bileşiği için Eliashberg spektral fonksiyonu ve elektron-fonon etkileşim parametresinin frekansa göre değişimi.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada  $BaRu_2As_2$  kristalinin yapısal ve elektronik özellikleri DFT'nin GGA ve *ab-initio* düzlem dalga pseudopotansiyel metotları kullanılarak incelendi. İncelemelerde düzlem dalga ve pseudopotansiyel teorilerini baz alan QUANTUM ESPRESSO programı kullanılırken; Perdew vd. (1996) tarafından parametrize edilmiş GGA yaklaşımı değiş-tokuş ve korelasyon etkileşimlerini incelemek için kullanıldı.  $BaRu_2As_2$  bileşiği için yapısal hesaplamalar sonucunda elde edilen yapısal değerler daha önceki deneysel ve teorik değerler ile



karşılaştırıldı. Yapısal hesaplamalarımız sonucu elde ettiğimiz veriler teorik ve deneysel sonuçlarla genel olarak uyum içerisinde. Elektronik yapı incelemeleri kapsamında BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinin enerji bandlarının c-ekseni boyunca dağılımları göz önüne alınarak iki boyutludan ziyade üç boyutlu karakter gösterdiği söylenebilir.

Bu çalışmanın ana amacı BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiğinde süperiletkenliğin neden olmadığını belirlemesidir. Bu nedenle elektron-fonon etkileşimi detaylı bir şekilde incelenmiştir ve süperiletkenlik parametreleri; Fermi seviyesindeki durum yoğunluğu ( $N(E_F)$ ), Eliashberg spektral fonksiyonu ( $\alpha^2F(\omega)$ ) ve elektron-fonon etkileşim parametresi ( $\lambda$ ) tayin edildi. Hesaplamalarımız sonucu ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> yapıya benzer olarak kristalleşen BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> bileşiği için elektron-fonon etkileşim parametresi ( $\lambda$ ) 0.21 olarak bulundu. Hesaplamış olduğumuz elektron-fonon etkileşim parametreleri ve logaritmik ortalama fonon frekans ( $\omega_{ln}$ ) değerlerini kullanarak süperiletkenlik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) 0.01 K olarak belirlendi.

## Kaynaklar

- Anand, V.K., Kim, H., Tanatar, M.A., Prozorov, R. ve Johnston, D.C., 2013. Superconducting and normal-state properties of APd<sub>2</sub>As<sub>2</sub> (A = Ca, Sr, Ba) single crystals. *Physical Review B*, 87, 224510.
- Bağcı, S., Tütüncü, H.M., Duman, S. ve Srivastava, G.P., 2010. Phonons and superconductivity in fcc and dhcp lanthanum. *Physical Review B*, 81, 144507.
- Baroni, S., De Gironcoli, S., Dal Corso, A. ve Giannozzi, P., 2001. Phonons and related crystal properties from density-functional perturbation theory., *Reviews of Modern Physics*, 73, 515.
- Bauer, R., Schmid, A., Pavone, P. ve Strauch, D., 1998. Electron-phonon coupling in the metallic elements Al, Au, Na, and Nb: A first-principles study., *Physical Review B*, 57, 11276.
- Berry, N., Capan, C., Seyfarth, G., Bianchi, A.D., Ziller, J. ve Fisk, Z., 2009. Superconductivity without Fe or Ni in the phosphides BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 79, 180502.
- Eliashberg, G., 1960. Interactions between electrons and lattice vibrations in a superconductor, *Sov. Phys.-JETP (Engl. Transl.)*; (United States), 11, 696.
- Fujii, H. ve Sato, A., 2009. Superconductivity in SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 79, 224522.
- Ghebouli, M.A., Bouhemadou, A., Ghebouli, B., Fatmi, M. ve Bin-Omran, S., 2011. Prediction study of the elastic and thermodynamic properties of the newly discovered tetragonal SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> phase. *Solid State Communications*, 151, 976-981.
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Ceresoli, D., Chiarotti, G.L., Cococcioni, M., Dabo, I., Dal Corso, A., De Gironcoli, S., Fabris, S., Fratesi, G., Gebauer, R., Gerstmann, U., Gougoussis, C., Kokalj, A., Lazzeri, M., Martin-Samos, L., Marzari, N., Mauri, F., Mazzarello, R., Paolini, S., Pasquarello, A., Paulatto, L., Sbraccia, C., Scandolo, S., Sclauzero, G., Seitsonen, A.P., Smogunov, A., Umari, P., Wentzcovitch, R.M., 2009. QUANTUM ESPRESSO: A modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of Physics Condensed Matter*, 21, 395502.
- Hirai, D., Takayama, T., Hashizume, D., Higashinaka, R., Yamamoto, A., Hiroko, A.K. ve Takagi, H., 2010. Superconductivity in 4d and 5d transition metal layered pnictides BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub>, BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and SrIr<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. *Physica C: Superconductivity and Its Applications*, 470, 296-S297.
- Hirai, D., Takayama, T., Higashinaka, R., Aruga-Katori, H. ve Takagi, H., 2009. Superconductivity in Layered Pnictides BaRh<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and BaIr<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Journal of the Physical Society of Japan*, 78, 023706.
- Hirai, D., von Rohr, F. ve Cava, R., 2012. Emergence of superconductivity in BaNi<sub>2</sub>(Ge<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub> at a structural instability. *Physical Review B*, 86, 100505.
- Hull, G.W., Wernick, J.H., Geballe, T.H., Waszczak, J.V. ve Bernardini, J.E., 1981. Superconductivity in the ternary intermetallics YbPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, LaPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, and LaPt<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 24, 6715-6718.
- Hung, T.L., Chen, I.A., Huang, C.H., Lin, C.Y., Chen, C.W., You, Y.B., Jian, S.T., Yang, M.C., Hsu, Y.Y., Ho, J.C., Chen, Y.Y. ve Ku, H.C., 2013. Low Temperature Heat Capacity of Layered Superconductors SrNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> and SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>. *Journal of Low Temperature Physics*, 171, 148-155.
- Jayalakshmi, D.S. ve Sundareswari, M., 2013. Effect of pressure on structural, electronic and bonding properties of CaTM<sub>2</sub>Pn<sub>2</sub> (TM = Ni, Pd; Pn = P, As) compounds: A full potential computational study., *Journal of Alloys and Compounds*, 561, 268-275.
- Jeevan, H., Hossain, Z., Kasinathan, D., Rosner, H., Geibel, C. ve Gegenwart, P., 2008. High-temperature superconductivity in

- Eu<sub>0.5</sub>K<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 78, 092406.
- Jeitschko, W., Glaum, R. ve Boonk, L., 1987. Superconducting LaRu<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and other alkaline earth and rare earth metal ruthenium and osmium phosphides and arsenides with ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> structure. *Journal of Solid State Chemistry*, 69, 93-100.
- Keimes, V., Johrendt, D., Mewis, A., Huhnt, C. ve Schlabit, W., 1997. About polymorphism of SrNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and crystal structure of BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 623, 1699-1704.
- Kim, T.K., Yaresko, A.N., Zabolotnyy, V.B., Kordyuk, A.A., Evtushinsky, D.V., Sung, N.H., Cho, B.K., Samuely, T., Szabó, P., Rodrigo, J.G., Park, J.T., Inosov, D.S., Samuely, P., Büchner, B. ve Borisenko, S.V., 2012. Conventional superconductivity in SrPd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 85, 014520.
- Kittel, C., 2014. *Katı Hal Fiziğine Giriş*, (çev: G. Öngüt, D. Öngüt), Palme Yayınları, ISBN 9780471415268, Ankara, 257s.
- Kohn, W. ve Sham, L.J., 1965. Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical Review*, 140, A1133.
- Liu, A.Y. ve Quong, A.A., 1996. Linear-response calculation of electron-phonon coupling parameters. *Physical Review B*, 53, R7575.
- Lohken, A., Lux, C., Johrendt, D. ve Mewis, A., 2002. Crystal and electronic structures of AlR<sub>2</sub>P<sub>2</sub> (A : Ca-Ba). *Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 628, 1472-1476.
- Miclea, C.F., Nicklas, M., Jeevan, H.S., Kasinathan, D., Hossain, Z., Rosner, H., Gegenwart, P., Geibel, C. ve Steglich, F., 2009. Evidence for a reentrant superconducting state in EuFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> under pressure. *Physical Review B*, 79, 212509.
- Migdal, A. 1958. Interaction between electrons and lattice vibrations in a normal metal, *Sov. Phys. JETP*, 7, 996-1001.
- Mine, T., Yanagi, H., Kamiya, T., Kamihara, Y., Hirano, M. ve Hosono, H., 2008. Nickel-based phosphide superconductor with infinite-layer structure, BaNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Solid State Communications*, 147, 111-113.
- Moll, P.J.W., Kanter, J., McDonald, R.D., Balakirev, F., Blaha, P., Schwarz, K., Bukowski, Z., Zhigadlo, N.D., Katrych, S., Mattenberger, K., Karpinski, J. ve Batlogg, B., 2011. Quantum oscillations of the superconductor LaRu<sub>2</sub>P<sub>2</sub>: Comparable mass enhancement  $\lambda \approx 1$  in Ru and Fe phosphides, *Physical Review B*, 84, 224507
- Monkhorst, H.J. ve Pack, J.D., 1976. Special points for Brillouin-zone integrations., *Physical Review B*, 13, 5188.
- Murnaghan, F., 1944. The compressibility of media under extreme pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 30, 244-247.
- Nagarajan, R., Sampathkumaran, E.V., Gupta, L.C., Vijayaraghavan, R., Prabhawalkar, V., Bhaktidarshan ve Padalia, B.D., 1981. Mössbauer and x-ray absorption spectroscopic measurements on the new mixed-valence system EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Physics Letters A*, 84, 275-277.
- Nath, R., Singh, Y. ve Johnston, D., 2009. Magnetic, thermal, and transport properties of layered arsenides BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> and SrRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 79, 174513.
- Perdew, J.P., Burke, K. ve Ernzerhof, M., 1996. Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*, 77, 3865.
- Rappe, A.M., Rabe, K.M., Kaxiras, E. ve Joannopoulos, J., 1990. Optimized pseudopotentials, *Physical Review B*, 41, 1227.
- Razzoli, E., Kobayashi, M., Strocov, V.N., Delley, B., Bukowski, Z., Karpinski, J., Plumb, N.C., Radovic, M., Chang, J., Schmitt, T., Patthey, L., Mesot, J. ve Shi, M., 2012. Bulk Electronic Structure of Superconducting LaRu<sub>2</sub>P<sub>2</sub> Single Crystals Measured by Soft-X-Ray Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy. *Physical Review Letters*, 108, 257005.
- Reehuis, M., Jeitschko, W., Möller, M.H. ve Brown, P.J., 1992. A Neutron diffraction study of the magnetic structure of EuCo<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 53, 687-690.
- Ronning, F., Bauer, E.D., Park, T., Baek, S.H., Sakai, H. ve Thompson, J.D., 2009. Superconductivity and the effects of pressure and structure in single-crystalline SrNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 79, 134507.
- Ronning, F., Kurita, N., Bauer, E.D., Scott, B.L., Park, T., Klimczuk, T., Movshovich, R. ve Thompson, J.D., 2008. The first order phase transition and superconductivity in BaNi<sub>2</sub>As<sub>2</sub> single crystals. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 20, 342203.
- Rotter, M., Tegel, M. ve Johrendt, D., 2008. Superconductivity at 38 K in the iron arsenide (Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. *Physical Review Letters*, 101, 107006.
- Sampathkumaran, E.V., Wortmann, G. ve Kaindl, G., 1986. Valence state of Eu in Eu<sub>0.05</sub>Y<sub>0.95</sub>Ni<sub>2</sub>P<sub>2</sub> and Eu<sub>0.05</sub>Y<sub>0.95</sub>Pd<sub>2</sub>P<sub>2</sub>. *Journal of*

- Magnetism and Magnetic Materials, 54–57, 347-348.
- Samuely, T., Szabó, P., Rodrigo, J.G., Sung, N.H., Cho, B.K. ve Samuely, P., 2013. Magnetic Pair Breaking in Superconducting  $\text{SrPd}_2\text{Ge}_2$  Investigated by Scanning Tunneling Spectroscopy. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 26, 1199-1203.
- Schaak, R.E. ve Cava, R.J., 2004. Boron substitution in ternary metal phosphide superconductors. *Materials Research Bulletin*, 39, 1231-1235.
- Sefat, A.S., Jin, R., McGuire, M.A., Sales, B.C., Singh, D.J. ve Mandrus, D., 2008. Superconductivity at 22 K in Co-doped  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  crystals. *Physical Review Letters*, 101, 117004.
- Shan, L., Gong, J., Wang, Y.L., Shen, B., Hou, X., Ren, C., Li, C., Yang, H., Wen, H.H. ve Li, S., 2012. Evidence of a spin resonance mode in the iron-based superconductor  $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$  from scanning tunneling spectroscopy. *Physical Review Letters*, 108, 227002.
- Shein, I. ve Ivanovskii, A. 2010. Band structure of new layered arsenides  $\text{SrRu}_2\text{As}_2$  and  $\text{BaRu}_2\text{As}_2$ , *Physics of the Solid State*, 52, 6-11.
- Shein, I. ve Ivanovskii, A., 2009a. Structural, electronic properties and intra-atomic bonding in new  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$ -like arsenides  $\text{SrRu}_2\text{As}_2$ ,  $\text{BaRu}_2\text{As}_2$ ,  $\text{SrRh}_2\text{As}_2$  and  $\text{BaRh}_2\text{As}_2$  from first principles calculations. *Solid State Communications*, 149, 1860-1865.
- Shein, I.R. ve Ivanovskii, A.L., 2009b. Electronic and structural properties of low-temperature superconductors and ternary pnictides  $\text{ANi}_2\text{Pn}_2$  ( $A=\text{Sr}, \text{Ba}$  and  $\text{Pn}=\text{P}, \text{As}$ ). *Physical Review B*, 79, 054510.
- Shein, I.R. ve Ivanovskii, A.L., 2011. Electronic band structure and Fermi surface of new 3.7 K superconductor  $\text{LiCu}_2\text{P}_2$  from first-principles calculations. *Physica C: Superconductivity*, 471, 226-228.
- Shein, I.R., Skornyakov, S.L., Anisimov, V.I. ve Ivanovskii, A.L., 2014. Elastic and Electronic Properties of Superconducting  $\text{CaPd}_2\text{As}_2$  and  $\text{SrPd}_2\text{As}_2$  vs. Non-superconducting  $\text{BaPd}_2\text{As}_2$ . *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 27, 155-161.
- Sung, N., Rhyee, J.S. ve Cho, B. 2011. Superconductivity and anomalous transport in  $\text{SrPd}_2\text{Ge}_2$  single crystals. *Physical Review B*, 83, 094511.
- Tomioka, Y., Ishida, S., Nakajima, M., Ito, T., Kito, H., Iyo, A., Eisaki, H. ve Uchida, S., 2009. Three-dimensional nature of normal and superconducting states in  $\text{BaNi}_2\text{P}_2$  single crystals with the  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$ -type structure., *Physical Review B*, 79, 132506.
- Torikachvili, M.S., Bud'ko, S.L., Ni, N. ve Canfield, P.C., 2008. Pressure induced superconductivity in  $\text{CaFe}_2\text{As}_2$ , *Physical Review Letters*, 101, 057006.
- Tütüncü, H.M, Bağcı, S. ve Srivastava, G.P., 2010. Electronic structure, phonons, and electron-phonon interaction in  $\text{Mo}_3\text{Si}$ . *Physical Review B*, 82, 214510.
- Tütüncü, H.M., Bağcı, S., Srivastava, G.P. ve Akbulut, A., 2012. Electrons, phonons and superconductivity in rocksalt and tungsten-carbide phases of CrC. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 24, 455704.
- Vanderbilt, D., 1990. Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism., *Physical Review B*, 41, 7892.
- Wang, J.W., Chen, I.A., Hung, T.L., You, Y.B., Ku, H.C., Hsu, Y.Y., Ho, J.C. ve Chen, Y.Y., 2012. Superconductivity and structural variation of the electron-correlated layer systems  $\text{Sr}(\text{Pd}_{1-x}\text{T}_x)_2\text{Ge}_2$  ( $T = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Rh}$ ;  $0 \leq x \leq 1$ ). *Physical Review B*, 85, 024538.
- Weber, F., Rosenkranz, S., Pintschovius, L., Castellan, J.P., Osborn, R., Reichardt, W., Heid, R., Bohnen, K.P., Goremychkin, E.A., Kreyssig, A., Hradil, K. ve Abernathy, D.L., 2012. Electron-phonon coupling in the conventional superconductor  $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$  at high phonon energies studied by time-of-flight neutron spectroscopy. *Physical Review Letters*, 109, 057001.
- Wurth, A., Johrendt, D., Mewis, A., Huhnt, C., Michels, G., Roepke, M. ve Schlabitz, W., 1997. About the effect of temperature, pressure, and substitution on the crystal structure of  $\text{ARh}_2\text{P}_2$  ( $A = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Eu}, \text{Ba}$ ). *Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 623, 1418-1424.
- Ying, J., Yan, Y., Liu, R., Wang, X., Wang, A., Zhang, M., Xiang, Z. ve Chen, X., 2010. Isotropic superconductivity in  $\text{LaRu}_2\text{P}_2$  with the  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$ -type structure. *Superconductor Science and Technology*, 23, 115009.

## An Assessment of Real-World Driving Emissions and Fuel Consumption of a Diesel Bus with Using a Portable Emissions and Fuel Consumption Measurement System: İstanbul Bus Rapid Transit-Metrobus

*Portatif Emisyon ve Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi Kullanılarak Bir Dizel Otobüsün Gerçek Dünya Sürüş Emisyonları ve Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi: İstanbul Otobüs Hızlı Ulaşımı – Metrobus*

**Orkun ÖZENER\***

*Yıldız Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Automotive Sciences Subdivision, 34349, İstanbul*

• Geliş tarihi / Received: 14.09.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 20.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 30.04.2019

### Abstract

Pollutants from combustion engine powered public transportation are showing great importance in terms of air quality, human being health and also the global warming. The amount of fuel consumed during transportation is another factor that should be taken in to account because of economic aspects. In this context, a part of one of the world's biggest public transportation axle – İstanbul Metrobus public transportation system – which is using a dedicated line is analyzed via using on board emission measurement system and onboard fuel consumption metering devices. The relevant controller area network data was collected during cruises. The fuel consumption and emissions results are analyzed regarding to cruise statistical data, driving modes, road gradient and vehicle specific power data and per passenger statistic. A strong correlation between vehicle specific power and fuel consumption and emissions is shown. The effect of acceleration and velocity are analyzed. Fuel consumption and emission data obtained regarding to the topography indicated that, topography should be used with vehicle properties in public transportation planning. Also it was evaluated that the portable emission measurement systems and mobile fuel consumption measurements can be a part of engine calibration development for environmentally friendly and economic public transportation.

**Keywords:** Driving modes, Fuel consumption, Real driving emissions, Road grade, Vehicle specific power

### Öz

*İçten yanmalı motorlarla tahrik edilen toplu taşıma kaynaklı emisyonlar hava kirliliği, insan sağlığı ve küresel ısınma açısından oldukça önem arz etmektedir. Toplu taşıma esnasında tüketilen yakıt miktarı özellikle ekonomiklik anlamında dikkate alınması gereken diğer bir faktördür. Bu doğrultuda dünya toplu taşıma sisteminin önemli taşıma akslarından biri olan ve kendine ayrılmış özel bir hat kullanan İstanbul Metrobus Taşıma Sisteminin bir kısmı araç üstü portatif emisyon ve yakıt tüketimi ölçüm cihazları kullanılarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tüm çalışma boyunca yolcu otobüslerinin elektronik kontrol ağı üzerindeki gerekli veriler de paralel olarak toplanmıştır. Sonrasında yakıt tüketimi ve emisyon verileri, seyirlerin istatistik verileri, sürüş modları, yol eğimi ve araç özgül gücü anlamında değerlendirilmiştir. Çalışmada yapılan analizlerle taşıt özgül gücü ile yakıt tüketimi ve emisyonlar arasında güçlü bir korelasyon olduğu gösterilmiştir. İvmenin ve taşıt hızının yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerine etkileri irdelenmiştir. Topoğrafyaya bağlı elde edilen yakıt tüketimi ve emisyon verileri, toplu taşıma planlamasında topoğrafya verilerinin araç özellikleri ile birlikte kullanımının gerekliliğini ortaya koymuştur. Yapılan analizler neticesinde araç üstü portatif emisyon ölçüm sistemleri ve mobil yakıt tüketimi ölçüm cihazlarının daha çevreci ve ekonomik toplu taşıma için motor kalibrasyon proseslerinin bir parçası olabileceği değerlendirilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Sürüş modları, Yakıt tüketimi, Gerçek sürüş emisyonları, Yol eğimi, Taşıt özgül gücü

\* Orkun ÖZENER; oozener@yildiz.edu.tr; Tel: (0532) 706 83 66; orcid.org/0000-0001-9168-5161

## 1. Introduction

Pollutants produced from internal combustion engines which are the main power of the vehicles are showing a great interest for scientific and industrial community researchers for long years. They are showing importance in terms of air quality, human being health and also the global warming. The emission from internal combustion engine powered vehicles were restricted with the regulations that is based on laboratory based measurements for a long time. The driving cycles are developed for light duty vehicles and applied on chassis dynamometer tests and emissions in g/km based are assessed (Duarte et al., 2016). For heavy duty vehicles the engine rotation per minute (rpm) and engine load trajectory of these cycles are applied on engine dynamometer tests and the results are evaluated in terms of g/kWh (Myung et al., 2013). Then it was noted that, on real driving conditions pollutants measured are exceeding the emission measured in laboratory conditions and real driving emissions (RDE) testing and legislations are introduced for vehicles (URL-1, 2017, URL-2, 2018). The RDE is important to reduce the gap between type-approval emissions results and those in the real-world so that vehicles driving on the public roads deliver low emissions as is meant by the legislation. With the introducing of RDE the real road conditions itself become a new environment for testing. The modern laboratory test facilities used for type approval are designed for lessening the effect of all possible external influences, so their reproducibility rates are very high. On the other hand, comparing with these laboratory conditions the real life testing would be never 100% reproducible. The road gradient, traffic and ambient conditions as well as the characteristics of the driver will influence the results significantly. So the statistical methods and graphs are used frequently for analyzing the results.

The greenhouse gas emissions of the EU transport activity increased by 13.3% from 1990 to 2014 and they are now the second-largest source of emissions after the energy sector (Andrés and Padilla, 2018). Hence the European Union (EU) is planning to decrease emissions from road transportation to its half to the year 2050. Also the Euro VI emission regulation foresees a huge reduction in both, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), and particulate matter (PM). The limits for NO<sub>x</sub> reduced 80% and 77% for steady state testing and transient testing respectively. Also the limit for PM limits reduced 50% and 66

for steady state testing and transient testing respectively too. Also at the latest phase of Euro VI regulation presented the requirements for checking and demonstrating the conformity of in-service (ISC) engines and vehicles using Portable Emission Measurement Systems (PEMS) (ICCT, 2016). The EU Regulation 582/2011 (Annex II) provides detailed description of the requirements for the operating compliance evaluation for engines or vehicles.

In this context, the public transportation which using intracity lines during its operation is showing a great importance where there are large concentrations of people is living. The EU share of busses in all the heavy duty vehicle (HDV) fleet is 11% while the predicted total fuel consumption accounts 15% of the total fuel consumption of all HDVs (Merkisz and Rymaniak, 2017). Today, the propulsion technologies used in the bus sector are highly diversified. But the 2013 EU bus fleet breakdown shows that 79% of the fleet is still propelled with diesel fuel combustion engines (UITP, 2014).

There is an extended literature about RDE published especially at last 15 years. Yu and Li (2014) studied on RDE generated near the bus stops, they proposed that 20% of the pollutants was emitted near bus stops, and 30% at road intersection segments and 50% at the links. Joumard et al. (2003) studied the vehicle load relationship with RDE with using average speed and load term. They found that the emissions are generated like an U shape curve regarding to the average speed and also the increase at loading is resulted as decrease in real driving CO, HC and PM emissions while the opposite effect is found for real driving NO<sub>x</sub> emission and real driving CO<sub>2</sub>. Zhang et al. (2016) worked on RDE of heavy duty vehicles. They showed the emission levels in acceleration conditions was significantly higher than of deceleration conditions. They explained this phenomenon with the sudden acceleration demands results with incomplete combustion so the greater emission rates. They also found that gaseous emissions are increasing with the increase of Vehicle Specific Power (VSP). Choudhary and Gokhale (2016) studied emissions, the emissions from vehicles during peak and off-peak hours. They found sharp increases in acceleration and deceleration are the main cause of the generated emissions. Yao et al. (2013) studied statistical vehicle specific power profiling at urban freeways. They proposed that the grade and speed is important in vehicle specific power profiling. Mendoza-Villafuerte et

al. (2017) carried a comprehensive research on real time emissions, they found that the highest real driving NO<sub>x</sub> emissions were measured during urban operation which is of great concern for urban air quality. They also concluded the cold start emission share for NO<sub>x</sub> is considerably high. Hao et al. (2017) developed a model using a RDE database to predict low speed vehicles, Lujan et al. (2018) studied on-board gaseous emissions measurements from a Euro 6 light-duty diesel vehicle, they confirmed that lower speed with higher rate of acceleration and deceleration lead to higher real driving NO<sub>x</sub> emissions compared to higher speeds. Wang et al. (2011) made RDE measurements with Beijing Busses. They found that all factors both for fuel and emissions are all decreased when the vehicle speed is increased. They also concluded that when the acceleration is increased the factors are also increased and the effect of deceleration was found less significant. Lastly they reported a strong correlation between the emissions, fuel consumption and VSP.

In this context, one of the world biggest transportation axle, Istanbul's most important public transportation line – Metrobus Line, named as first intercontinental bus rapid transit by Alpkokin and Ergun (2012) – was chosen as the research area for identifying RDE from compression ignition (CI) engines that is used public transportation area. Metrobus Line is a dedicated transit bus line which crosses the İstanbul city from Asia to Europe (Çakır and Akbayır 2017). Its length is about 52 kilometers totally and there is more than 550 busses in 24h service. The line enables mass transit transport ~ 1 Million passenger daily between two continents. The real public bus used in this research. The test bus is equipped with portable emission measurement devices (PEMS) for collecting RDE

data, and portable fuel consumption meter (PFCM) for collecting fuel consumption data and a controller area network (CAN) logger that is connected to bus electronic network for collecting the relevant data. Then the analyses regarding to driving modes and vehicle specific power were carried with collected data and alternative scenarios for decreasing emissions and fuel consumption are discussed.

## 2. Methods

### 2.1 Measurement System

A Euro 5 public bus which is powered by a diesel engine was used for measurements. The vehicle properties are given at Table 1. The fuel consumption measurements were made with AVL KMA Mobile instrument. For real driving carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and emission (NO<sub>x</sub>, CO, Soot) measurements the AVL MOVE system was used. The properties of measurement system and the methods that devices for measuring and accuracies are given at Table 2. The position of the vehicle was monitored at 2 Hz GPS equipment. The actual torque, accelerator pedal position, gear, and wheel based vehicle speed data was logged with CAN logger device. The measurement system and its configuration are presented in Figure 1.

**Table 1.** Properties of vehicle and engine

Vehicle Weight	32 tones
Type of bus	Articulated
Length of Vehicle	18 m
Number of cylinders	6
Engine capacity	11.9 liters
Power	@2000 rpm - 260kW
Torque	@1100rpm- 1600Nm
Compression Ratio	17.75:1

**Table 2.** Properties of measurement system

System	Device	Method	Accuracy
Fuel Consumption	KMA Mobile-AVL	Rotational type servo positive displacement flowmeter (PLU)	±0.1%
Emission	Gas PEMS-AVL	NO → UV-RAS <sup>i</sup>	± 0.2%
		NO <sub>2</sub> → NDUV <sup>i</sup>	± 0.2%
		O <sub>2</sub> → Oxygen Sensor	± 1%
		CO → NDIR <sup>ii</sup>	± 30ppm
Emission	PM Pems-AVL	CO <sub>2</sub> → NDIR	± 0.1%
		Soot → Photoacoustics	~ 5 µg/m <sup>3</sup>

<sup>i</sup>NDUV : Non Dispersive Ultraviolet

<sup>ii</sup>NDIR : Non Dispersive Infrared

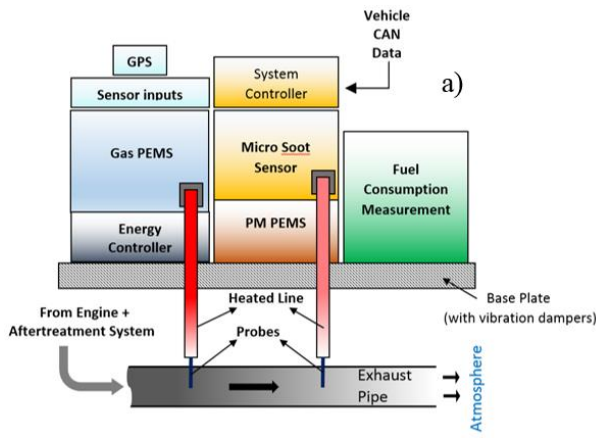


Figure 1. a) Test system layout and b) Test system set-up

### 2.2 Test Route and Vehicle Load

The Metrobus line is consisting of 3 main parts. First part is Söğütluçeşme to Zincirlikuyu direction it includes 8 stations and the length is 11 km. The second part is Zincirlikuyu to Avcılar direction. It is the longest part with 29 km length and 25 stations. The last part is Avcılar to Beylikdüzü direction. The length of this part is 16 km and the number of stations is 12. The tests for this research was carried on Avcılar (A) to Beylikdüzü (B) direction (AB) which is called 34B route by İstanbul Public Transportation Company (IETT). The reason of choosing this part of the line is, this part has the maximum altitude change (173 meters) during in its operation. It enables to evaluate the interaction between altitude change, RDE, fuel consumption and other operating parameters. The test route is given Figure 2. For simulating the passenger weight, the vehicle is loaded with 13 tons of sandbag which is the maximum allowable capacity of the bus. This payload condition is called as full load (FL) herein after.

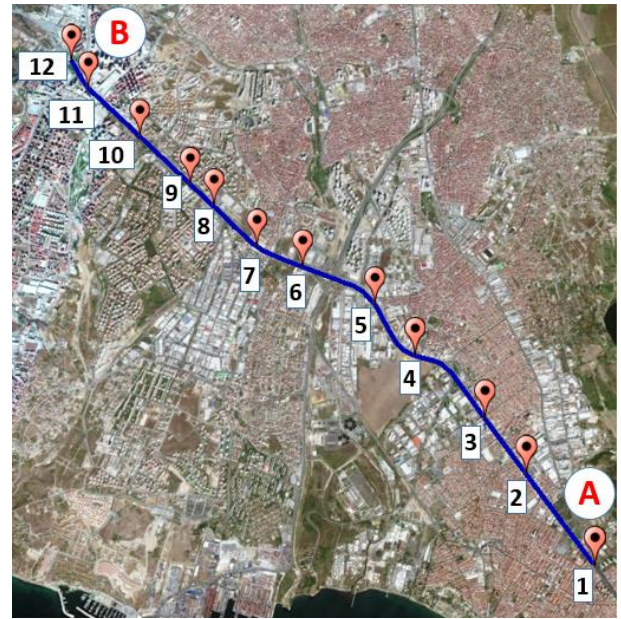


Figure 2. Google Earth image of test route

### 2.3 Vehicle Specific Power Identification

Vehicle specific power (VSP) is a term that is representing instantaneous power per unit mass of vehicle. It was developed by Jimenez-Palacios (1999). The idea is using the generated power by the engine to overcome rolling resistance and aerodynamic drag and to increase the kinetic and potential energies of the vehicle. The used unit for VSP is kilowatt / Tones (kW/T). The formula is given as;

$$VSP = \frac{Power}{Mass} = \frac{F_t}{m} = \frac{(F_r + F_w + F_g + F_a) v}{m} \quad (1)$$

where, “ $F_r$ ” is representing rolling resistance, “ $F_w$ ” is representing wind resistance, “ $F_g$ ” representing gradient resistance and “ $F_a$ ” is representing the acceleration resistance

$$VSP = \frac{(mgf \cos\alpha + 0.5 \rho_a C_d A (v + v_m)^2 + mg \sin\alpha + (1 + \epsilon_i).m.a) v}{m} \quad (2)$$

where “ $m$ ” is the total net mass with passenger and all loads (kg), “ $g$ ” is gravity -9.81 m/s<sup>2</sup>, “ $f$ ” is dimensionless rolling resistance coefficient (0.00938), “ $\alpha$ ” is gradient angle, “ $\rho_a$ ” air density 1.226 kg/m<sup>3</sup>, “ $C_d$ ” is dimensionless coefficient of aerodynamic drag (0.6), “ $A$ ” aerodynamic reference frontal area (7 m<sup>2</sup>), “ $v_m$ ” is the crosswind heading to the bus assumed as (0 m/s) “ $a$ ” acceleration of the bus (m/s<sup>2</sup>), “ $\epsilon_i$ ” dimensionless mass factor (0.1) (Yu et al. 2016) and “ $v$ ” is the vehicle speed (m/s). The simplified version of correlation is given in equation 3.

$$VSP = v [ g f + g \sin \alpha + (1 + \varepsilon_i) \cdot a ] + 0.5 \rho_a \frac{c_d A}{m} (v + v_m)^2 v \quad (3)$$

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Effect of Altitude Change

The fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> and emission changes with the altitude for AB and BA direction at FL condition is given in Figure 3 a-e. It can be seen from the figure the fuel consumption rates at AB direction is higher than the BA direction which can be explained with a high altitude change. It is also obvious that for BA direction trips the fuel consumption is becoming

frequently at very low rates which is because of fuel cut off strategy of bus engine control system which is a reason of downhill characteristics of BA direction. The same behavior can be easily detected for real driving CO<sub>2</sub> which the characteristics are similar with fuel consumption. The real driving NO<sub>x</sub>, CO and soot emission rates are also exhibiting same behavior, but the amount of gaseous and both particulates seems to be higher especially at takeoffs from stations which is followed by an acceleration section to reach the cruising speed. The results are quite harmonious with the research that was made by Prati et al. (2015).

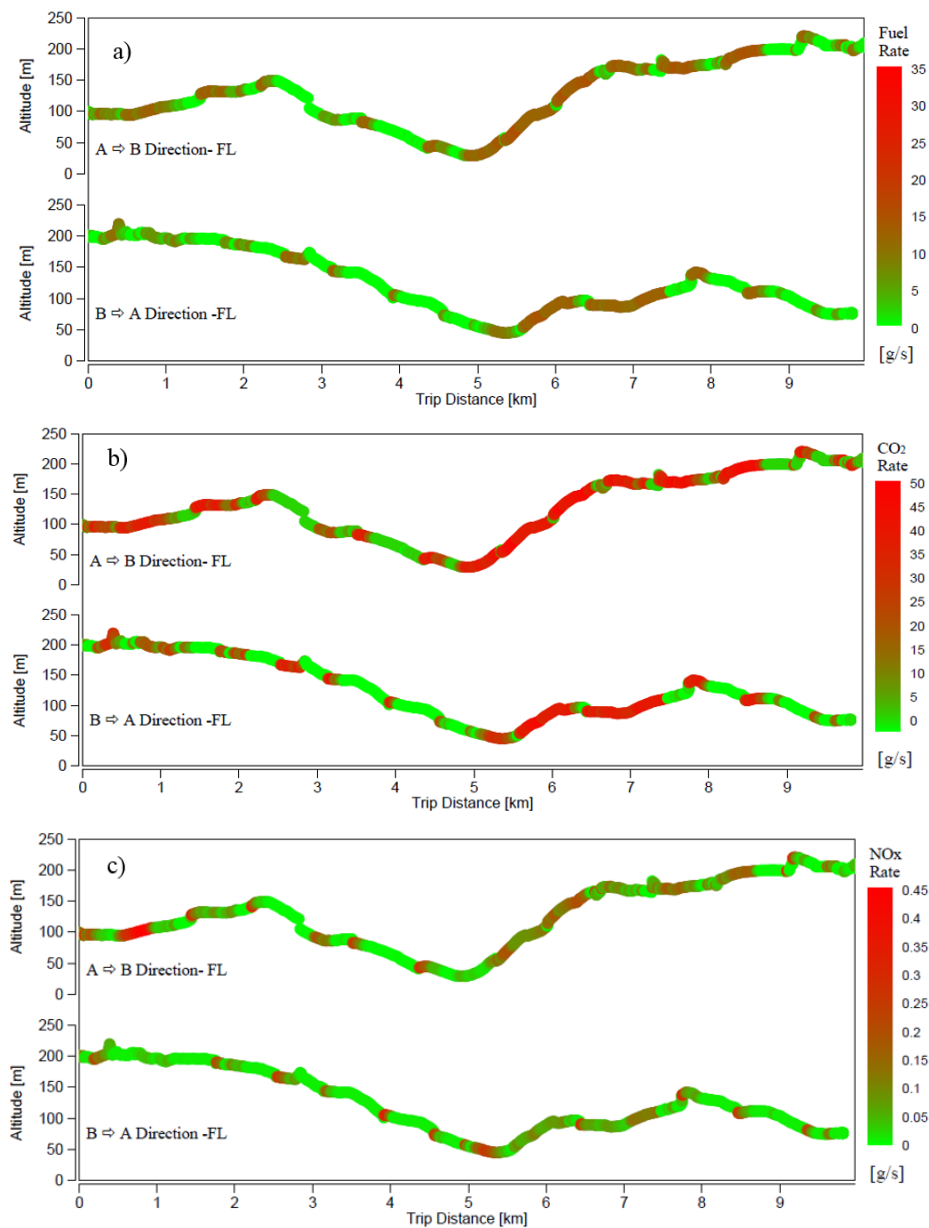
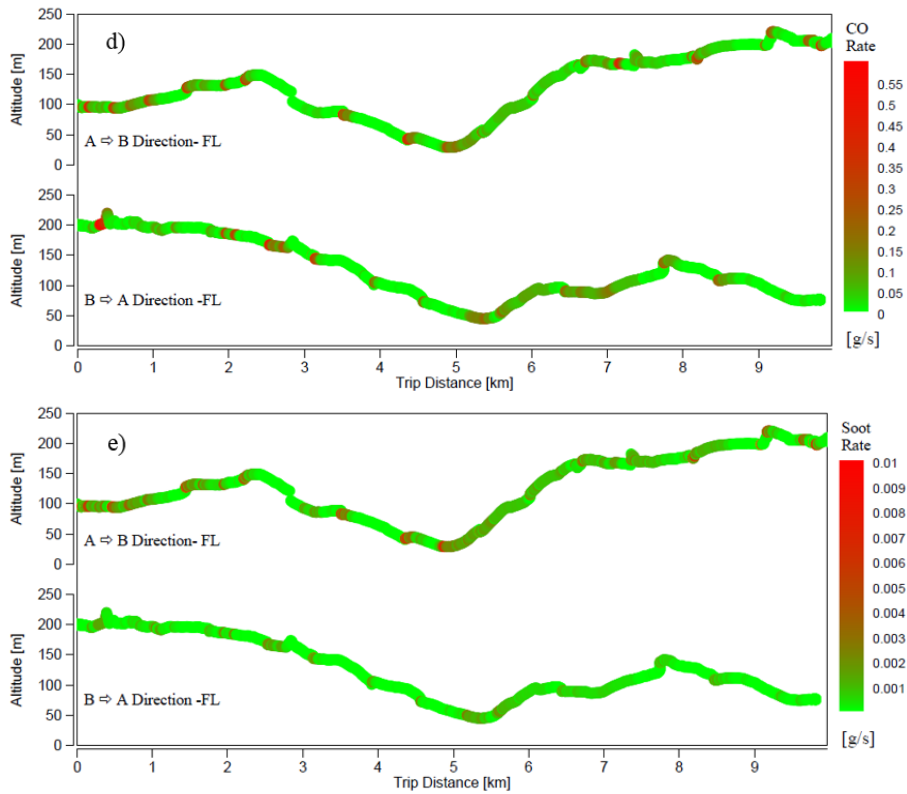


Figure 3 Continued



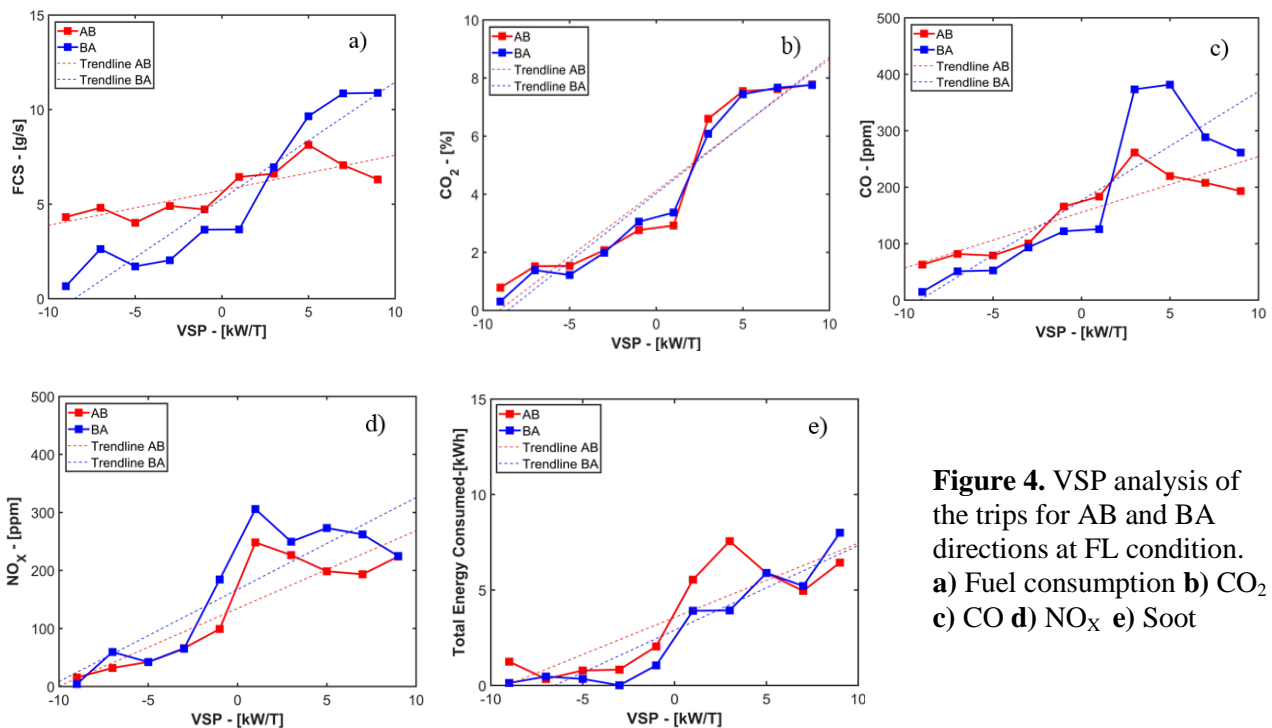


**Figure 3.** Fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> and emission rates in mass basis (g/s) regarding to altitude. a) Fuel rate change b) CO<sub>2</sub> rate change c) NO<sub>x</sub> rate change d) CO rate change e) Soot rate change

### 3.2 Vehicle Specific Power (VSP) Analysis

As it is indicated VSP definition is presenting the power demand of the engine per unit vehicle mass. The VSP analysis, calculated with the

method given section 2.3 for fuel consumption, gaseous emissions and total energy consumed regarding to VSP modes at AB and BA direction FL conditions are given in Figure 4 a-e.

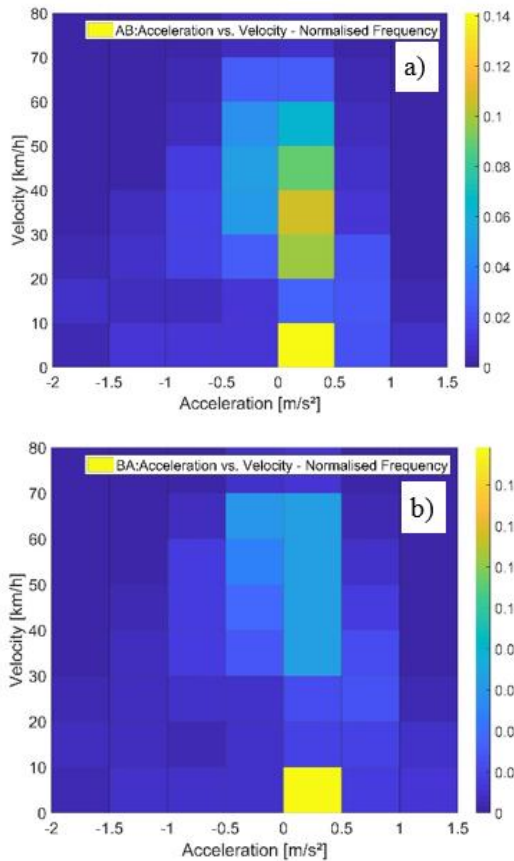


**Figure 4.** VSP analysis of the trips for AB and BA directions at FL condition. a) Fuel consumption b) CO<sub>2</sub> c) CO d) NO<sub>x</sub> e) Soot

The results are binned for VSP groups and then the binning groups are averaged for fuel consumption (FCS), real driving CO<sub>2</sub> and emissions. For total energy consumption the cumulative of these bins are used. It is obvious from the Figure 4 that the measured emissions in kw/T is increasing with the increase of VSP and when the VSP is becoming lower than zero both fuel consumption and emissions are lowered considerably. Same trend was observed for total energy consumption. Thus this results shows that there is strong correlation with fuel consumption and emissions (Wang et al., 2011).

### 3.3 Driving Mode Analysis

For driving modes analysis the vehicle velocity and acceleration level bin distributions are analyzed at first. The normalized results for AB and BA direction at FL condition for all three test of this research are given in Figure 5. As it's seen from the figure the acceleration level between 0 and 0.5 m/s<sup>2</sup> is the zone which has the highest frequency for all velocity zones. The highest frequency is realized at speeds between 0-10 km/h at 0-0,5 m/s<sup>2</sup> which the rates is accounts nearly 15% percent for all loading conditions.



**Figure 5.** Velocity acceleration distributions. a) AB Direction b) BA Direction

In this context the velocity/speed and acceleration are divided in to modes for analyzing the effect of driving modes on both fuel consumption and emissions. The speed modes (SPM) are identified as with 10 km/h increments starting from stop conditions. Also the acceleration levels are divided with 0.5 m/s<sup>2</sup> increments acceleration modes (ACM) are identified. Identified modes detail is given Table 3 and Table 4.

**Table 3.** Speed modes

MODE	Speed Modes							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Upper Limit (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80
Lower Limit (km/h)	0	10	20	30	40	50	60	70

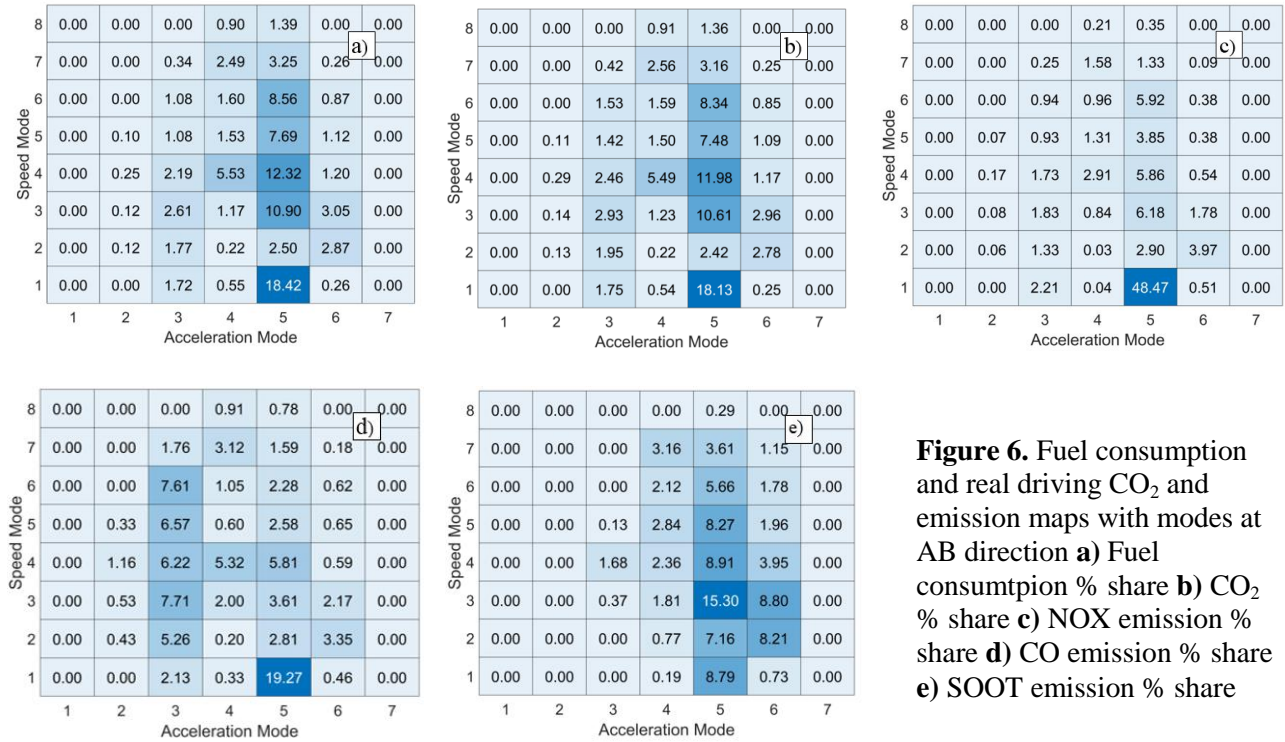
**Table 4.** Acceleration modes

MODE	Acceleration Modes						
	1	2	3	4	5	6	7
Upper Limit (m/s <sup>2</sup> )	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5
Lower Limit (m/s <sup>2</sup> )	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1

The fuel consumption, real driving CO<sub>2</sub> and emissions in mass basis shares (*fuel consumption at this mode / total fuel consumption x 100 - real driving CO<sub>2</sub> at this mode / total real driving CO<sub>2</sub> mass- emission mass at this mode / total emission mass x 100*) are analyzed regarding to these speed and acceleration. The results for AB direction at FL condition % shares are shown in Figure 6. As it seen from the figures the critical mode is ACM5 combined with SPM1 which the highest share of emissions are emitted in this region compared to the cumulative value. Also the negative ACM modes (ACM1-ACM4) cannot be neglected considering to the shares. Which it should be can be taken under control with changing driving style and modifying the engine control strategy if possible. For fuel consumption, real driving CO<sub>2</sub> and real driving soot emissions the SPM3 to SPM6 was found critical additional to SPM1 at ACM5 condition. For real driving CO emissions the negative acceleration modes ACM3 and ACM4 was found critical. It is explained with insufficient in cylinder mixture formation during deceleration phases. For real driving NO<sub>x</sub>

emissions as it seen from Figure 6-c, ACM5 +SPM1 mode is dominating the share. Nearly half of the NO<sub>x</sub> emission was emitted as this region. Which can be attributed to insufficient NO<sub>x</sub> control strategy of the engine at this condition

which usually encountered take offs from the stations. It can be concluded as the emitted NO<sub>x</sub> from cylinder remains at a higher level that that SCR can convert at this operating regime.



**Figure 6.** Fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> and emission maps with modes at AB direction **a)** Fuel consumption % share **b)** CO<sub>2</sub> % share **c)** NO<sub>x</sub> emission % share **d)** CO emission % share **e)** SOOT emission % share

### 3.3 Fuel Consumption and Real Driving CO<sub>2</sub> and Emissions Contour Analysis

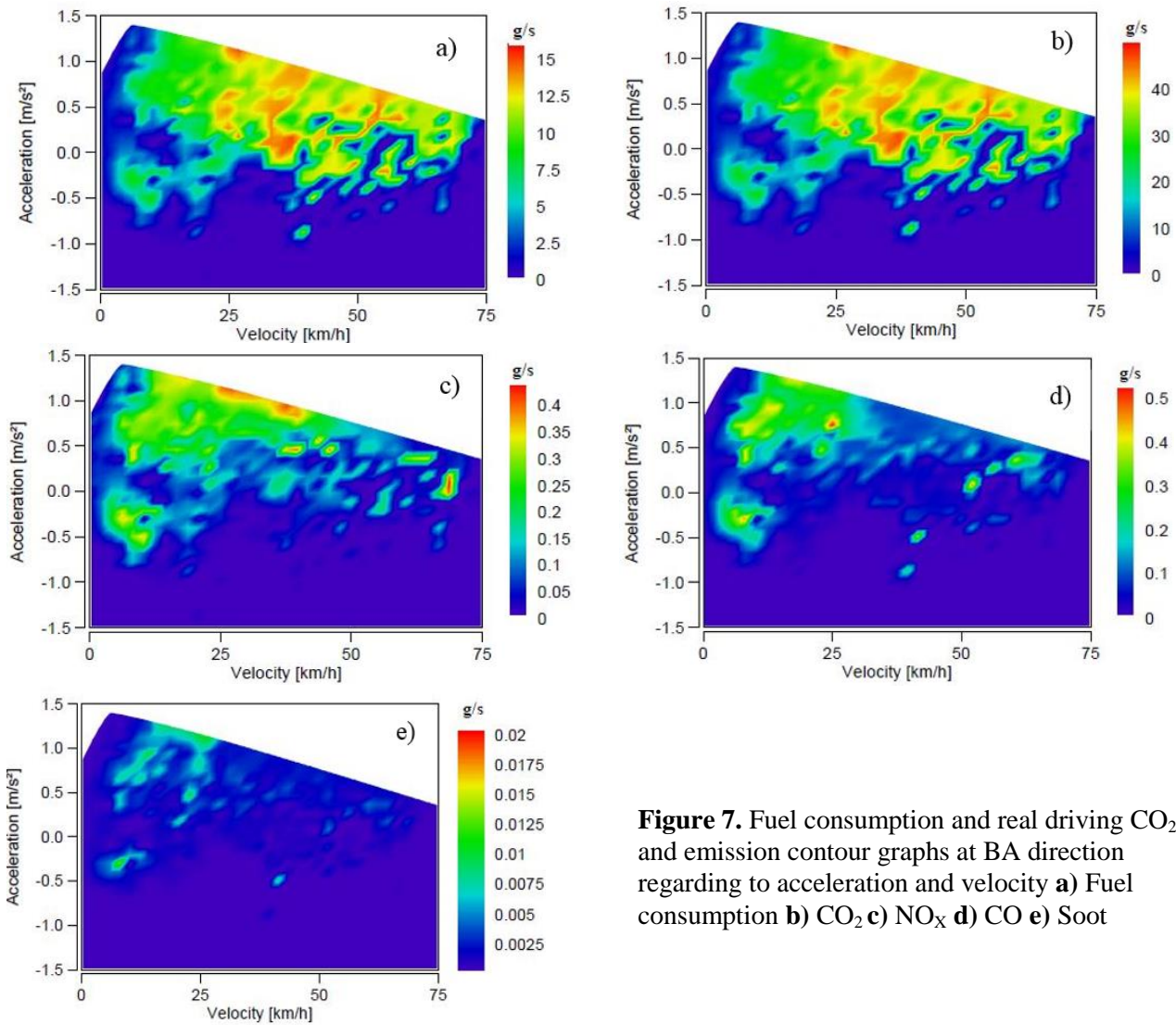
For analyzing the characteristics of the fuel consumption, real driving CO<sub>2</sub> and emissions with an extended perspective the time based mass basis (g/s) contour graphs regarding to acceleration and velocity is given in Figure 7 for BA direction FL condition. As it is seen from the graphics the positive acceleration zones are playing an important role for both fuel consumption and emissions. The fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> reaches their top level after 25 km/h hour positive acceleration zones which can be explained with a higher power demand at this region. For real driving NO<sub>x</sub> emissions the critical values are accelerations over 0.5 m/s<sup>2</sup>, and velocities between 10-40 km/h. This can be explained very high power demand and higher in cylinder temperatures and insufficient NO<sub>x</sub> after treatment strategy of the engine at this operating zone. Also a negative acceleration zone was found important for NO<sub>x</sub>'es. The acceleration between 0 and -0.5 m/s<sup>2</sup> and velocities between 0-10 km/h was found critical for NO<sub>x</sub> emissions which can be explained with engine control system

characteristics. The real driving CO and Soot emissions are also found higher for accelerations higher than 0.5 m/s<sup>2</sup> and velocities between 5 km/h and 30 km/h. This can be explained with heterogenous mixture formation during low speed acceleration phases.

### 4. Conclusion

The public transportation bus working in İstanbul Metrobus line is equipped with PEMS and Mobile Fuel Consumption measurement devices. The analyses showed that;

- i) All fuel consumption and emission rates for both directions are developed. The altitude change was found a significant parameter that effect both fuel consumption and emissions as expected. Considering to the vehicle powertrain loading requirements and emission characteristics at high grade take offs from bus stops, it can be concluded as the grade effect and bus stop location choosing algorithm should be clearly identified with using public transport requirements.



**Figure 7.** Fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> and emission contour graphs at BA direction regarding to acceleration and velocity **a)** Fuel consumption **b)** CO<sub>2</sub> **c)** NO<sub>x</sub> **d)** CO **e)** Soot

- i) The VSP analyses are made for both directions at FL condition. There was a strong correlation was found between fuel consumption, emissions and VSP. The fuel consumption and measured emissions are increased with the increase of VSP. The VSP calculations showed that the VSP approach can be used effectively for public transport planning of new coming routes with alternative speed trajectories. It is possible to make an approach for pollutants and economy of the new routes.
- ii) The velocity-acceleration frequency graphics are developed for both directions. It was found that the highest velocity-acceleration frequency is realized between -0.5 m/s<sup>2</sup> and 0.5 m/s<sup>2</sup> acceleration levels for all velocities.
- iii) The velocity/speed and acceleration regions are divided in to modes. There was 8 speed

mode 7 acceleration modes are developed. Fuel consumption and emission are developed analyzed regarding to this modes in mass basis shares compared the total consumed fuel and emissions. The analysis showed that the critical region for cumulative results is lying at low level acceleration at the speeds between 0-40 km/h for all types of emissions and fuel consumption.

- iv) The contour graphs for fuel consumption and emissions in g/s base at BA direction are developed. It was found that the fuel consumption and emissions are increased with the increase of acceleration.
- v) For real driving CO, NO<sub>x</sub> and soot decreasing, the cruises should be realized below the critical positive acceleration level 0.5 m/s<sup>2</sup> for all velocities. Considering to the engine homologation cycles, it can be

concluded as the emission calibration strategy of public transportation vehicle engine should be carefully developed with taking these real driving and route characteristics.

- vi) The real driving NO<sub>x</sub> emissions was found higher especially at low speed ( $v < 40$  km/h) positive acceleration zones which can be explained by power demand because of acceleration demand from driver at takeoff session. Even the engine is Euro 5, the emission control system and strategy is insufficient to prevent high NO<sub>x</sub> emitting at this operating regime. So it can be recommended that, changing of emission control strategy or equipment characteristics which are more harmonious with this predefined route or limiting the acceleration at the take of sessions for decreasing the NO<sub>x</sub> emissions by considering the safety concern would be a solution of these phenomena. On the other hand this result show that the standard engine emission calibration strategy with standard equipment are not giving the optimum solution at every route. So it can be concluded as the route and public transportation characteristics should be carefully taken in to consideration into vehicle powertrain control strategies.
- vii) The real driving CO emissions was found higher especially below moderate speeds ( $v < 30$  km/h) and positive acceleration higher than  $0.5 \text{ m/s}^2$  which can be explained the insufficient mixture formation so the increased rich regions in the combustion chamber during this movement. So for decreasing CO emissions especially the sharp accelerations should be avoided below 30 km/h.
- viii) For fuel consumption and real driving CO<sub>2</sub> and emission levels the speed higher than 30 km/h was found critical for all positive acceleration levels. In this context it is recommended to avoid sharp acceleration changes higher than 30 km/h for cleaner transportation.

This research showed that, it is possible to realize more efficient and cleaner public transport and relevant engine control calibration set with analyzing the real driving data. It was evaluated that the PEMS and Mobile Fuel Consumption measurements can be a part of engine calibration

development for environmentally friendly public transportation. All of these parameters should be clearly evaluated and the parameters should be optimized in this context with multi objective approach, taking the arrival timing and safety concerns.

### Acknowledgement

This research was funded by the Istanbul Development Agency –ISTKA, under Information Focused Economic Development Programme, project no. BİL-86 with the partnership of Istanbul Public Transportation Company (IETT).

### References

- Alpkokin, P. and Ergun, M., 2012. Istanbul Metrobüs: first intercontinental bus rapid transit. *Journal of Transport Geography*, 24, 58-66.
- Andrés, L. and Padilla, E., 2018. Driving factors of GHG emissions in the EU transport activity. *Transport Policy*, 61, 60-74.
- Çakır, F.H. and Akbayır, Ö., 2017. Metrobüs Sisteminin Enerji Kullanımı ve Çevreye Etkilerinin İncelenmesi, Elektrikli Araçlar ve Trolleybüslerin Kullanım Potansiyellerinin Araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1, 97-102.
- Choudhary, A. and Gokhale, S., 2016. Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43(Supplement C), 59-70.
- Duarte, G. O., Gonçalves, G. A. and Farias, T. L., 2016. Analysis of fuel consumption and pollutant emissions of regulated and alternative driving cycles based on real-world measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 43-54.
- Hao, L., Chen, W., Li, L., Tan, J., Wang, X., Yin, H., Ding, Y. and Ge, Y., 2017. Modeling and predicting low-speed vehicle emissions as a function of driving kinematics. *Journal of Environmental Sciences*, 55, 109-117.
- ICCT, 2016, International Council on Clean Transport, A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards.
- Joumard, R., André, M., Vidon, R. and Tassel, P., 2003. Characterizing real unit emissions for light duty goods vehicles. *Atmospheric Environment*, 37(37), 5217-5225.

- Luján, J. M., Bermúdez, V., Dolz, V. and Monsalve-Serrano, J., 2018. An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS). *Atmospheric Environment*, 174, 112-121.
- Mendoza-Villafuerte, P., Suarez-Bertoa, R., Giechaskiel, B., Riccobono, F., Bulgheroni, C., Astorga, C. and Perujo, A., 2017. NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and PN real driving emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle. Impact of regulatory on-road test conditions on emissions. *Science of the Total Environment*, 609, 546-555.
- Merkisz, J. and Rymaniak, L., 2017. Tests of urban bus specific emissions in terms of currently applicable heavy vehicles operating emission regulations. *Combustion Engines*, 1(168), 21-26.
- Myung, C.-L., Ko, A., Kim, J., Choi, K., Kwon, S. and Park, S., 2013. Specific engine performance and gaseous emissions characteristics of European test cycle and worldwide harmonized driving cycle for a heavy-duty diesel engine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(12), 3893-3902.
- Palacios, J., 1999. Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing. Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology, Boston-USA.
- Prati, M. V., Meccariello, G., Della Ragione, L. and Costagliola, M. A., 2015. Real Driving Emissions of a Light-Duty Vehicle in Naples-Influence of Road Grade. SAE International 12<sup>th</sup> International Conference on Engines & Vehicles, September 2015, Naples, Italy, SAE 2015-24-2509
- UITP, 2014, International Association of Public. Bus Systems in Europe - Current Fleets and Future Trends.
- Wang, A., Ge, Y., Tan, J., Fu, M., Shah, A. N., Ding, Y., Zhao, H. and Liang, B., 2011. On-road pollutant emission and fuel consumption characteristics of buses in Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 23(3), 419-426.
- Yao, Z., Wei, H., Liu, H. and Li, Z., 2013. Statistical Vehicle Specific Power Profiling for Urban Freeways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2927-2938.
- Yu, Q. and Li, T., 2014. Evaluation of bus emissions generated near bus stops. *Atmospheric Environment*, 85, 195-203.
- Yu, Q., Li, T. and Li, H., 2016. Improving urban bus emission and fuel consumption modeling by incorporating passenger load factor for real world driving. *Applied Energy*, 161(Supplement C), 101-111.
- Zhang, Q., Wu, L., Yang, Z., Zou, C., Liu, X., Zhang, K. and Mao, H., 2016. Characteristics of gaseous and particulate pollutants exhaust from logistics transportation vehicle on real-world conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43, 40-48.
- URL-1, from <https://www.avl.com/real-driving-emissions-rde->, 13 September 2018
- URL-2, [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en), 13 September 2018

# Gümüşhane İli Kamu Binalarındaki Isı Yalıtımı Uygulamalarının İncelenmesi

## Examining Heat Insulation Applications on Public Buildings in Gümüşhane

**Birol ŞAHİN<sup>\*1,a</sup>, Cenk ÇARKACI<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

<sup>2</sup>Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 29000, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 15.02.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 11.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 02.05.2019

### Öz

Günümüzde ilerleyen teknolojiye bağlı olarak kişi başı enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamının yollarından biri enerji üretimini arttırmakken diğeri ise tüketilen enerjiden tasarruf etmektir. Özellikle 1973 yılı sonrasında yaşanan enerji kriziyle birlikte enerjinin verimli kullanılması önem kazanmıştır. Ülkemizde konutlarda daha çok ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılan enerjiden tasarruf etme potansiyeli oldukça yüksektir. Kışların uzun ve soğuk olduğu bölgelere sahip olan ülkemizde özellikle ısıtma uygulamalarında elde edilecek bu enerji tasarrufu hem ülke ekonomisi için hem de çevre kirliliğini azaltmak için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada, Gümüşhane ili sınırları içerisinde bulunan bir kamu binası (lojman) için ısı yalıtımsız ve ısı yalıtımlı durumlar incelenerek, yapılan yalıtım uygulamalarının TS 825 standartlarına göre yeterliliği araştırılmıştır. Binanın ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız termal görüntüleri alınarak binada oluşan ısı köprüleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda binada uygulama projesinde bulunan yalıtımın TS 825 standartlarına göre yeterli olmadığı, bu nedenle enerji tasarrufunda kayıplar olduğu görülmüştür. Ayrıca standartlara göre uygulanan yalıtımla birlikte % 50'lere varan bir tasarruf sağlanacağı elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji tasarrufu, Isı köprüsü, Isı yalıtımı

### Abstract

Energy need per person is increasing rapidly due to advancing technology nowadays. One of the ways to meet the increasing energy needs is to increase energy production while the other one is to conserve energy consumed. Especially with the energy crisis experienced after 1973, the efficient use of energy has gained importance. In our country, the energy saving potential used in heating and cooling applications in houses is quite high. This energy saving which will be obtained especially in heating applications in our country which has regions with long and cold winters is very important both for the country economy and for reducing the environmental pollution. In this study, uninsulated and insulated conditions of a public building (lodging) located in Gümüşhane were examined and the adequacy of the insulation applications was investigated according to TS 825 standards. Insulated and uninsulated thermal images of the building were taken and heat bridges formed in the building were determined. The results of the study show that insulation in the application project in the building is not sufficient according to TS 825 standards and therefore there are losses in energy saving. In addition, it is seen that saving can be achieved up to 50% with insulation applied according to the standards.

**Keywords:** Energy saving, Heat bridge, Heat insulation

\*<sup>a</sup> Birol ŞAHİN; birol.sahin@erdogan.edu.tr; Tel: (0464) 2238518; orcid.org/0000-0003-1004-4720

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2051-3375

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar insanların ısıl yönden yaşamlarını sağlıklı bir şekilde yürütebilmeleri amacıyla çok farklı uygulamalar yapılmıştır. Ateşin bulunmasıyla başlayan bu serüven, ilerleyen yıllarla birlikte yerini ocak ve soba gibi elektrik veya fosil yakıt kaynaklı ısıtma sistemlerine bırakmıştır. İnsanların yaşamlarını sürdürecekleri iç ortam ısıl konfor koşulları; sıcaklık, nem, hava akım hızı ve radyant ısı gibi ana bileşenlerden oluşmakla birlikte iç ortam sıcaklık değerini belirlemede bu bileşenlerin yanı sıra ortamda yürütülen işin niteliği, kişinin fiziki ve ruhi yapısı, kişinin sağlık ve giyim durumu ile beslenme durumu gibi faktörlerde etkili olmaktadır. Görüldüğü gibi ısıl konfor şartlarının oluşturulması için iç ortamın ısıtılması veya soğutulması başta olmak üzere çok farklı uygulamalar yapılabilmektedir. Bu uygulamaları yapabilmek için de enerjiye ihtiyaç vardır. Gerekli enerji kaynağı ise bazı özel uygulamalar dışında ya elektrik, ya da fosil yakıt kökenli olmaktadır. İlerleyen teknoloji ve artan kişi başı enerji tüketim değerlerine bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Günümüzdeki enerji üretim prosesleri düşünüldüğünde gerekli enerjinin elde edilmesi büyük oranda fosil yakıtlara (kömür, doğalgaz, vb.) bağlıdır. Ülkemiz fosil yakıtlar açısından yeterli kaynaklara sahip değildir. Bu nedenle enerji üretimi, hammadde açısından büyük oranda dışa bağımlıdır. 2018 yılı Ekim ayı verilerine göre enerji tüketim yüzdeleri incelendiğinde en çok tüketim sırasıyla % 45 doğal gaz, %26 elektrik ve %21 motorin olarak ortaya çıkmaktadır. 2018 yılı Ekim ayına ait enerji raporuna göre elektrik enerjisi üretimindeki kaynakların payına bakıldığında %35 doğal gaz, %25 ithal kömür, %17 linyit, %8 hidrolik santral (akarsu), %6 rüzgâr ve %3 hidrolik santral (barajlı) sonucu ortaya çıkmaktadır (URL-1, 2018). Kullanılan enerjinin sektörel dağılımında ise 2004 yılı verilerine göre %41.7'si sanayi, %30.4'ü konut, %20'si ulaştırma başlıca alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı da ısıtma-soğutma işlemlerine harcanmaktadır. Bu nedenle binalarda standartlara uygun yapılacak ısı yalıtımı, tüketilen enerji miktarında önemli bir azalmaya sebebiyet verecektir. Dünya Bankası tarafından 2010 yılında hazırlanan taslak rapora göre konutlarda elektrik açısından %29, yakıt açısından %46 civarında bir tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca kişi başı enerji yoğunluğu düşürülerek enerjide tasarruf sağlanabilmektedir. Ülkemizde enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu konut ısıtmasıyla ilgili özellikle farklı yalıtım malzemesi

ve yakıt kullanımına bağlı olarak yapılan çalışma sayısı son yıllarda artmıştır. Kaynaklı ve Karadeniz (2007) örnek bir bölgenin ısıtma sezonunu tespit ederek enerji maliyetleriyle birlikte optimum yalıtım kalınlığını bulmuşlardır. Duvar tipine, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına ve bölgenin derece-gün sayısına bağlı olarak gerekli yalıtım kalınlıklarının değişimini analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda duvarın toplam ısı transfer katsayısının artmasıyla optimum yalıtım kalınlığının azaldığı, derece-gün sayısı ve yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik değerinin artmasıyla birlikte optimum yalıtım kalınlığının da arttığını bulmuşlardır. Kürekçi vd. (2009) bina dış duvarına ait optimum yalıtım kalınlığı değerini İzmir, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için altı farklı yakıt tipi ve iki farklı yalıtım malzemesi için geri ödeme süreleriyle birlikte hesaplayarak birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak çevreye olan etkileri de göz önüne alınarak doğal gazın yakıt olarak kullanıldığı optimum yalıtım kalınlığı değerleri belirlenmiştir. Gürel ve Cingiz (2000) farklı yapı malzemeleri (yatay delikli tuğla ve gaz beton) ve yalıtım şekilleriyle yalıtılmış (dıştan yalıtım ve sandviç yalıtım) bir bina dış duvarını model almışlardır. Çalışmada söz konusu duvardan gerçekleşen ısı kaybı mevcut hesaplamalar yoluyla belirlenmiş ve ömür-maliyet analizine göre optimum ısı yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve enerji tasarrufları belirlenmiştir. Sezer (2005) ülkemizde uygulaması yaygın olan duvarların dış yüzeyine, iç yüzeyine, çift duvar arasına ve havalandırılmalı dış duvar yalıtım uygulamalarını inceleyerek hesaplanan toplam ısı kaybı değerlerinin TS 825'e göre izin verilen değerlerin üzerinde olduğunu bulmuştur. Çalışmada ayrıca yalıtım sistemi seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir. Aktemur ve Atikol (2017) yaptıkları çalışmada Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde bulunan Muğla (1.Bölge), Kocaeli (2.Bölge), Ankara (3.Bölge), ve Ardahan (4.Bölge) illeri için altı farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi için on beş yıllık bir süre boyunca meydana gelen enerji tasarrufu ve amortisman sürelerini TS 825 standardına göre incelemişlerdir. En büyük enerji tasarrufunu LPG yakıtının sağladığı görülmüştür. Balo vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada dört iklim bölgesinden birer şehir (İzmir, Diyarbakır, Uşak, Bayburt) için binaların dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının belirlenmesinde, enerji maliyetlerine bağlı derece-gün metodu, termoeconomik optimizasyon metodu, TS 825 standardı olmak üzere üç farklı metot kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yalıtım



kalınlığı, enerji kazancı ve geri ödeme süresine ilişkin bilgiler sunulmuştur. [Buyruk vd. \(2013\)](#) delikli tuğladan iki odalı olarak inşa edilen bir binadaki yalıtımın içten, dıştan ve sandviç olarak uygulanması durumuna ait termal kamera görüntülerini ve ara yüzey sıcaklık değerlerini belirleyerek bir paket program yardımıyla elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Isı kaybının nedeni olarak kolon ve kirişlerdeki ısı köprüleri gösterilmiştir. [Karakoç \(2015\)](#) yaptığı çalışmada yakıt olarak doğal gazın kullanıldığı bir binada sırasıyla taş yünü, neopor ve genişletilmiş polistrenin kullanılması durumunda ortaya çıkan optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Yıllık ısıtma gereksinimleri, son altı yıla ait ortalamayı içeren ısıtma derece-gün sayısına göre hesaplanmıştır. [Yaman vd. \(2015\)](#) tarafından yapılan çalışmada binalardaki yapı bileşenlerinde uygulanan farklı ısı yalıtım türleri ve kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilerek ilgili mevzuat ve hesaplama yöntemlerinden bahsedilmiştir. [Türkmen \(2016\)](#) oldukça fazla sayıda örneklem grubuna ait bina kabuğundaki ısı yalıtım uygulamaları, yapım aşamasında karşılaşılan sorunlarla birlikte ele alınarak enerji performansını önemli ölçüde etkileyen ısı köprüleri, yetersiz yalıtım ve yoğunlaşma gibi parametreleri incelemiştir. [Ertürk \(2016\)](#) Ankara’da bulunan binalar için iki farklı yakıt türü, üç farklı yalıtım malzemesi ve dört farklı kalınlıktaki hava boşluğunun optimum yalıtım kalınlığına, amortisman süresine ve kişi başı yakıt tüketimi emisyonuna etkisini incelemiştir. [Kürekçi vd. \(2012\)](#) ülkemizdeki 81 il için iki farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesinin kullanıldığı dört ana bileşenden oluşan dıştan yalıtılmış bir duvar için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve metrekare başına tasarruf miktarlarını belirlemek için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. [Karakaya \(2018\)](#) dört farklı duvar tipi, üç farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi kullanarak ısıtma ve soğutma prosesleri için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi, enerji tasarrufu ve toplam maliyete göre çevreye yaymış oldukları emisyon değerlerini bularak birbirleriyle karşılaştırmıştır. Yalıtım kalınlığının artışı enerji sarfiyatını azaltmasına rağmen optimum değerden sonraki yalıtım kalınlıklarının toplam maliyeti artırdığı bulunmuştur. [Ertürk vd. \(2018\)](#) çalışmada İzmir ilindeki bir bina dış duvarında üç farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yakıt kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi, toplam maliyet, sera gazı emisyon salınımı ve enerji tasarrufu parametrelerini ömür-maliyet analizi yöntemine göre birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Seçilen duvar tipi için en

düşük yalıtım kalınlığı XPS yalıtım malzemesinde ve yakıt olarak doğalgaz kullanılması halinde ortaya çıkmıştır. [Kon ve Yüksel \(2016\)](#) Balıkesir ilindeki iki binaya ait optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri ve enerji tüketim değerlerini derece-gün ve ömür-maliyet analizine göre dokuz farklı yalıtım malzemesi için doğal gaz yakıtının kullanıldığı durumda elde etmişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığı en düşük olan yalıtım malzemesi XPS olarak belirlenmiştir.

Özellikle 1973 yılında ortaya çıkan petrol krizi nedeniyle petrole dayalı enerji üretiminin yerine enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi amaçlanmış ve böylece yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili yeni teknolojik gelişmeler ortaya çıkmaya başlamıştır. Petrole bağlı enerji üretimi yapan ülkeler için petrole bağlı üretimin azaltılması amacıyla enerjinin çeşitlendirilmesinin yanında var olanın enerjinin verimli kullanımı da ön plana çıkmıştır. Bu nedenle özellikle son yıllarda enerji verimli cihazların kullanılması ve 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” ile binalarda enerji kimlik belgesinin oluşturularak enerjinin verimli kullanılması amaçlanmıştır. Ancak, gerek kanunda belirtilen prosedürlere uyulmaması, gerekse uygulama (montaj) kaynaklı hatalar nedeniyle istenilen enerji tasarrufu her zaman için sağlanamamaktadır.

Yapılan çalışmada Gümüşhane ili sınırları içerisinde bulunan bir kamu binası (lojman) için ısı yalıtım yapılmadan önceki enerji gereksinimi ile ısı yalıtım yapıldıktan sonraki enerji gereksinimi değerleri TS 825 standartlarına göre ([URL-2, 2018](#)) hesaplanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

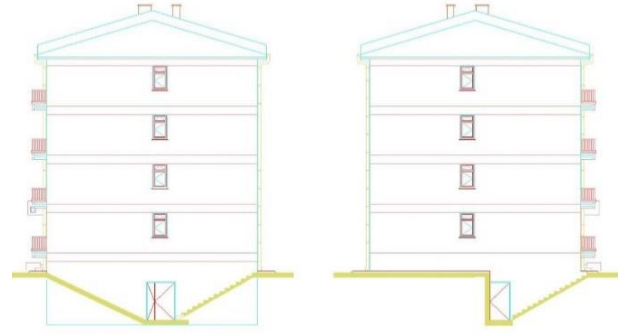
## 2. Teorik Çalışma

İnceleme konusu olan kamu binası (lojman) Gümüşhane ili sınırları içerisinde 1988 yılında yalıtımsız olarak inşa edilmiş olup, 2014 yılında dıştan mantolama yapılarak yalıtımlı hale getirilmiştir. Binayı dışardan sararak ısı köprülerini azaltması, iç mekanda alan kaybı oluşturmaması, yapının betonarme elemanlarını dış etkilerden koruması ve eski yapılarda uygulamasının daha basit olması sebebiyle dıştan mantolama tercih edilmiştir. Çalışmada binanın yalıtımsız hali, yalıtım yapıldıktan sonraki mevcut hali ve TS 825’e göre olması gereken yalıtımlı hali için incelemeler yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak binanın bu üç durumu için yapı katmanlarının ve yapılan yalıtımın, TS 825 standardına göre yeterli olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca binanın yalıtımsız ve

yalıtımlı durumu için alınan termal kamera görüntüleri üzerinden inceleme ve irdeleme yapılmıştır. Örnek bina, Gümüşhane Üniversitesine ait Yenimahalle Kazım Karabekir Caddesinde bulunan lojman binasıdır. Binaya ait bilgiler aşağıda verilmiştir:

Binanın bulunduğu şehir : GÜMÜŞHANE  
Binanın yapım yılı : 1988  
Dış ortam sıcaklığı : -12°C  
Binanın bulunduğu iklim bölgesi : 4.Bölge

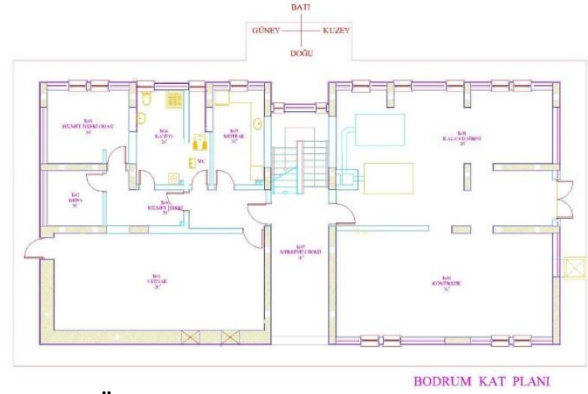
Bina, bodrum, zemin ve 3 normal kattan oluşmakta ve ayrıık nizamdadır. Binada bodrum katta 1, diğer katlarda 2'şer olmak üzere toplam 9 daire bulunmaktadır. Binanın ön ve yan görünüşleri Şekil 1 ve Şekil 2 de, bodrum kat planı Şekil 3 te, zemin kat planı Şekil 4 te ve normal kat planı Şekil 5 te verilmiştir.



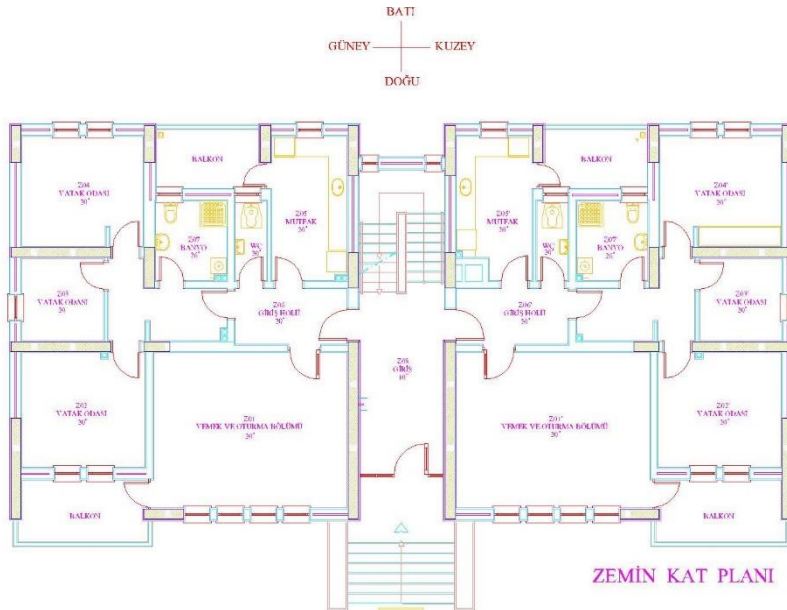
Şekil 2. Örnek binanın yan görünüşleri



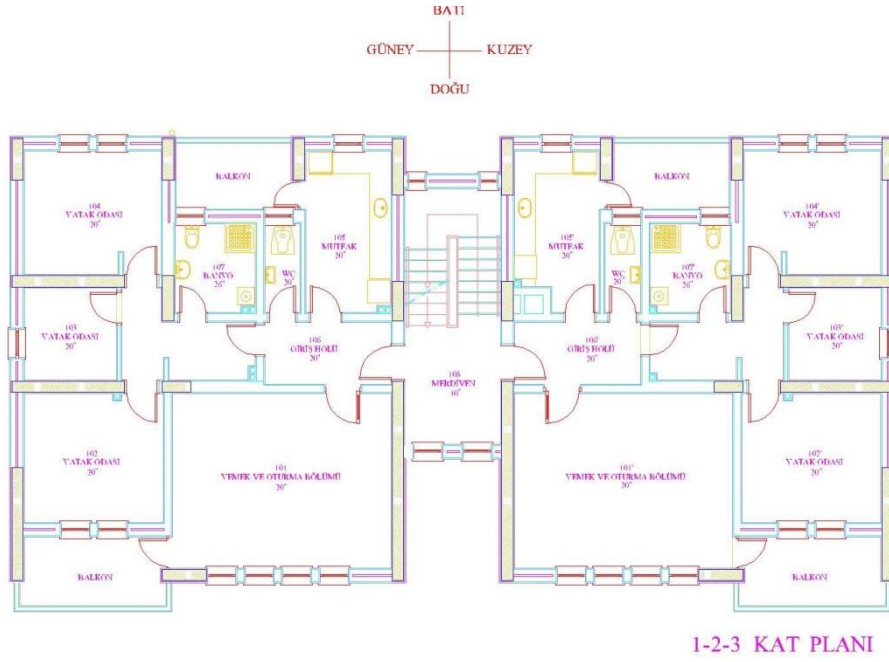
Şekil 1. Örnek binanın ön görünüşü



Şekil 3. Örnek binanın bodrum kat planı



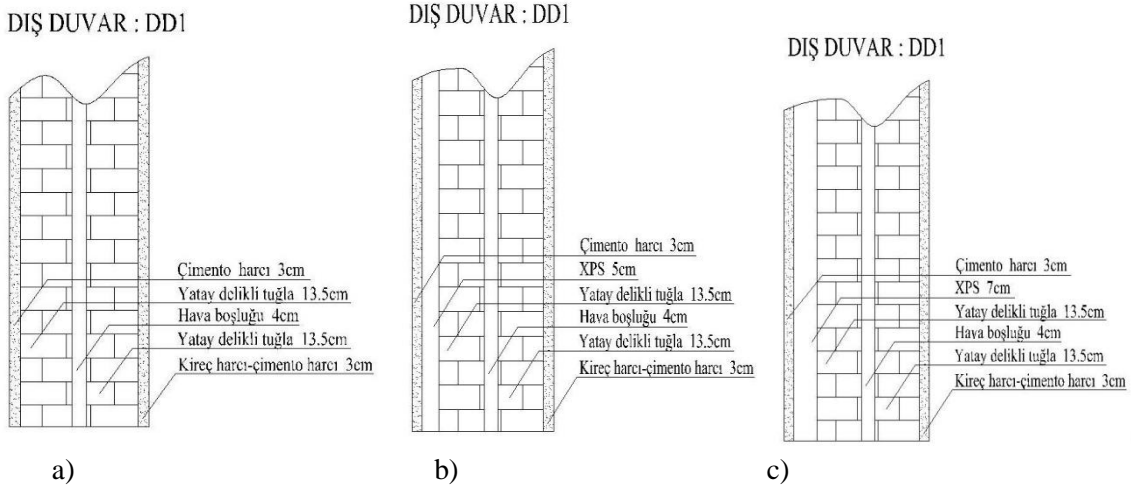
Şekil 4. Örnek binanın zemin kat planı



Şekil 5. Örnek binanın normal kat planları

Örnek binaya ait dış duvarı oluşturan bileşenler yalıtımsız, mevcut yalıtımlı ve TS 825 e uygun olarak Şekil 6 da verilmiştir. Örnek binada Şekil 6.a'da görüldüğü gibi yalıtımsız durum için yatay delikli tuğlalar arasında 4 cm lik hava boşluğu bulunmaktadır. Uygulanan yalıtımla birlikte bina

dış yüzeyine yapılan mantolamayla 5 cm lik XPS eklenmiştir. Ancak yapılan hesaplamalar sonucu TS 825'e göre bu yalıtımın yeterli olmadığı, yalıtım kalınlığının 7 cm ye çıkarılması gerektiği elde edilmiştir.



Şekil 6. Örnek binanın yapı elemanları (a) Yalıtımsız durum (b) Mevcut yalıtımlı durum (c) TS 825' e göre yalıtımlı durum

Şekil 6 da verilen çok katmandan oluşan bir duvar için ısı iletim direnci R;

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (1)$$

denklemleri yardımıyla elde edilir. Denklem 1 de yapı elemanı kalınlıkları d ve bu yapı elemanlarına ait ısı iletkenlik hesap değeri  $\lambda_h$  ile gösterilmekte ve TS 825 standartlarından seçilmektedir. Her bir katmana ait ısı geçirgenlik direnç değeri hesaplanarak yapıyı oluşturan duvar, tavan ve döşeme gibi elemanlara ait toplam

ısı geçirenlik direnci (1/U) aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (2)$$

Denklem 2 de verilen  $R_i$  iç yüzeyin yüzeyel ısı iletim direncini ( $m^2.K/W$ ) ve  $R_e$  dış yüzeyin yüzeyel ısı iletim direncini ( $m^2.K/W$ ) göstermektedir. Yüzeyel ısı iletim direnci değerleri hesaplanan yapı bileşenine göre minimum değeri 0 maksimum değeri 0.17 olacak şekilde TS 825 ten seçilmektedir. Yapı bileşenine ait ısı kaybı değeri ise

$$Q = U.A.(\theta_i - \theta_e) \quad (3)$$

denklemleri yardımıyla elde edilir. Denklem 3 te görülen  $\theta_i$  iç ortam sıcaklık değerini,  $\theta_e$  dış ortam sıcaklık değerini göstermektedir. Yukarıda verilen Denklem 1 ve 2 yardımıyla yapı bileşenlerine ait ısı iletim direnç değerleri ve ısı geçirenlik dirençleri hesaplanarak belirlenen her bir hacme ait ısı kaybı değerleri Denklem 3 yardımıyla elde edilmiş ve üçüncü kata ait örnek bir hacim için çizelge 1 de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Örnek bir hacme ait ısı kaybı hesabı çizelgesi.

ISI KAYBI HESABI ÇİZELGESİ																				
Binanın Adı : G.Ü. Lojman Binası													Şehir : Gümüşhane			Dış Sıcaklığı : -12		Sahife No : 1		
Kat : Bodrum													1,75		19					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
İşareti	Yön	Duvar Kalınlığı	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	U - İletim Katsayısı	ΔT Sıcaklık Farkı	UxΔt	Zamsız Isı Kaybı	Zd	Zw	Zh	ΣZ	Isı İhtiyacı	Düşünceler		
	cm	m	m	m <sup>2</sup>	Ad.	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	°K	W/m <sup>2</sup>	Watt	%	%	%	1+%	Watt				
<b>301 - YEMEK VE OTURMA ODASI (20C°) (Yalıtımsız)</b>																				
DD1 D	36	6.5	2.72	17.68	1	10.16	7.52	0.783	32	25.06	188									
KO D	36	1.25	2.72	3.40	1	↓	3.40	2.952	32	94.46	321									
KI D	36	5.2	0.47	2.44	1	↓	2.44	2.952	32	94.46	231									
PE D	-	0.8	1.35	1.08	4	↓	4.32	5.2	32	166.40	719									
KO K	36	3.31	2.72	9.00	1		9.00	2.952	32	94.46	850									
KO K	36	1.7	2.72	4.62	1		4.62	2.952	10	29.52	137									
KI G	36	1.25	0.47	0.59	1		0.59	2.952	32	94.46	55									
DKP1G	-	0.8	2.25	1.80	1		1.80	3.5	32	112.00	202									
Ta -	15	5.3	6.4	33.92	1		33.92	3.472	26	90.27	3062									
Qs=	1/3,6	( a . L .	R .	H .	Ze .	ΔT )				Toplam=	5765	7	0	5	1.12		6457			
Qs=	0.277	3.00	29.70	0.90	2.43	1.20	32.00	=									2073	<b>8530 Watt</b>		
<b>301 - YEMEK VE OTURMA ODASI (20C°) (Mevcut Yalıtımlı)</b>																				
DD1 D	36	6.5	2.72	17.68	1	10.16	7.52	0.34	32	10.88	82									
KO D	36	1.25	2.72	3.40	1	↓	3.40	0.499	32	15.97	54									
KI D	36	5.2	0.47	2.44	1	↓	2.44	0.499	32	15.97	39									
PE D	-	0.8	1.35	1.08	4	↓	4.32	3	32	96.00	415									
KO K	36	3.31	2.72	9.00	1		9.00	0.499	32	15.97	144									
KO K	36	1.7	2.72	4.62	1		4.62	0.499	10	4.99	23									
KI G	36	1.25	0.47	0.59	1		0.59	0.499	32	15.97	9									
DKP1G	-	0.8	2.25	1.80	1		1.80	3.5	32	112.00	202									
Ta -	15	5.3	6.4	33.92	1		33.92	0.318	26	8.27	280									
Qs=	1/3,6	( a . L .	R .	H .	Ze .	ΔT )				Toplam=	1248	7	0	5	1.12		1398			
Qs=	0.277	3.00	29.70	0.90	2.43	1.20	32.00	=									2073	<b>3471 Watt</b>		
<b>301 - YEMEK VE OTURMA ODASI (20C°) (TS 825 e göre Yalıtımlı)</b>																				
DD1 D	36	6.5	2.72	17.68	1	10.16	7.52	0.277	32	8.86	67									
KO D	36	1.25	2.72	3.40	1	↓	3.40	0.374	32	11.97	41									
KI D	36	5.2	0.47	2.44	1	↓	2.44	0.374	32	11.97	29									
PE D	-	0.8	1.35	1.08	4	↓	4.32	2.7	32	86.40	373									
KO K	36	3.31	2.72	9.00	1		9.00	0.374	32	11.97	108									
KO K	36	1.7	2.72	4.62	1		4.62	0.374	10	3.74	17									
KI G	36	1.25	0.47	0.59	1		0.59	0.374	32	11.97	7									
DKP1G	-	0.8	2.25	1.80	1		1.80	3.5	32	112.00	202									
Ta -	15	5.3	6.4	33.92	1		33.92	0.167	26	4.34	147									
Qs=	1/3,6	( a . L .	R .	H .	Ze .	ΔT )				Toplam=	991	7	0	5	1.12		1110			
Qs=	0.277	3.00	29.70	0.90	2.43	1.20	32.00	=									2073	<b>3182 Watt</b>		

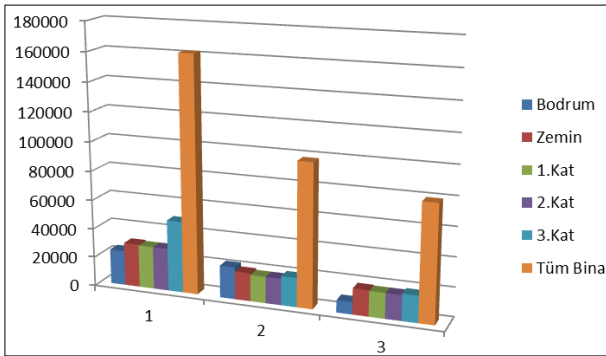
Bu işlemler diğer bütün hacimler için yalıtımsız hal, mevcut yalıtımlı hal ve TS 825 standardına uygun yalıtımlı hale göre yapılarak bütün binaya ait ısı kaybı değerleri belirlenmiş ve bütün binanın yalıtım açısından çalışılan bu üç durumu için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatları kullanılarak yatırım maliyetleri ve buna bağlı olarak amortisman süreleri doğal gaz yakıtına göre mevcut yalıtımlı durum için denklem 4 te, TS 825'e göre yalıtımlı durum için denklem 5 te verilmiştir.

$$\text{Amortisman süresi} = \frac{\text{MYDİYM}-\text{YDİYM}}{\text{YDYM}-\text{MYDYM}} \quad (4)$$

$$\text{Amortisman süresi} = \frac{\text{TGYDİYM}-\text{YDİYM}}{\text{YDYM}-\text{TYDYM}} \quad (5)$$

Denklem 4 ve 5 te verilen MYDİYM mevcut yalıtımlı durum için ilk yatırım maliyetini, YDİYM yalıtımsız durum için ilk yatırım maliyetini, YDYM yalıtımsız durum için yakıt maliyetini, MYDYM mevcut yalıtımlı durum için yakıt maliyetini, TGYDİYM TS825'e göre yalıtımlı durum için ilk yatırım maliyetini, TYDYM ise TS825'e göre yalıtımlı durum için yakıt maliyetini göstermektedir.

Örnek bina için TS 825 standartlarına göre yapılan hesaplamalar sonucu binanın yalıtımsız durumu, mevcut yalıtımlı durumu ve TS 825'e göre yalıtımlı durumu için her kata ait ısı kaybı değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Örnek binanın yalıtımsız olması durumunda 161832 Watt'lık bir ısı kaybı gerçekleşmektedir. Gerçekleşen ısı kaybı mevcut yalıtımlı durumda 97982 Watt, TS 825 standardına uygun yalıtım durumunda ise 79466 Watt değerini almaktadır.

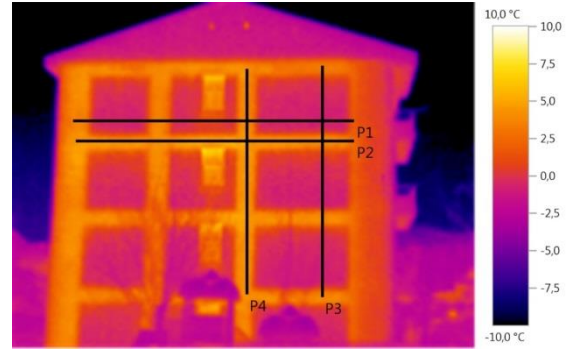


Şekil 7. Örnek binanın üç durumu için her kattaki ve tüm bina genelindeki ısı kaybı 1) Yalıtımsız durum 2) Mevcut yalıtımlı durum 3) TS 825'e göre yalıtımlı durum

Şekil 7'den görüleceği üzere mevcut yalıtımlı durumda yalıtımsız duruma göre %39.5' lik, TS 825'e göre uygun yalıtımlı durumda yalıtımsız duruma göre %50.9' luk bir tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir.

### 3. Bulgular

Örnek olarak incelenen lojman binasında yalıtımın sağladığı faydayı ve ısı köprülerini belirlemek amacıyla termal kamera görüntüleri alınmıştır. Görüntüler Testo 875 model termal kamera ile 2014 yılı Ocak ayında alınmış olup teknik özellikleri çizelge 2' de verilmiştir. Bina 2014 yılında dıştan mantolama yöntemiyle yalıtılmıştır. Binanın yalıtım yapılmadan önceki ve sonraki haline ait termal kamera görüntüleri Şekil 8 ve Şekil 10'da verilmiştir.

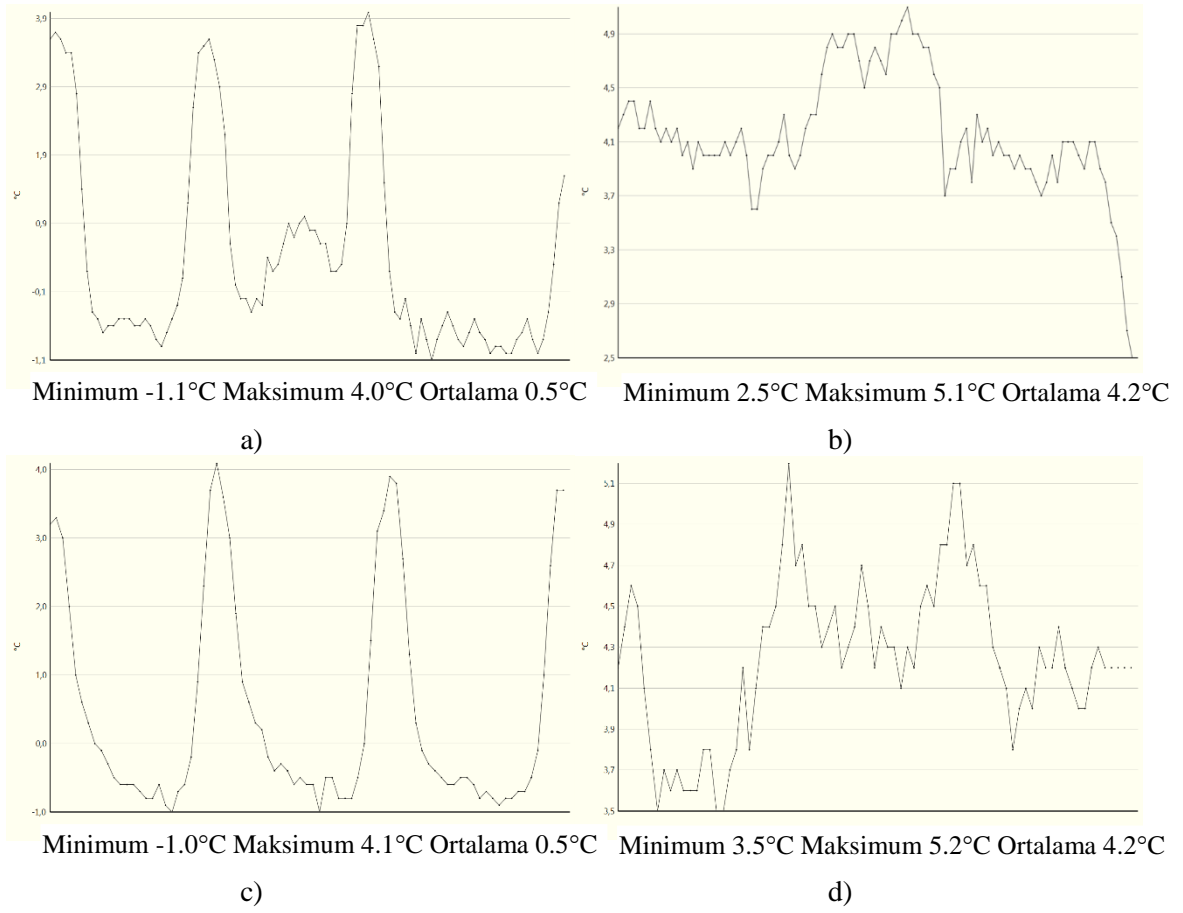


Şekil 8. Örnek binanın yalıtımdan önceki termal kamera görüntüsü üzerinde P1, P2, P3 ve P4 sıcaklık değişim doğrultularının gösterimi

Çizelge 2. Testo 875 termal kamerasına ait özellikler

Görüntü yenileme oranı	33 Hz
Görüş alanı	32° x 23°
Termal duyarlılık	< 50 mK +30 °C de
İnfrared çözünürlük	160 x 120 pixels
Ölçüm aralığı	-30 ile +100°C; 0 ile +350 °C

Ayrıca amortisman sürelerinin belirlenmesi amacıyla kazan, radyatör ve yalıtım malzemesi maliyetlerinden oluşan ilk yatırım maliyetleri yalıtımsız hal için 54114 ₺ olup, mevcut yalıtımlı halde 68360 ₺ ye çıkmakta, TS825 e göre ise 88067 ₺ olmaktadır. Yakıt olarak doğal gaz seçilmesi durumundaki yıllık yakıt maliyetleri de yalıtımsız hal için 38399 ₺, mevcut yalıtımlı hal için 24319 ₺ ve TS 825'e göre 19199 ₺ olmaktadır. Belirlenen bütün bu değerlere göre amortisman süresi mevcut yalıtımlı halde 1.01 yıl olurken TS 825 e göre 1.7 yıl olarak ortaya çıkmaktadır. Görüldüğü gibi TS 825 e göre amortisman süresi mevcut yalıtımlı haldekinden daha yüksek çıkmaktadır, ancak yakıt maliyetleri ise daha düşük olmaktadır.

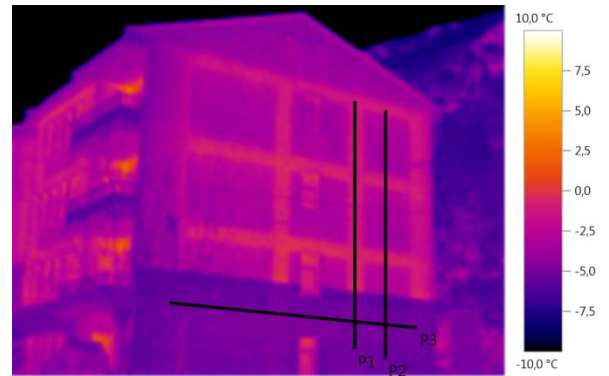


**Şekil 9.** Farklı doğrultulardaki sıcaklık değişimleri. a) P1, b) P2, c) P3, d) P4

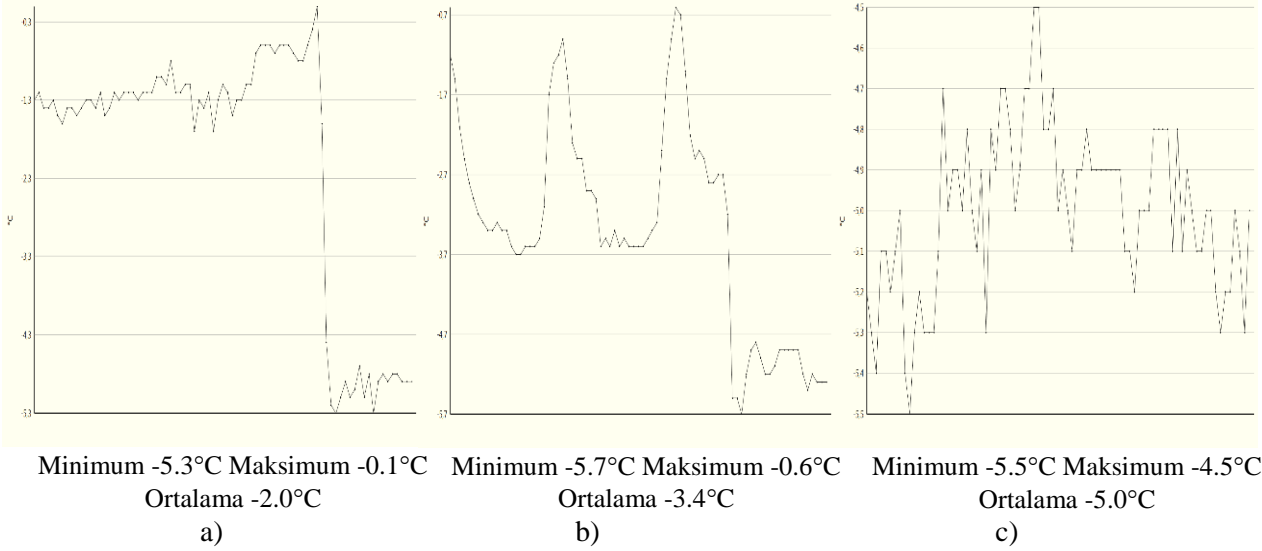
Örnek binanın yalıtımdan önceki durumdaki termal kamera görüntüsünün verildiği Şekil 8 üzerinde yatay olarak P1 ve P2, dikey olarak P3 ve P4 sıcaklık değişim doğrultuları gösterilmektedir. Termal kamera görüntülerinden elde edilen Şekil 9'daki sıcaklık değişimleri incelendiğinde asıl ısı kaybının ısı köprüsü oluşturan kolon ve kirişlerde olduğu tespit edilmiştir. P1 ve P3 doğrultusundaki dış duvar, kolon ve kirişten oluşan yapı elemanlarının ortalama sıcaklığının 0.5°C civarında olduğu, minimum ve maksimum sıcaklıklarının da -1.1°C ve 4.1°C olduğu görülmektedir. P2, P4 doğrultusundaki kolon ve kirişten oluşan yapı elemanlarının ortalama sıcaklığı 4.2°C civarında olup minimum ve maksimum sıcaklıkları da 2.5°C ve 5.2°C olmaktadır. Ayrıca şekilden kolon ve kirişlerdeki sıcaklığın 5.2°C'a kadar çıktığı, dış duvarlarda ise sıcaklığın -1.1°C'a kadar düşerek ısı kaybının bu kısımlarda en aza indiği görülmüştür. Şekil 9 da ayrıca P2 ve P4 doğrultusundaki sıcaklık hareketlerinde çok fazla değişimin olmadığı; kolon, kiriş ve dış duvarlar gibi yapı elemanlarının yatay ve dikey doğrultudaki sıcaklıklarının birbiri ile örtüştüğü, ayrıca P1-P3, P2-P4 başlangıç ve bitiş

noktalarındaki sıcaklıkların birbirine yakınlaştığı görülmüştür.

Termal kamera görüntülerinden elde edilen Şekil 10'daki örnek lojman binasının dış duvar kabuğunun P3 doğrultusundaki kısmı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Şekil 11 de duvar kabuğunun yalıtılmış ve yalıtılmamış kısımları arasındaki fark açıkça görülmektedir.



**Şekil 10.** Örnek binanın yalıtım sırasındaki durumu için termal kamera görüntüsü üzerinde P1, P2 ve P3 sıcaklık değişim doğrultularının gösterimi.



Şekil 11. Farklı doğrultulardaki sıcaklık değişimleri. a) P1 b) P2 c) P3

Dış duvarın P1 ve P2 doğrultusunda çoğunluğu yalıtılmamış kısımda kalan bölümde homojen olmayan bir sıcaklık dağılımı olduğu, kolon ve kirişlerin ısı köprüsü oluşturduğu Şekil 10 ve 11'de açıkça görülmektedir. Şekil 11'deki sıcaklık dağılım çizelgeleri incelendiğinde, P1 doğrultusundaki kolon, yalıtım malzemesinden oluşan yapı elemanlarının ortalama sıcaklığının  $-2^{\circ}\text{C}$  civarında olduğu, minimum ve maksimum sıcaklıklarının da  $-5.3^{\circ}\text{C}$  ile  $-0.1^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. P2 doğrultusundaki kiriş, dış duvar, yalıtım malzemesinden oluşan yapı elemanlarının ortalama sıcaklığının ise  $-3.4^{\circ}\text{C}$  civarında olduğu, minimum ve maksimum sıcaklıklarının da  $-5.7^{\circ}\text{C}$  ve  $-0.6^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. P3 doğrultusundaki yalıtım malzemesinden oluşan yapı elemanlarının ortalama sıcaklığının  $-5^{\circ}\text{C}$  olduğu, minimum ve maksimum sıcaklıklarının da  $-5.5^{\circ}\text{C}$  ve  $-4.5^{\circ}\text{C}$  olarak gerçekleştiği, dolayısıyla yalıtılmış kısımın sıcaklığın da fazla bir değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 11 incelendiğinde P1 doğrultusundaki kolon, yalıtım malzemesinden oluşan yapı elemanlarının yalıtım malzemesinin başlangıcına kadar ortalama  $-1^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta devam ettiği, yalıtım malzemesinin başlangıcından itibaren ani bir düşüş gerçekleşerek  $-5^{\circ}\text{C}$  civarına düştüğü görülmektedir. P2 doğrultusundaki kiriş, dış duvar, yalıtım malzemesinden oluşan yapı elemanlarının ise yalıtım malzemesinin başlangıcına kadar kiriş ve dış duvardan geçtiği için sıcaklığın  $-0.7^{\circ}\text{C}$  ile  $-3.7^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiği, yalıtım malzemesinin başlangıcından itibaren ani bir düşüşle  $-5^{\circ}\text{C}$  civarına düştüğü ve yaklaşık sabit sıcaklıkta kaldığı görülmektedir. P3 doğrultusundaki yalıtım malzemesinden oluşan

yapı elemanları sıcaklığının  $-5.5^{\circ}\text{C}$  ile  $-4.5^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiği ve dış duvar katmanının da en düşük sıcaklığa sahip olarak ısı kaybının en az yaşandığı kısım olarak görülmektedir. Elde edilen sayısal değerlerden uygulanan yalıtımla birlikte ısı transferine karşı olan direncin arttığı ve dolayısıyla ısı transferinde önemli bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bina içerisindeki ısının dışarıya hızla aktarıldığı ısı köprüleri de mantolamayla kapatıldığından bu noktalardaki ısı transferinde de önemli düşüşler görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Elde edilen bulgulardan, yalıtımsız binalara uygulanan yalıtımla birlikte ısı köprülerinin büyük bir oranda ortadan kalktığı görülmüştür. Böylece ısıtılan iç ortamdan dış ortama doğru olan ısı transferinde önemli bir azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yapılan yalıtımla birlikte duvar dış yüzeylerinde yaklaşık olarak homojen bir sıcaklık dağılımının ortaya çıktığı belirlenmiştir. TS 825'e göre yapılması gereken yalıtımın uygulamada tam olarak gerçekleştirilmediği, bu nedenle meydana gelen ısı kayıplarında artış olduğu tespit edilmiştir. Gümüşhane ili şartlarında incelenen örnek bina için yalıtımsız duruma göre yapılan karşılaştırmada mevcut yalıtımlı durum için yalıtımsız duruma göre %39.5' lik, TS 825'e göre yapılması gereken yalıtım için yalıtımsız duruma göre %50.9' luk bir tasarruf sağlanacağı tespit edilmiştir. Ayrıca amortisman süreleri değerlendirildiğinde TS 825'e göre yapılan yalıtım için amortisman süresinin biraz arttığı, ancak yıllık yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu değerler ışığında özellikle kışların uzun

ve soğuk olduğu bölgelerde standartlara uygun yapılacak yalıtımla birlikte konutlardaki enerji ihtiyacının önemli oranda azalacağı öngörülmektedir.

## 5. Kaynaklar

- Aktemur, C. ve Atikol, U., 2017. Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials, Energy Sources and Climate Regions. *International Journal of Engineering Technologies-IJET*, 3(2), 72-82.
- Balo, F., Uçar, A. ve İnallı, M., 2011. Yapıların Dış Duvarlarında Optimum Yalıtım Kalınlığının Üç Farklı Metodla Tespiti. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 273-286.
- Buyruk, E., Fertelli, A. ve Karabulut, K., 2013. Farklı Yalıtım Uygulamalarının Isı Kaybına Olan Etkilerinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği - Sayı 136*, 53-64.
- Ertürk, M., 2016. Bina Dış Duvarlarında Farklı Yalıtım Malzemesi ve Hava Boşluğu Kullanımının, Birim Alandaki Enerji Tasarrufu ve Kişi Başı Emisyon Hesaplamalarında Yeni Bir Yaklaşım. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(2), 395-406.
- Ertürk, M., Keçebaş, A., Çay, Y., Daşdemir, A., Coşkun, C. ve Işık, E., 2018. Binalardaki Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu Ve Kişi Başı Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi: İzmir’de Bir Durum Çalışması The Effect On Energy Saving And Greenhouse Gas Emissions Per Person Of Optimum Insulation. 14th International Combustion Symposium (INCOS2018) 25-27 April 2018, 348-356.
- Gürel, A. E. ve Cingiz, Z., 2000. Farklı Dış Duvar Yapıları İçin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığı Tespitinin Ekonomik Analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 15(1), 75-81.
- Karakaya, H., 2018. Farklı Duvar ve Yakıt Tiplerinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Isıtma ve Soğutmada Tespiti ve Çevresel Etkileri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 193-202.
- Karakoç, V.R., 2015. Çorum İlindeki Binalarda Kullanılan Farklı Türdeki Isı Yalıtım Malzemelerinin Optimum Kalınlığının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çorum, 112 s.
- Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R., 2007. Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, VII. Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 187-195.
- Kon, O. ve Yüksel, B., 2016. Kamu Binalarının Isıtma Yüküne Göre Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Enerji Tüketimleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 30-47.
- Kürekci, N. A., Ağra, O. ve Emanet, O., 2009. Determination of Optimum Insulation Thickness for Different Climatic Zones of Turkey. In *ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (pp. 499-505). American Society of Mechanical Engineers.
- Kürekçi, A., Bardakçı, A. T., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., 2012. Türkiye’nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 131, 5-21.
- Sezer, F. Ş., 2005. Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85.
- Türkmen, M., 2016. Bina Kabuğunda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Yapısal Performansı Ve Etkinliğinin İstanbul’da Bir Alan Çalışması İle İncelenmesi. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 255s.
- Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalıklı, O., Kara, İ., Erdem, Ş. ve Özgür, D., 2015. Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, (487), 62-75.
- URL-1,  
<http://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2f%C4%B0statistik%20Raporu%2f2018%20Ekim%20Ay%C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>, 31 Aralık 2018.
- URL-2,  
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/08/20080826-7-1.doc>, Ağustos 2016.



# Eski Dilde Kullanılan Sözcükler Arasındaki Anlamsal Yakınlıkların Doğal Dil İşleme Yöntemleriyle Tespiti

*Using NLP Methods for the Discovery of Semantic Similarities between Words in Old Turkish Language*

**Mustafa CANIM\***

*IBM Thomas J. Watson Research Center P.O. Box 218, Yorktown Heights, New York, U.S.A.*

• Geliş tarihi / Received: 17.01.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 07.05.2019

## Öz

Makina öğrenme tekniklerinin doğal dil işleme alanında kullanımı son yıllarda oldukça popüler bir çalışma konusu haline gelmiştir. Doğal dil işleme yöntemlerinin yabancı dillerdeki birçok uygulamasına rastlanılmasına rağmen Türkçe ve özellikle eski dil metinlerdeki uygulamaları oldukça yetersizdir. Bu alandaki eksikliğin giderilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada, Kültür Bakanlığı kaynaklarından elde edilen 32000 sayfa doküman, temizleme işleminden geçirildikten sonra, bu metinlerden elde edilen kelimeler üzerinde iki katmanlı bir sinir ağı modeli çalıştırılmıştır. Pencere boyutu, uzay boyutu, örnekleme miktarı gibi birçok farklı parametre ile geliştirilen modellere ait vektör uzayları bir sunucuya kopyalanarak bir sorgulama sistemi ve RESTful API servisleri oluşturulmuştur. Ayrıca bu sorgulama sisteminin doğrudan kullanılabilmesi için bir kullanıcı portalı oluşturularak RESTful API ile beraber internet kullanımına açılmıştır. Yapılan bu çalışmanın iki farklı amaçla kullanılması hedeflenmektedir. Birinci hedef bu sistemin Türk Dil Kurumu ve Kültür Bakanlığı gibi kurumların ve diğer eski dil sözlük hizmeti sağlayan şirketlerin internet sitelerine entegre edilmesi ve aratılan sözcüklere yakın terimlerin kullanıcılara getirilmesidir. İkinci hedef ise tarih ve edebiyat gibi eski dilin kullanıldığı bilimsel çalışmalarda metinlerin günümüz Türkçe'sine çevrilmesi esnasında ortaya çıkan hataların azaltılmasıdır.

**Anahtar kelimeler:** Doğal dil işleme, Kelime simgeleri, NLP, Yapay sinir ağları

## Abstract

*Leveraging machine learning techniques in NLP domain has been a very hot research field due to the advancements in artificial intelligence area. Despite the popularity of this field, there is no known study on application of ML techniques on old Turkish language. This study aims to fill in this gap where 32000 pages of text has been downloaded from the websites of Ministry of Culture and a two-layer neural network model has been built on top of them to discover the semantic similarities between Turkish words in old Turkish language. The algorithm has been run with different parameters such as window size, dimension size, sampling size etc. and the produced vector spaces are uploaded into public servers for the purposes of enabling a RESTful API based query interface. Also a web UI has been created to provide a querying mechanism for regular users. The services that are developed can be used for two different purposes. One of them is to integrate these services into existing old Turkish language dictionary websites that are made available by third party providers as well as other institutions such as Ministry of Culture and Turkish Language Institution. Secondly, the developed services are intended to be used for mitigating the translation errors made during the translation of old Turkish texts into modern Turkish language in the areas of history and Turkish literature. Also enabling these services for public use will encourage other researchers to pursue this academic work and compare their results with the experimental results presented in this paper to make further improvements in this field.*

**Keywords:** Artificial neural networks, Natural language processing, NLP, Word embeddings

\* Mustafa CANIM, mustafacanım@gmail.com, Tel: (+1 914) 707 18 91, orcid.org/0000-0002-3653-267X

## 1. Giriş

Makina öğrenme tekniklerinin doğal insan dilinin işleminde kullanılması son yıllarda büyük ölçüde popülerlik kazanmıştır. İnternet sitelerinde geçen metinlerin hangi dilde yazılmış olduğunun otomatik olarak tespiti, gereksiz e-maillerin filtrelenmesi veya arama terimlerinin otomatik olarak tamamlanması bu uygulamalardan yalnızca bazılarına örnek olarak gösterilebilir (Soon vd., 2001; Kaya ve Ertugrul, 2016; Marrero ve Urbano 2018; Biemann vd., 2018). Bu tür metinlerin incelenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri metin sınıflandırmasıdır. Çok büyük ölçekli metin tasniflerinde gözetimli öğrenme yöntemlerinin uygulanması sınıfların çokluğu nedeniyle oldukça zahmetlidir. Bu tür metinlerin sınıflandırılmasının büyük ölçekli yapılabilmesi için yakın zamanda Word2Vec isimli yöntem önerilmiştir (Mikolov vd., 2013; Church 2017). Önerilen bu yöntemde dilde bulunan her bir sözcük uzayda bir vektöre dönüştürülür. Bu vektörler aynı zamanda kelime simgeleri (Word Embeddings) olarak adlandırılır. Bu işlem sonrasında ortaya çıkan kelime simgeleri, kelimeler arasındaki ilişkilerin tespit edilmesinde kullanılır.

Öte yandan tarih ve Türk dili ve edebiyatı gibi bilimsel sahalarda eski dilde yazılmış olan eserlere sıkça başvurulmaktadır. Günümüz Türkçe'sinde kullanılmayan birçok sözcük bu metinlerde kullanıldığı için metinlerin okunmasında zorluklar yaşanmaktadır. Bu amaçla internette mevcut birçok Osmanlıca sözcük sitesi bulunmaktadır. Bu siteler her ne kadar aratılan sözcükleri kullanıcıya getirirse de anlamsal olarak yakın sözcüklerin kullanıcıya getirilmesi gibi bir hizmet sağlamamaktadır. Bir diğer problem ise eski dilde yazılmış olan metinlerin günümüz diline çevrilmesi esnasında ortaya çıkan sorunlardır. Bu süreçte karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, çeviri esnasında karşılaşılan bazı kelimelerin eski metinlerdeki deformasyon sebebiyle el yazması metinden okunamamasıdır. Okunmasında zorlanılan kelimenin etrafında bulunan sözcüklerin bir sisteme girilmesi durumunda bu kelimelere en yakın kelimeleri öneren bir sistemin geliştirilmesinin çeviri hatalarını azaltmada çok ciddi yardımı olacaktır. Bu çalışmada geliştirilen sistem sayesinde eski dil metinlerde geçmekte olan kelimeler arasındaki ilişkiler matematiksel olarak tespit edilebilmekte ve verilen sözcükler için yakın sözcüklerin kullanıcıya getirilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için Kültür Bakanlığının sitesinden "Mesneviler" kategorisinde 35, "Divanlar" kategorisinde ise 54 kitap sunuculara indirilmiştir. PDF formatında ve Latin harflerle yazılmış olan bu metinler öncelikle temizleme işlemine tabi tutularak yaklaşık 32000 sayfa metin işlenmiştir. Elde edilen bu metin çıktılarında kullanılan her bir kelime uzayda bir vektör olarak temsil edilerek iki katmanlı bir sinir ağı modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Farklı parametrelerle üretilen vektör uzayları bir sunucuya kopyalanarak bir sorgulama (query) sistemi ve de RESTful API servisleri oluşturulmuştur. Bu sorgulama servislerine kolay erişim için bir internet portalı oluşturulmuştur. Hiper parametrelerin uzay vektörleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Yapılan deneylerde 200 ve 400 farklı boyutlu uzaylar arasında ciddi bir fark olmadığı, Skip-gram algoritmasıyla elde edilen uzaylarda yapılan sorgularda CBOW algoritmasına kıyasla daha yüksek cosine yakınlığı tespit edilmiştir. 5 kelimededen oluşan pencere boyutunun 8 kelimeye kıyasla çok daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu ve de sıkça kullanılan sözcüklerin sayısı düştüğünde daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Köklerine ayırma işleminin örnekleme boyutunda olduğu gibi uzaylardaki vektör sayısını düşürdüğü için sorgulanan sözcükler için cosine mesafesini düşürücü etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eski dilde kullanılan sözcükler için kelime kök ayrıştırıcı geliştirilmesi durumunda ve daha fazla terimden oluşan veri kümelerinde işlem yapıldığı takdirde daha olumlu sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen servislerin tarih ve Türk dili ve edebiyatı sahasında başvurulacak bir kaynak olması hedeflenmektedir. Osmanlıca terimler sözlüklerinde girilen sözcüklere anlamca en yakın olan kelimelerin kullanıcılara önerilmesi sayesinde kullanıcıların kelimeler arasındaki ilişkileri öğrenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca literatürde benzeri bulunmayan bu çalışmanın bu sahada ve özellikle Türkçe dili üzerinde doğal dil işleme sahasında daha farklı çalışmaların yapılmasında öncü olacağı düşünülmektedir. Eski dil metinlerde geçen kelimeler için geliştirilecek olan kelime kökü ayrıştırıcı sistemlerin geliştirilmesi gibi çalışmaların yapılması da bu şekilde teşvik edilecektir. Bu anlamda erişime sunulan REST servisleri sayesinde bu alanda çalışma yapmayı planlayan araştırmacıların kendi sonuçlarını geliştirilen sistemle karşılaştırabilmesi hedeflenmektedir.

### 1.1. Daha önce yapılan çalışmalar

Eski dil metinler üzerinde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, anlamsal benzerlikten çok, harflerin tanınması için gerekli olan resim işleme tekniklerine dayanmaktadır. [Ataer ve Duygulu \(2007\)](#), Osmanlıca metinlerin resim işleme yoluyla getirilmesi (retrieve) için yöntemler önermişlerdir. [Öztürk ve Özbay \(2000\)](#), farklı fontlardaki eski dil metinlerdeki karakterlerin yapay sinir ağlarıyla tanınmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. [Arifoğlu ve Duygulu \(2011\)](#), eski dil metinlerdeki kelimelerin resim işleme yoluyla getirilmesi için iki farklı yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada, Fuzuli Divanından Leyla ile Mecnun bölümünden 10 sayfa veri işlemede kullanılmıştır. [Adıgüzel vd. \(2012\)](#) eski dil metinlerde ikileştirme (binarization) ve çizgi segmentasyonunu (line segmentation) çalışmışlardır. [Kılıç vd. \(2008\)](#) bu çalışmalarında segmentasyon (segmentation) ve normalizasyon (normalization) yapabilen, kenarların tespitini sağlayan (edge identification) bir optik karakter tanımlama sistemi (OCR) önermiş bulunmaktalar.

Bu çalışmaların dışında Türkçe diline yönelik doğal dil işleme konusu altında yapılmış olan çalışmalar mevcuttur. [Bilgin vd. \(2017\)](#) Türkçe dili için daha etkili bir bağıllık ayrıştırması yöntemi önermiştir. [Kalender vd. \(2018\)](#) THINKER ismini verdikleri Türkçe diline özgü bir nesne ismi bağlama sistemi (entity linking) önermektedir. [Kılınç vd. \(2017\)](#) diğer dillere kıyasla Türkçe diline yönelik olarak metin sınıflandırması konusunda yeteri kadar veri kaynakları bulunmaması nedeniyle bu alanda bir çalışmakta yapmış ve bu verileri genel kullanıma sunmuşlardır. [İlgen vd. \(2016\)](#) Türkçe diline özgü kelime anlam belirsizliklerinin giderilmesi için kullanılan özellikler kümelerini çalışmışlardır. Yan yana bulunan ve kelime paketi gibi özelliklerin hangilerinin Türkçe için daha uygun olduğunu incelemişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada Türkçe dilindeki anlamsal eklerin gözetimsiz öğrenme yoluyla tespitine yönelik bir yöntem önerilmiştir ([Can, 2017](#)).

Türkçe dili dışında genel olarak kelimeler arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi konusunda aşağıdaki çalışmalar bulunmaktadır. [Zhu vd. \(2017\)](#) bilgi ağlarında geçen terimler arasındaki anlamsal ilişkilerin tespiti için “wpath” metodu önermiştir. [Li vd. \(2015\)](#) büyük ölçekli bilgi ağlarında bulunan kelimeler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması için hızlı çalışan metotlar önermişlerdir. [Han vd. \(2013\)](#) kelimeler arasındaki benzerliklerin tespitinde sıkça

kullanılmakta olan PMI (Pointwise mutual information) için geliştirilmiş bir yöntem önererek eş anlamlı kelimelerin tespiti ve benzer kelimelerin bulunmasında kolaylık sağlamayı amaçlamaktalar.

Yukarıda bahsedilen çalışmalara bakıldığında zaman eski dilde kullanılan sözcüklere yönelik anlamsal ilişkilerin tespiti ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu anlamda, yapılan bu çalışmanın akademik ortamda benzeri çalışmalar için öncü olması hedeflenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

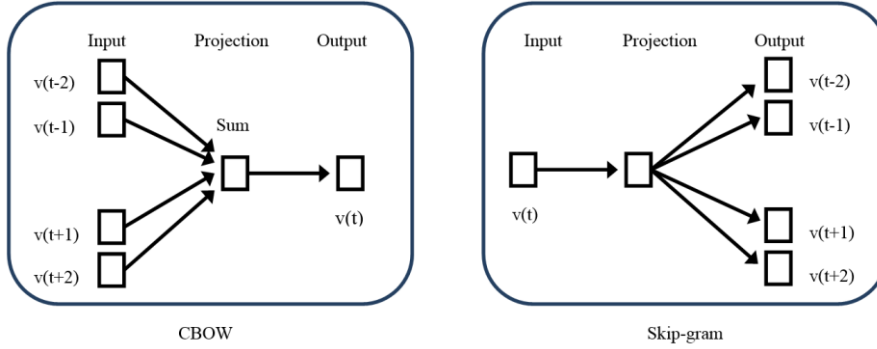
Eski dilde sıkça kullanılan sözcüklerin kelime uzayındaki vektörlere dönüştürülmesi için son yıllarda doğal dil işleme sahasında çok popüler hale gelen ve iki katmanlı bir sinir ağı modeli olarak geliştirilen Word2Vec algoritması kullanılmıştır. Gözetimsiz öğrenme mantığıyla çalışan bu algoritmanın detayları aşağıda anlatılmaktadır.

### 2.1. Yapay Sinir Ağlarının Doğal Dil İşlemede Kullanımı

Word2Vec doğal dilde yazılmış olan metinlerin işlenmesini sağlayan iki katmanlı bir sinir ağı modelidir. Google çalışanlarından Tomas Mikolov ve takım arkadaşları tarafından geliştirilen bu algoritma girdi olarak büyük metinleri işleyerek bir vektör uzayı oluşturur ([Mikolov vd., 2013](#)). Ortaya çıkan bu vektör uzayı yüzlerce boyuttan oluşur (genellikle 200 ile 400 boyut aralığı tercih edilir) ve girdi olarak işlenen metindeki her bir sözcük bu uzayda bir vektör ile temsil edilir. Dolayısıyla her bir kelime için ayrı özellik vektörü (feature vector) oluşturulmuş olur. Bu algoritmanın doğal dil işlemede popüler hale gelmesindeki en büyük etken yakın anlamlardaki kelimeleri temsil eden vektörlerin birbirlerine mesafe olarak yakın olmasını sağlamasıdır. Bu bir anlamda kelimeler arasındaki anlam ilişkilerinin matematiksel olarak tespit edilmesi anlamına gelir. Kelimeleri temsil eden vektörler metin içerisinde anlam itibarıyla birbirine ne kadar yakın ise bu uzayda da birbirlerine o kadar yakınlık gösterirler. Örnek olarak milyonlarca sayfadan oluşan bir metin kümesinde ‘İngiltere’, ‘Fransa’, ‘Elma’ ve ‘Portakal’ kelimeleri sıkça kullanılmakta olsun. Bu sayfalarda geçen cümleler yapay sinir ağı algoritması ile işlendiğinde ortaya bir vektör uzayı çıkacaktır. Bu uzayda ‘İngiltere’ ve ‘Fransa’ kelimelerini temsil eden vektörler arasında bir yakınlık olması yanı sıra ‘Elma’ ve ‘Portakal’ kelimelerini temsil eden

vektörler arasında da bir yakınlık tespit edilir. Bu yöntem sayesinde bunun gibi sözcüklerin metinlerde geçmekte olan yerleri arasındaki yakınlıklara bakılarak kelimeler arasındaki anlamsal yakınlıklar tahmin edilmeye çalışılır. Bu nedenle bu yöntem sadece tek bir dildeki metinlerin işlenmesi için tasarlanmış bir model değildir. Bu yöntem bir derin sinir ağı olmamakla

beraber girdi olarak girilen metinleri rakamsal olarak temsil edilebilir hale getirerek derin sinir ağları tarafından işlenmesine olanak sağlar. Bu algoritmanın uygulama alanı metinlerin işlenmesi ile kısıtlı değildir. Örnek olarak genler, müzik listeleri, kodlar ve sosyal medya ağları gibi alanlarda benzerliklerin tespit edilmesinde de kullanılır.



Şekil 1. CBOW ve Skip-gram algoritmaları

Yapay sinir ağı ile üretilen vektörlere kelime simgesi ismi verilir. Kelime simgeleri üretilirken iki farklı yöntem kullanılır. Bunlar Skip-gram ve CBOW yöntemleridir. Kelime simgelerinin öğrenimi gözetimsiz öğrenme (unsupervised learning) olduğu için Skip-gram ve CBOW (Continuous bag of words) yöntemleri kullanılarak bir çeşit öğrenme etiketleri üretilir. CBOW yönteminde verilen kelimeler için bir kelime tahmini yapılmaya çalışılırken Skip gram tekniğinde verilen bir kelimedenden bu kelimenin çevresindeki kelimeler tahmin edilmeye çalışılır (Bu iki yöntem Şekil 1’de gösterilmektedir). CBOW yöntemi daha çok küçük veri kümeleri için etkili olurken Skip-gram yöntemi daha çok büyük veriler için tercih edilmektedir. Skip-gram modelinde verilen sözcük için etrafında bulunan sözcüklerin bulunmasında aşağıdaki öğrenme hedefi uygulanır (Mikolov vd., 2013). Verilen bir kelime dizisi  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_T$  için Skip-gram modelinde eşitlik 1’deki ortalama log ihtimalinin maksimize edilmesi hedeflenir.

$$\frac{1}{T} = \sum_{t=1}^T \sum_{-c \leq j \leq c, j \neq 0} \log p(w_{t+j} / w_t) \quad (1)$$

Eşitlik 1’de  $c$  parametresi öğrenme kontex boyutunu belirtir ve bu parametrenin büyüklüğüne göre öğrenme esnasında yapılan işlem miktarı değişir. Skip-gram’ın sade halinde  $p(w_{t+j} | w_t)$  aşağıdaki softmax hesaplaması kullanılır:

$$p(w_o | w_I) = \frac{\exp(v'_w \cdot v_{w_I})}{\sum_{w=1}^W \exp(v'_w \cdot v_{w_I})} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de  $v_w$  ve  $v'_w$   $w$ ’nin sinir ağındaki vektörel girdi ve çıktısını belirtir.  $W$  ise uzaydaki tüm kelimelerin boyutunu belirtir. Çok büyük uzaylarda  $W$  çok büyük olduğu için bu hesaplama işlemi zorlaşır ve bu nedenle tam softmax hesaplaması yerine hiyerarşik softmax fonksiyonu tercih edilir (Mikolov vd., 2013).

## 2.2. Gözetimsiz Öğrenme Algoritmasının Eski Dil Metinlere Uygulanması

Gözetimsiz öğrenme metodlarının eski dil kullanılan metinlere uygulanması birkaç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bu metinler bilgisayar ortamına aktararak dijital formata çevrilir ve bilgisayar programlarıyla işlem yapılabilir hale getirilir. İkinci aşamada elde edilen bu metinler üzerinde öğrenme metodlarının uygulanması (training) ve farklı vektör uzaylarının oluşturulması işlemi gerçekleştirilir. Üçüncü aşamada ise verilen herhangi bir sözcüğün bu uzaylarda aranması ve kendisine “cosine” mesafesi olarak en yakın sözcüklerin sorgulanması gerçekleştirilir. Aşağıda bu çalışmada uygulanan bu işlemlerin her bir aşaması detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

### 2.3. Metinlerin Elde Edilmesi ve Temizlenmesi

Bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli olan metinlerin öncelikli olarak bilgisayar ortamına aktarılması ve de bilgisayar programları tarafından işlenebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada metnin orijinal haline bağlı olarak farklı yöntemler uygulanır. Eğer kullanılmak istenen içerik basılı kitap halinde mevcut ise bu kitapların öncelikle tarayıcılar (scanner) aracılığıyla resim olarak bilgisayar ortamına aktarılması ve daha sonra resimden metine dönüştürme (OCR) teknikleri kullanılarak işlenebilir metin dosyası (text) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Kullanılan alfabe eğer Latin alfabesi değil ise bir sonraki aşamada bu kelimelerin Latin alfabesi formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Eğer Latin harfleri şeklinde yazılmış olan bu içerik PDF dosya formatı şeklinde bilgisayar ortamına aktarılmış ise bu durumda bu çalışmada olduğu gibi bu dosya formatındaki içeriğin öncelikle text formatına dönüştürülmesi ve bu dönüştürme işlemi esnasında ortaya çıkan kullanışsız karakter ve kelimelerin (noise) bu dosyalardan temizlenmesi gerekir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Kültür Bakanlığının sitesinden (URL-1, 2016) “Mesneviler” kategorisinde 35 “Divanlar” kategorisinde ise 54 kitap sunuculara indirilmiştir. PDF formatında ve Latin harflerle yazılmış olan bu metinler öncelikle temizleme işlemine tabi tutularak yaklaşık 32000 sayfa metin işlemeye geçirilmiştir. Bu sayfaların 22825 sayfası Divanlar klasöründen 9456 sayfası ise Mesneviler kategorisindeki kitaplardan oluşmaktadır. PDF formatından “txt” formatına dönüştürme yapılırken sayfa numaraları gibi kısımların işlenmesi esnasında anlam ifade etmeyen bazı karakterler ortaya çıkmaktadır. Python programlama dili ile yazılan bir program sayesinde 89 dosyanın her birisi işlenerek temizleme yapılmıştır. Daha sonra tüm dosyalardan elde edilen içerik birleştirilerek dört farklı formata dönüştürülmektedir. Bu formatların birincisinde tüm kelimeler, SnowBall Stemmer (URL-2, 2018) kullanılarak köklerine indirgenmektedir. İkincisinde ise kelimenin orijinal hali kullanılmaktadır. Diğer iki parametre ise bu kelimelerin küçük harflere dönüştürülmesi veya orijinal halinin korunması üzerinedir. Dolayısıyla bu formatlar özetlenecek olursa: “Stemmed, lower case”, “Stemmed, upper case”, “Unstemmed, lower case”, “Unstemmed, upper case” şeklindedir. Word2Vec uygulamalarında köklerine ayırma ve küçük harflere dönüştürme

işlemi literatürdeki çalışmalarda da test edilen yöntemlerdendir (Basu vd., 2017). Köklerine ayırma işlemi için kullanılan SnowBall Stemmer Türkçe dilini de desteklemektedir (URL-4, 2019). Bu işlem esnasında SnowBall Stemmer, eski dilde kullanılan terimlerin yüzde 64’ü üzerinde kök ayrıştırma işlemi gerçekleştirmiştir. Eski dilde sıkça kullanılan sözcükler üzerine bir kök ayrıştırıcının geliştirilmesi ve bu çalışmaya uygulanması durumunda daha etkili sonuçlar elde edilecektir.

### 2.4. Öğrenme Aşaması ve Vektör Dosyalarının Oluşturulması

Sayfalardan ortaya çıkarılan bu dört farklı metin dosyası üzerinde gözetimsiz öğrenme algoritmalarının uygulanabilmesi için dosyalar öncelikle sunuculara kopyalanmıştır. Bulut sistemi (cloud computing) şirketlerinden bir sanal makine bu amaçla kullanılmak için kiralanmıştır. Makine öğrenmesi aşamasında kullanılan yapay sinir ağı algoritmasının kaynak kodu Google’ın kaynak kodu arşivinden sunuculara indirilmiştir (URL-3, 2019). Derleme işlemi için kaynak kod dosyası içinde gelen komut dosyalarında değişiklikler yapılmıştır. 4 farklı girdi dosyası üzerinde 3 farklı parametre ile öğrenme algoritması tekrar tekrar koşturularak 32 farklı vektör dosyası oluşturulmuştur. Bu parametre aralıkları Word2Vec kütüphanesinin indirilebildiği sitede belirtilmiştir (URL-5, 2019). Değiştirilen parametrelerden birisi vektör boyutlarıdır (dimension) ve bu boyutlar 200 ile 400 olarak test edilmiştir. Diğer bir parametre, pencere boyutudur (window size) ve bu parametre 5 ve 8 olarak değiştirilmiştir. Üçüncü parametre ise örnekleme boyutudur ki bu parametre  $1e-3$  ve  $1e-5$  olarak değiştirilmiştir. Öğrenme işlemi sonucunda ortaya toplamda 32 ( $4 \times 2 \times 2 \times 2$ ) farklı vektör dosyası çıkmıştır ve bu vektör dosyaları yaklaşık olarak diskte 3 GB yer kaplamaktadır. Ortaya çıkan vektör uzayları bir sunucuya kopyalanarak bir sorgulama sistemi ve de RESTful API servisleri oluşturulmuştur.

### 2.5. Vektör Dosyalarının Sorgulama Amaçlı Kullanımı

Ortaya çıkan vektör dosyalarında uzaydaki her bir kelime bir vektör ile temsil edilmekte olup bu uzay 200 ve 400 boyuttan oluşmaktadır. Verilen bir kelime için benzer sözcüklerin bulunması amacıyla vektörler arasındaki cosine mesafesi hesaplanmaktadır. Word2Vec kütüphanesiyle beraber gelen bir uygulamada verilen kelimelere cosine mesafesini hesaplayıp en yakın 40 vektöre

denk gelen kelimeleri listeleyen bir program mevcuttur. C dilinde yazılmış olan bu programda değişiklikler yapılarak REST API ile uyumlu çalışır hale getirilmiştir.

## 2.6. RESTful API Tabanlı Servislerle Sorgulama

Kullanıcıların geliştirilen sisteme erişebilmesi için iki yöntem sağlanmaktadır. Bunlardan birincisi oluşturulan RESTful API tabanlı servisler üzerinden diğeri ise internet arayüzü üzerinden sağlanmaktadır. REST servisleri ile erişim

sağlanılmasının iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi bu alanda çalışmalar yapmayı planlayan araştırmacıların kendi sonuçlarını geliştirilen bu sistemle karşılaştırabilmeleri için bir imkân sağlamak ve bu şekilde bu sahada yapılacak olan yeni çalışmaların teşvik edilmesidir. Diğeri bir amaç ise Osmanlıca sözlük hizmeti veren farklı internet sitelerinden bu servislere kolay erişim sağlanması ve bu şekilde kullanıcılara aradıkları sözcüklere yakın sözcüklerin gösterilmesidir.

**Tablo 1.** REST servisi URL parametreleri

Parametre numarası	Parametre açıklaması	Kabul edilen birinci değer	Kabul edilen ikinci değer
Param1	Kelimenin köklerine ayrılıp ayrılmamış olması	stemmed	unstemmed
Param2	CBOW veya Skip-gram algoritmaları	cbow	skip
Param3	Vektör boyutu	200	400
Param4	Pencere boyutu	5	8
Param5	Örneklendirme boyutu	3	5
Param6	Sorgulanan kelime	Sözcük	Sözcük

Sistemin sorgulanabilmesi için GET isteği yapılan URL üzerinden değişkenlerin sunucuya aktarılması gerekmektedir. Bu parametreler Tablo 1’de listelenmektedir ve sorgulama linki şu şekilde oluşturulur: “http://HOST\_URL/ kelime/ liste/ param1/ param2/ param3/ param4/ param5/ param6”. Parametre 1 kelimelerin köklerine ayrılmış olan vektör veri tabanında aranıp aranmayacağını belirtmektedir. Parametre 2 hangi çeşit algoritma ile üretilen vektör veri tabanını belirtmektedir. Parametre 3 Vektör boyutunu, parametre 4 pencere boyutunu, parametre 5 ise örneklendirme boyutunu ifade etmektedir. Son olarak parametre 6 ise sunucuda aratılması istenen sözcüğü belirtmektedir. HOST\_URL şuan itibariyle bu IP üzerinden işlem sağlamaktadır: 35.163.160.151:8081. Bu URL’de herhangi bir değişiklik olması durumunda son güncel IP adresi http://kelime.site adresinden elde edilebilir. Örnek olarak aşağıdaki URL’e verilen parametreler gönderildiği takdirde ‘mihver’ kelimesi sunucu tarafından sorgulanmaktadır:

http://HOST\_URL/kelime /liste/  
unstemmed/skip/400/8/5/mihver

Bu örnekte sözcük, köklerine ayrıştırma yapılmayan 400 boyutlu uzayda aranmaktadır. Bu uzaydaki vektörler Skip-gram yöntemiyle

oluşturulmuş, pencere boyutu 8 ve aynı zamanda örnekleme boyutu da 1e-5 olarak belirtilmiştir.

RESTful API üzerinden yapılan GET istekleri sonucunda kullanıcıya bir JSON nesnesi gönderilir. Bu JSON nesnesi altında üç alt nesne mevcuttur. Bunlar: “links”, “scores” ve “scoresRanked” şeklinde sıralanmaktadır. “Links” başlığı altında sorgulanan sözcükle alakalı 40 kelime kullanıcıya gönderilir. Bununla beraber bu ilişkili kelimelerin tekrar aynı parametrelerle sorgulanmasını sağlayan linkler mevcuttur. Chrome veya Firefox gibi tarayıcılar vasıtasıyla bu JSON nesnesi görüntülediği takdirde bu linklere tıklayarak kullanıcılar JSON nesnesinin detaylarını inceleyebilir. Fakat JSON nesnesinin düzgün bir formatta görüntülenebilmesi için JSON görüntüleyici gibi tarayıcı eklentilerinden birinin kurulmuş olması gerekmektedir. Aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi bu JSON nesnesi içerisinde “scoresRanked” başlığı altında her bir kelime için verilen cosine mesafesi yakınlığı ve bu kelime ile tekrar sorgulama yapılmasını sağlayan link mevcuttur.

```
scoresRanked": [
  "muhit",
  "0.874222",
```

```
"http://35.163.160.151:8081/kelime/listele/unstem
med/skip/400/8/5/muhit"
```

```
],[
"rubâ'î",
"0.873617",
```

```
"http://35.163.160.151:8081/kelime/listele/unstem
med/skip/400/8/5/rubâ'î"
```

```
],[
"harab",
"0.873447",
```

```
"http://35.163.160.151:8081/kelime/listele/unstem
med/skip/400/8/5/harab"
```

```
]
```

Aynı zamanda bu liste bir dizi şeklinde verildiği için bu liste cosine mesafesi yakınlığına göre büyükten küçüğe göre sıralanmıştır. “scores” başlığı altında bu mesafeler ayrıca listelenmiştir.

Aranacak Kelime	Köklerine Ayrılmış
<input type="text" value="mihver"/>	<input type="text" value="Hayır"/>
Algoritma	Vektör boyutu
<input type="text" value="Skip Gram"/>	<input type="text" value="400"/>
Pencere boyutu	Örneklendirme boyutu
<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="5"/>

Şekil 2. İnternet tabanlı kullanıcı arayüzü

### 3. Bulgular

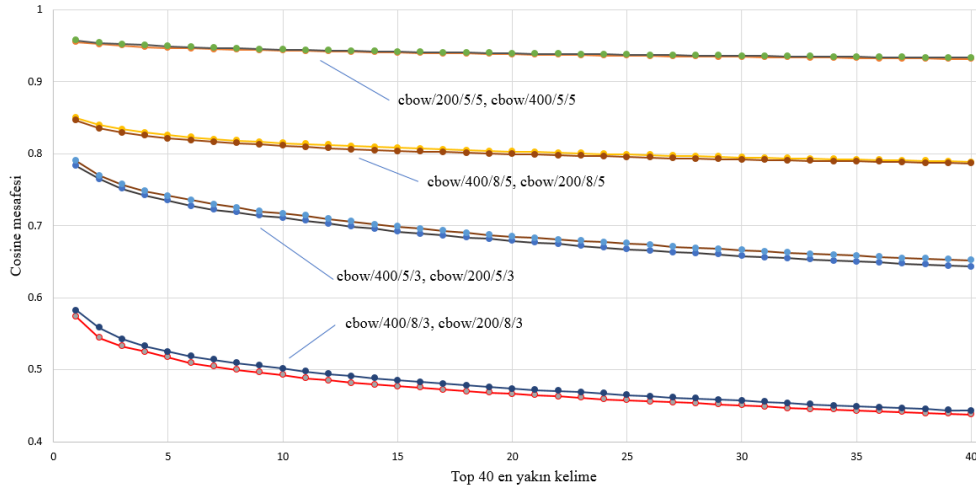
Kullanılan sinir ağı algoritması herhangi bir veri kümesi için birçok parametre ile çalıştırılabilir. Tablo 1’de bu parametreler listelenmiştir. Bu parametrelerin değişmesi durumunda ortaya farklı uzay vektörleri çıkmaktadır ve bu uzaylardaki vektörler arasındaki açılar değişiklik göstermektedir. Bu vektörel uzayların hangisinin işlenen veriyi en iyi şekilde yansıttığının tespit edilmesi detaylı bir değerlendirme gerektirir. Verilen sorgu kelimeleri sonucunda listelenen sözcüklerin sorgu kelimesine olan cosine mesafesi arttıkça kelime benzerliği de artmaktadır. Bu nedenle verilen parametreler arasındaki ilişkiler cosine mesafesi ölçeği ile karşılaştırılmaktadır. Bu işlem için öncelikle kelime havuzundan 400 farklı kelime seçildikten sonra bu kelimeler bir REST servisine gönderilerek geri gelen 40 kelimenin sorgu kelimesine olan cosine mesafesi JSON formatında kaydedilmektedir. Daha sonra Python programlama dili ile yazılan bir komut dosyası ile bu kelimelerin cosine mesafelerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 3, 4, 5, 6’da bu deney sonuçları gösterilmektedir. Bu figürlerde x eksenine verilen

### 2.7. İnternet Arayüzü ile Sorgulama

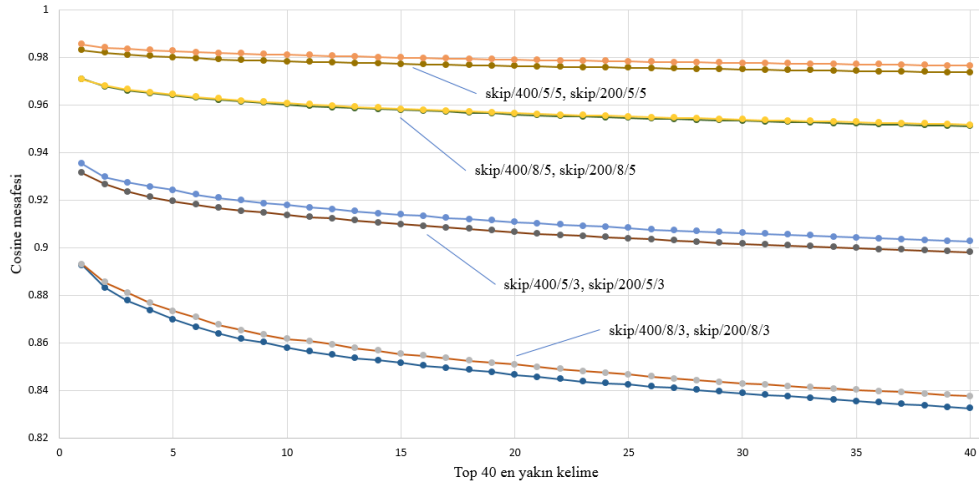
RESTful API dışında bu çalışmada normal sorgulamalar için bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüze ait bir ekran çıktısı Şekil 2’de verilmiştir. Bu arayüzde kullanıcılar sorgulanacak kelimeyi girdikten sonra diğer parametreleri seçebilmektedirler. “Listele” butonuna tıklandığında seçilen parametrelere göre sorgulama yapılarak aşağıda sonuçlar listelenmektedir. Daha sonra eğer kullanıcı aşağıda listelenen sözcüklerle tekrar arama yapmak isterse sonuçlar kısmında listelenen linklere tıklayabilmektedir. Her bir sözcük kendisine en yakın ilişkideki diğer 40 sözcüğe bağlanmak suretiyle bir ağ yapısı oluşturur. Bu arayüz sayesinde kullanıcılar, sözcükler arasındaki bu bilgi ağı üzerinde gezinti yapabilirler. Kullanıcılar bu siteye aşağıdaki link üzerinden erişebilmektedirler: <http://kelime.site>.

kelimelere en yakın 40 kelimeye denk gelirken y eksenine bu kelimenin sorgulanan kelimeye olan cosine mesafesini göstermektedir. Şekil 3’te verilen sonuçlar kelime köklerine ayrılmış vektörlerden ve de CBOW algoritması kullanılan uzaydan elde edilmiştir. Şekil 4’de yine aynı şekilde kök ayrıştırma yapılmış fakat Skip-gram algoritması kullanılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6’da sırasıyla CBOW ve Skip-gram kullanılmıştır fakat farklı olarak veri kümesinde köklerine ayırma işlemi uygulanmamıştır.

Bu deneyde elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir. Öncelikli olarak uzay boyutundaki değişikliğin elde edilen sonuçlarda çok ciddi bir farka yol açmadığı gözlenmiştir. 200 ve 400 şeklinde değiştirilen uzay boyutu sonuçları diğer parametreler sabit tutulduğunda ciddi bir farka yol açmamıştır. Şekillerde görülen üst üste gelmiş olan çizgiler bunu göstermektedir. Daha fazla boyut, daha fazla işlem masrafı ve depolama masrafı anlamına geldiği için bunun gibi kısıtlamaların olduğu sistemlerde 200 boyutlu uzayların oluşturulması yeterli olacaktır.



**Şekil 3.** Kelimeler köklerine ayrılmış ve CBOW algoritması kullanılmakta



**Şekil 4.** Kelimeler köklerine ayrılmış ve Skip-gram algoritması kullanılmakta

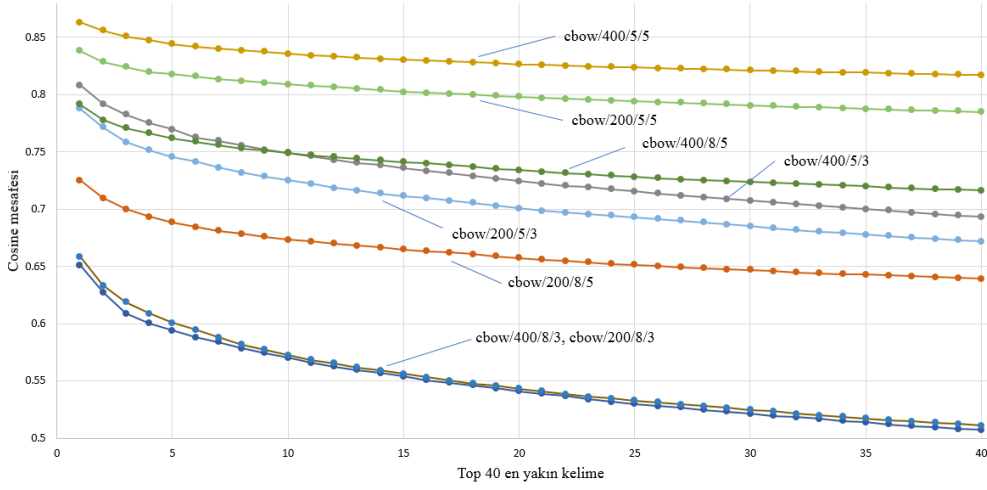
Diğer bir gözlem ise genel olarak Skip-gram algoritmasında gözlenen mesafe yakınlıklarının CBOW algoritmasına göre çok daha yüksek oluşudur (Şekil 3, Şekil 4 ile karşılaştırılmalıdır, Şekil 5 ise Şekil 6 ile karşılaştırılmalıdır). Skip-gram algoritması genel olarak çok sık olmayan sözcüklerde iyi sonuçlar verir. CBOW ise performans olarak Skip-gram'a göre üstündür. Bu nedenle elde edilen sonuçlara göre performans problemi yaşanmayan veri boyutlarında Skip-gram algoritmasının kullanımı avantaj sağlayacaktır.

Üçüncü bir parametre olan pencere boyutu da elde edilen sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir. Deney sonuçlarında açıkça görüldüğü gibi 5 kelimeli pencere boyutu 8 kelimeli pencere sonuçlarına kıyasla çok daha yüksek cosine mesafeli sonuçlar ortaya koymaktadır. 8 kelimedenden oluşan pencerelerde kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiler azalmaya başladığı için böyle bir sonucun gözlenmesi beklentiye uygundur.

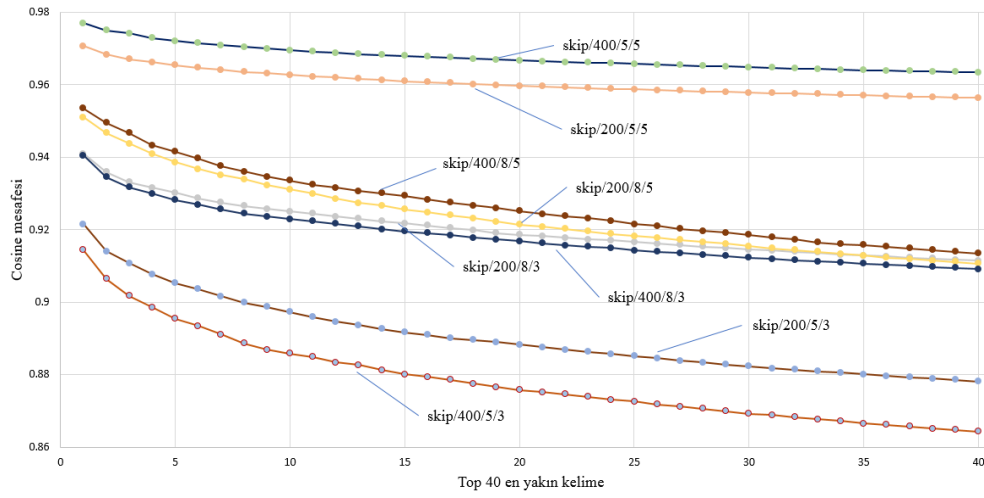
Bir diğer parametre ise örnekleme boyutudur ki bu parametre  $1e-3$  ve  $1e-5$  olarak değiştirilmiştir. Sonuçlarda da gözlemlendiği üzere daha fazla örnekleme yapılan  $1e-5$  deneylerinde daha yüksek cosine mesafeli sonuçlar elde edilmiştir. Daha fazla örnekleme yapılan verilerde sıkça geçen terimler daha fazla temizlendiği için elde edilen uzayın daha az rastlanan sözcüklerden oluştuğu ve bu nedenle kelime vektörleri arasındaki mesafenin arttığı düşünülmektedir.

Aynı şekilde köklerine ayrılmış ve ayrılmamış kelime havuzlarından oluşturulmuş vektör uzayları karşılaştırıldığı zaman köklerine ayrılmış olan uzayda cosine mesafelerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak yukarıda örnekleme boyutunda olduğu gibi köklerine ayırma işlemi yapıldığı zaman uzaydaki vektör sayısının azaldığı ve daha temiz bir veri ile uzayların oluşturulduğu düşünülmektedir.





Şekil 5. Kelimeler köklerine ayrılmamış ve CBOW algoritması kullanılmakta



Şekil 6. Kelimeler köklerine ayrılmamış ve Skip-gram algoritması kullanılmakta

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan bu çalışmada eski dil metinlerde geçmekte olan sözcükler arasındaki anlamsal ilişkilerin sinir ağları yöntemiyle tespit edilmesini sağlayan bir sistem geliştirilmiştir. Bu amaçla Kültür bakanlığı sitesinden elde edilen 32000 sayfa metin temizleme işleminden geçirildikten sonra üzerinde bir yapay sinir ağı algoritması koşturulmuştur. Ortaya çıkan uzay vektörleri bir sunucuya aktararak bir RESTful API servisi oluşturulmuştur. Kullanıcılar için <http://kelime.site> isimli internet sitesi üzerinden bir sorgu arayüzü oluşturularak kelimeleri sorgulama imkânı sağlanmıştır. Geliştirilen bu servislerin ve internet arayüzünün iki farklı amaçla kullanılması hedeflenmektedir. Birinci hedef bu sistemin Türk Dil Kurumu ve Kültür Bakanlığı gibi kurumların ve diğer Osmanlıca sözlük hizmeti sağlayan şirketlerin internet sitelerine entegre edilmesi ve aratılan sözcüklere

yakın terimlerin kullanıcılara getirilmesidir. İkinci hedef ise tarih ve edebiyat gibi bilimsel çalışmalarda eski dilde yazılı olan metinlerin günümüz Türkçe'sine çevrilmesi esnasında ortaya çıkan hataların düşürülmesidir. Ayrıca kullanıma sunulan REST servisleri sayesinde bu alanda çalışmalar yapmayı planlayan araştırmacılara, kendi sonuçlarını geliştirilen sistemle karşılaştırabilme imkânı sunulmuş ve bu şekilde bu sahada yapılacak olan farklı akademik çalışmaların teşvik edilmesi hedeflenmiştir.

Yapılan analizlerde 200 ve 400 farklı boyutlu uzaylar arasında ciddi bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Skip-gram algoritmasıyla elde edilen uzaylarda yapılan sorgularda daha yüksek cosine yakınlığı tespit edilmiştir. 5 kelimededen oluşan pencere boyutunun 8 kelimeye kıyasla çok daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu ve de sıkça geçen sözcüklerin sayısı düştüğünde daha iyi sonuçlar ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Köklerine ayırma

işleminin örnekleme boyutunda olduğu gibi uzaylardaki vektör sayısını düşürdüğü için sorgulanan sözcükler için cosine mesafesini düşürücü etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eski dilde kullanılan sözcükler için kelime kök ayrıştırıcı geliştirilmesi durumunda ve daha fazla terimden oluşan veri kümeleriyle işlem yapıldığı takdirde daha olumlu sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Geliştirilen bu sistemde şu ana kadar 54 kitap (32000) sayfa metin taranmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda eski dilde yazılı olan daha fazla metin kaynağının taranması ve bu sayede sonuçların kalitesinin artırılması hedeflenmektedir. Bir diğer problem ise şu anda kullanılan sunucuların sanal makine olması nedeniyle belirli zamanlarda sorgulama sisteminde yavaşlama tespit edilmesidir. İlerleyen zamanlarda bu servislerin Amazon bulut servisleri üzerinden kiralanacak olan sunuculara aktararak daha güvenilir ve hızlı çalışan bir platform kurulması amaçlanmaktadır. Python ile yazılmış olan servislerin bir docker platformuna taşınarak yük dağılımı (load balancing) konularında daha yüksek performanslı, yanıt süresinin çok daha kısa olduğu bir sistemin elde edilmesi planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- Adıgüzel, H., Şahin, P., Kalpaklı, M., 2012. Line segmentation of Ottoman documents. 20th Signal Processing and Communications Applications Conference, Fethiye Mugla, Turkey.
- Arifoğlu, D., Duygulu, P., 2011. Word retrieval in ottoman documents. IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, Antalya, Turkey.
- Ataer, E., Duygulu P., 2007. Matching ottoman words: an image retrieval approach to historical document indexing. Proceedings of the 6th ACM international conference on Image and video retrieval, Amsterdam, Netherlands.
- Basu, M., Roy, A., Ghosh, K., Bandyopadhyay, S., Ghosh, S., 2017. A Novel Word Embedding Based Stemming Approach for Microblog Retrieval During Disasters. 39th European Conference on Information Retrieval, Scotland, UK.
- Can, B., 2017. Unsupervised learning of allomorphs in Turkish. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 25(4), 3253-3260.
- Chris, B., Faralli, S., Panchenko, A., Ponzetto, S., 2018. A framework for enriching lexical semantic resources with distributional semantics. Natural Language Engineering, Cambridge University Press, 24(1), 265-312.
- Church, K. W., 2017. Word2Vec. Natural Language Engineering: Cambridge University Press, 155 p.
- Deniz, K., Özçift, A., Bozyigit, F., Yıldırım, P., Yücalar F., Borandag E., 2017. TTC-3600: A new benchmark dataset for Turkish text categorization. Journal of Information Science, 43(2), 174-185.
- Ganggao, Z., Iglesias, C. A., 2017. Computing Semantic Similarity of Concepts in Knowledge Graphs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 29(1), 72-85.
- İlgen, B., Adalı, E., Tantuğ, A., 2016. Exploring feature sets for Turkish word sense disambiguation. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 24(1), 4391-4405.
- Kalender, M., Korkmaz, E. E., 2018. THINKER - Entity Linking System for Turkish Language. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 30(2), 367-380.
- Kaya, Y., Ertugrul, O., 2016. A novel feature extraction approach for text-based language identification: Binary patterns. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31(4)
- Kılıç, N., Gorgel, P., Ucan N., Kala, A., 2008. Multifont Ottoman character recognition using support vector machine. In Communications, Control and Signal Processing. St Julians, Malta.
- Lushan H., Finin, T., McNamee, P., Joshi, A., Yesha, Y., 2013. Improving Word Similarity by Augmenting PMI with Estimates of Word Polysemy. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 25(6), 1307-1322.
- Marrero, M, Urbano, J., 2018. A Semi-automatic and low-cost method to learn patterns for named entity recognition. Natural Language Engineering, 24(1), 39-75.
- Metin, B., Amasyalı, M., 2017. Dependency parsing with stacked conditional random fields for Turkish. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32(2).
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J., 2013. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space: arXiv preprint, 1301.3781.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., Dean, J., 2013. Distributed Representations of

- Words and Phrases and Their Compositionality. Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems, Lake Tahoe, Nevada.
- Ozturk, A., Gunes, S., Ozbay, Y., 2000. Multifont Ottoman character recognition. 7th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Montreal, Quebec.
- Peipei, L., Wang, H., Zhu, K. Q., Wang, Z., Hu, X., Wu, X., 2015. A Large Probabilistic Semantic Network Based Approach to Compute Term Similarity. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 27(1), 2604-2617.
- Soon, W. M., Ng, H. T., Lim, D., 2001. A machine learning approach to coreference resolution of noun phrases. Computational linguistics, 27(4), 521-544.
- URL-1,2016.  
<http://ekitap.kulturturizm.gov.tr/TR,78353/divanlar-ve-mesneviler.html>
- URL-2, 2018. <http://snowball.tartarus.org/>
- URL-3,2019.  
<https://code.google.com/archive/p/word2vec/source/default/source>
- URL-4,2019.  
<http://snowball.tartarus.org/algorithms/turkish/stemmer.html>
- URL-5,2019.  
<https://code.google.com/archive/p/word2vec/>

## Düzlem İçi Eğilme Momenti Altındaki Elips Enkesitli T-birleşimlerinin Dayanımları

### *Resistance of Elliptical Hollow Section T-joints Under In-plane Bending Moment*

Emre ÖZYURT<sup>\*a</sup>, Murat YILMAZ<sup>b</sup>

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 28.12.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 07.05.2019

#### Öz

Elips en kesitli içi boş profiller (EHS), son yıllarda estetik ve şık görünümünden ötürü popülerdir. Bu profiller mimarisel avantajlarının dışında, mühendislik açısından da bir çok avantajlara sahiptirler. Ancak, bu profillerden yapılmış birleşimlerin tasarımı için herhangi bir yönetmelik mevcut değildir. Yapılan tasarımlarda genellikle eşdeğer kutu profil yaklaşımı kullanılmaktadır. EHS'ler iki farklı çaplara sahip oldukları için, dört farklı oryantasyon ile birleşim türü oluşturulabilmektedir. Bu yüzden, eşdeğer kutu profil yaklaşımı her zaman ekonomik ve güvenli sonuçlar vermeyebilir. Bu çalışmanın amacı, mevcut yönetmelikteki eşdeğer kutu profil yaklaşımı kullanılarak EHS T-birleşimlerinin düzlem içi eğilme momenti etkisindeki dayanımlarını ve göçme modlarını incelemektir. Bu çalışma, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yazılımı olan ABAQUS v.6-14.1 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerden önce sonlu elemanlar modeli mevcut bir test ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Yapılan doğrulama sonuçlarına göre, sonlu eleman tipi, malzeme özelliği, sonlu eleman ağ aralığı ve doğrusal olmayan analizlerde ele alınan zaman adımı gibi parametreler sayısal analizlerde kullanılmıştır. Bir dizi parametrik çalışma, ana elemanların geometrik özellikleri ve oryantasyon tipleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz sonuçları eşdeğer kutu yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sayısal analiz sonuçlarına göre, mevcut yöntem ekonomik olmayan öngörülerde bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, tip 1 ve 2 ve tip 3 ve 4 oryantasyonları benzer davranışlara ve dayanımlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden, ekonomik ve güvenli bir yöntem geliştirilmiş ve sayısal modeller ile karşılaştırılmaları yapılarak doğrulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Düzlem İçi Eğilme Momenti, Elips Enkesitli içi Boş Kesit (EHS), Oryantasyon Tipi, Sonlu Eleman Metodu, T- birleşimler

#### Abstract

*Elliptical Hollow Sections (EHS) have become popular in recent years due to their aesthetic and elegant appearance. Apart from its architectural advantages, it has many advantages in terms of engineering. However, there is no design guide for the design of the joints made of EHS. In the structural applications, equivalent box profile approach is generally used. Since the EHSs have two different diameters, the joint can be formed by four different orientations. Therefore, the equivalent box profile approach may not always yield economic and safe results. The aim of this study is to examine the EHS T-joints in terms of their in-plane bending moment and their failure modes by using the equivalent box profile approach in the current design guides. This study was carried out using the non-linear finite element software ABAQUS v.6-14.1. Before numerical analysis, the finite element model was compared with an existing test. According to the validation results, parameters such as finite element type, material property, mesh size and time step taken in non-linear analyzes were used in parametric studies. A series of parametric analyses were carried out by taking into account the geometrical parameters and orientation types of the main elements. The results of the numerical analysis were compared with the equivalent box method. According to the results of the numerical analysis, it was found that the current method made non-economic predictions. In addition, the type 1 and 2 and type 3 and 4 orientations have similar behavior and strength. Therefore, an economical and safe method has been developed and verified by comparison with numerical models.*

**Keywords:** Elliptical Hollow Section (EHS), Finite Element Method, In-plane bending moment, Orientation Type, T-joints

<sup>\*a</sup> Emre ÖZYURT; emre.ozyurt@gumushane.edu.tr; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0002-1465-596X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1873-6206

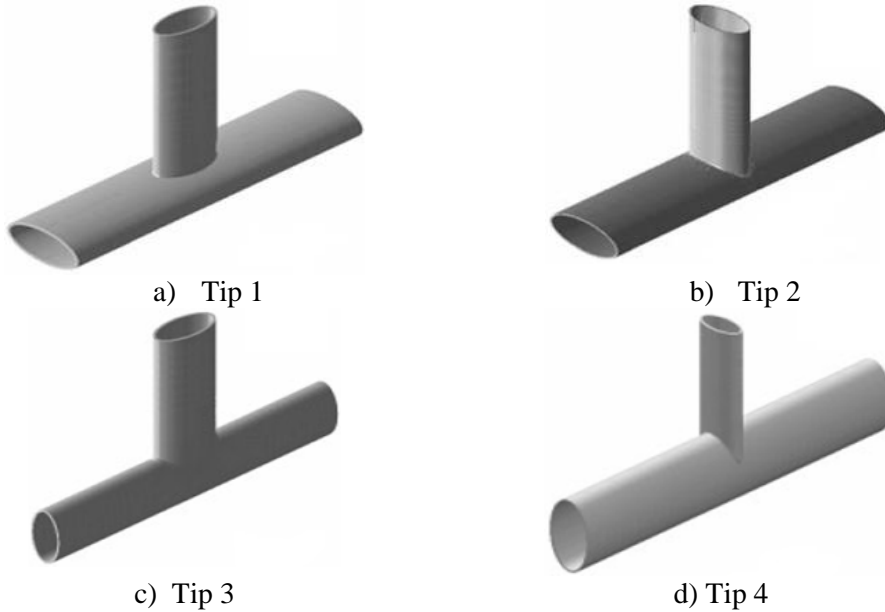
## 1. Giriş

Elips en kesitli içi boş çelik profiller (EHS), yapısal tasarımlarımızda kullanılan en son çelik profildir. EHS, estetik görünümü ve bazı yapısal avantajları için dünya genelinde çeşitli yapılara uygulanmıştır. Ancak, bu uygulamalara yönelik herhangi bir tasarım yönetmeliği veya yöntemi mevcut değildir. Günümüzde, Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliği, EHS'lerin tasarımına rehberlik etmemektedir. Ancak, bazı uluslararası yönetmelikler, örneğin; Eurocode 1993-1-8 (CEN, 2005) ve CIDECT No.3 (Packer vd., 2009), EHS'ler üzerine ekonomik olmayan yöntemler içermektedir. Ayrıca, EHS'lerin köşelerinin olmaması nedeniyle korozyona karşı daha güçlü bir koruma sağladığı bilinmektedir (Özyurt, 2018a). Bunların yanında, EHS'ler büyük ve küçük çaplara sahip olmalarından dolayı, rüzgara karşı avantaj sağlayacak şekilde tasarımı yapılabilmesi önemli avantajlarından birisidir. Bu gibi önemli özelliklerinden dolayı, bu profiller; havaalanları, köprüler, sergi salonları, stadyumlar, alışveriş merkezleri vb. birçok yapının tasarımında kullanılmaktadır (Bortolotti vd., 2003) (Şekil 1).



Şekil 1. EHS uygulamalarına bir örnek (URL-1)

Bortolotti vd. (2003) ve Pietrapetrosa vd. (2003), EHS X ve N-birleşimlerinin aksel yüklemeye altındaki dayanımlarını incelemişlerdir. EHS T-birleşimlerinin iki farklı çapa sahip olmasının avantajından kaynaklanan dört farklı oryantasyon tipleri, Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. EHS T-birleşiminin farklı oryantasyon tipleri (Packer vd., 2012)

Choo vd. (2003a), bu dört farklı oryantasyon tiplerinin sonlu elemanlar yöntemleriyle davranışlarını araştırmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, EHS X-birleşimlerinin yük taşıma kapasitelerinin, tip 4, 3, 2'den 1'e doğru azaldığı gözlemlenmiştir. Wardenier (2007), EHS birleşimlerinin farklı göçme mekanizmalarını

incelemiştir ve CIDECT yönetmeliğinde yer alan boru ve kutu enkesitli elemanların hesabı için önerilen denklemleri kullanarak EHS birleşimlerinin dayanımları için bir yöntem geliştirmiştir. Shen vd. (2012, 2013), dört farklı oryantasyon tipinden oluşan EHS X-birleşimlerinin başlık elemanları basınç ve çekme

kuvvetleri etkisindeyken davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarının sonucunda, tip 1 ve 2 (bkz. Şekil 2. (a) ve (b)) oryantasyonları için EHS X-birleşimlerinin, kutu profillerden oluşmuş birleşimler ile davranış bakımından benzerlikler gösterdikleri sonucuna varmışlardır. Diğer tiplerdeki oryantasyonlarının (bkz. Şekil 2 (c) ve (d)) ise boru enkesitli elemanlardan oluşmuş birleşimlere benzer sonuçlar verdiğini saptamışlardır. Haque vd. (2012), 12 adet test gerçekleştirerek EHS X- ve T-birleşimlerinin aksenel yük taşıma kapasitelerini incelemişlerdir. Oryantasyon tipi, bağlantı açısı ve başlık elemanlarına uygulanan yük türünün etkileri araştırılmıştır. Buna ilaveten, birleşimlerin kapasitesini belirlerken eşdeğer kutu yaklaşımının, eşdeğer boru yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verebileceği kanısına varmışlardır. Packer vd. (2012), hem deneysel hem de sayısal analizler yaparak, EHS T- ve X-birleşimlerinin davranışlarını araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda, eşdeğer kutu veya boru birleşimlerinin güvenilir sonuçlar vermediğini saptamışlardır. EHS T- ve X-birleşimlerinin dayanımlarını hesaplamak için yaptıkları çalışma sonucunda yeni bir yöntem önermişlerdir. Ancak, önerilen bu yöntem, EHS T-birleşimlerinin eğilme momenti altındaki davranışını kapsamamaktadır. Literatür araştırmasından görüldüğü üzere, EHS T-birleşimlerinin eğilme momenti altındaki davranışları incelenmediği görülmektedir. Bu yüzden bu çalışmada, düzlem içi eğilme momenti etkisindeki EHS T-birleşimlerinin dayanımları ve göçme modları incelenmiştir.

## 2. Sayısal Analizlerin Doğrulaması

Literatür araştırmasından görüldüğü üzere, düzlem içi eğilme momenti etkisinde EHS T-birleşimleri ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, doğrulama çalışması için eğilme momenti altındaki boru profillerden üretilmiş (CHS) T-birleşimleri üzerine, Fung vd. (2016)'ne ait farklı sıcaklıklarda testler mevcuttur. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıklar dikkate alınmadığından Fung vd. (2016)'nin normal sıcaklıklarda yapmış oldukları test sonuçları kullanılarak sonlu elemanlar modelinin doğrulaması yapılmıştır.

Fung vd. (2016) yaptıkları çalışmada, tüm test numuneleri için S355 çelik sınıfını kullanmışlardır. Yaptıkları çelik çekme deneyinde S355 çeliğinin; karakteristik akma gerilmesini ( $f_y$ ) 380.3 N/mm<sup>2</sup>, karaktersistik çekme dayanımını ( $f_u$ ) 519.1 N/mm<sup>2</sup> ve elastisite modülünü ( $E$ ) 201200 MPa olarak bulmuşlardır.

ABAQUS'te girdi olarak kullanılacak malzeme özellikleri için aşağıda verilen eşitlik 1 ve 2'den elde edilen dönüştürme işlemi sonucunda gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi elde edilmiştir (Boresi ve Schmidt, 2003). Çünkü, ABAQUS kullanılarak doğrusal olmayan analizlerin yapılması ve yüksek deformasyonların elde edilebilmesi için bu dönüştürme işleminin yapılması gerekmektedir.

$$\varepsilon_T = \ln(1 + \varepsilon) \quad (1)$$

$$\sigma_T = \sigma \times (1 + \varepsilon) \quad (2)$$

Bu eşitliklerde;

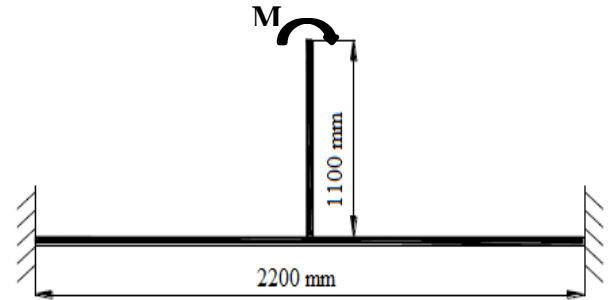
$\varepsilon$ : mühendislik birim şekil değiştirmesini

$\varepsilon_T$ : gerçek birim şekil değiştirmesini

$\sigma$ : mühendislik gerilmesini

$\sigma_T$ : gerçek gerilmeyi göstermektedir.

Fung vd. (2016)'nin test kalibrasyon parametrelerini örnek alarak, doğrulaması yapılan CHS T-birleşiminin başlık elemanı iki ucu ankastre mesnetlenmiş, örgü elemanının ucunda ise düzlemde çalışabilmek için gerekli yerdeğiştirme ve dönmeler kısıtlanmıştır (Şekil 3). Başlık ve örgü elemanlarının çapları sırasıyla,  $D=244.5$  mm ve  $d=168.3$  mm'dir. Yapısal elemanların et kalınlıkları (örgü elemanı için ( $t$ ) ve başlık elemanı için ( $T$ ) sembolleriyle) ise 6.3 mm'dir.



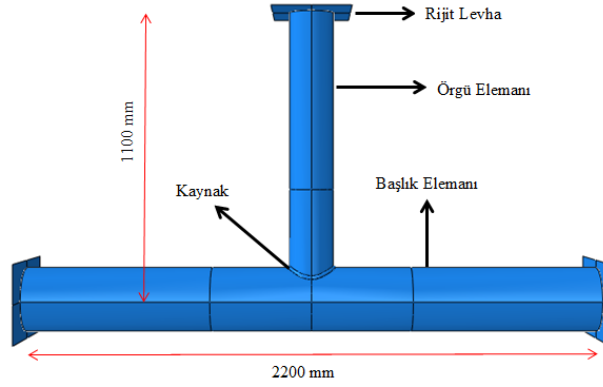
Şekil 3. Doğrulaması yapılan birleşimin mesnet koşulları

ABAQUS/Standart v.6-14.1 sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulan doğrulama modeli Şekil 4'te gösterilmektedir. Doğrulama modelinden görüldüğü üzere, yüklemelerin ve mesnet koşullarının tanımlanabilmesi için başlık ve örgü elemanlarına rijit levhalar eklenmiştir.

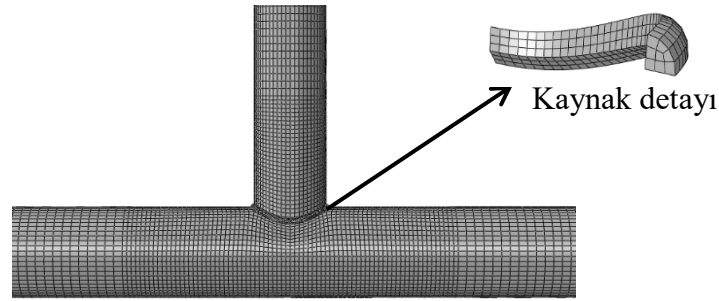
Şekil 5'te doğrulama modelinin sonlu eleman ağ aralıklarını ve kaynak detayını göstermektedir. Birleşim bölgesinde sık ağ aralıklarına (6.3 mm) bölünmüş olan modelde, birleşim bölgesinden uzak kısımlarda ise geniş ağ aralıklarına (12.6

mm) bölünmüştür. Çünkü, gerilme dağılımının yüksek olacağı yerlerde ağ aralıklarının

sıklaştırılması güvenilir sonuçlara ulaşmakta yardımcı olmaktadır.



Şekil 4. CHS T-birleşiminin ABAQUS modeli

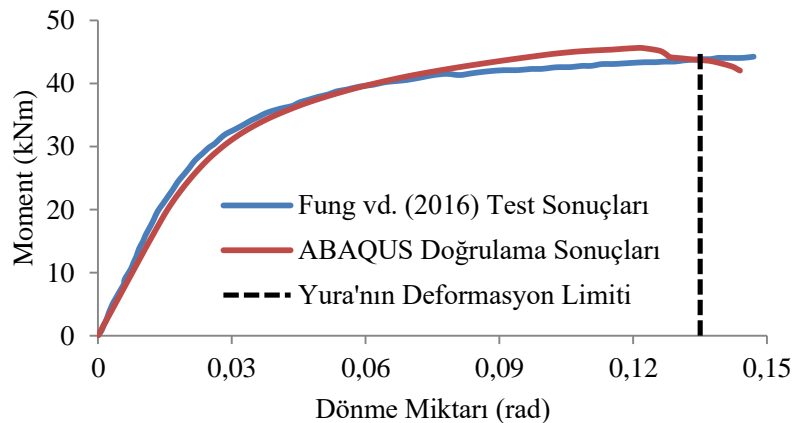


Şekil 5. CHS T- birleşiminin ağ aralıkları ve kaynak detayı

Şekil 6'da, test sonuçlarından ve sayısal analizlerden elde edilen moment-dönme miktarı eğrileri gösterilmektedir. Ayrıca, Yura'nın boru ve kutu profiller için önerdiği ve günümüzde hala kabul edilen maksimum dönme sınırlamasını göstermektedir (Yura vd., 1980). Yura'nın eğilme momenti etkisindeki boru ve kutu birleşimler için dönme sınırlaması,  $80f_y/E$  ( $f_y$  akma gerilmesi ve  $E$ , elastisite modülü) olarak belirtilmiştir. Bu sınırlamaya göre, moment-dönme eğrisinde, maksimum eğilme momenti dönme sınırlamasından önce meydana gelirse, birleşimin eğilme dayanımı maksimum değere eşittir. Ancak,

maksimum moment dönme sınırlamasından sonra oluşursa, birleşimin eğilme momenti dayanımı dönme sınırlamasına karşılık gelen moment değerine eşittir. Sonlu elemanlar modelinin sonuçları ve Fung vd. (2016)'nin test sonuçları karşılaştırıldığında, Şekil 6'da gösterildiği gibi çok yakın değerler elde edilmiştir. Bu doğrulama çalışmasının sonucundan anlaşılacağı üzere, bu çalışmada oluşturulacak eğilme momenti etkisindeki EHS T-birleşimlerine ait sayısal modellerin, doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi öngörülmektedir.

Şekil 6. Fung vd., (2016)'nin test sonuçları ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması



### 3. Sayısal Analizler

Yapılan doğrulama çalışmasından elde edilen sonuçlar ışığında doğrulanmış modelde kullanılan; sonlu eleman tipi, malzeme özelliği, sonlu eleman ağ aralığı, doğrusal olmayan analizlerde ele alınan zaman adımı gibi parametreler, EHS çelik T-birleşimlerinin modellenmesi için sayısal analizlerde de kullanılmıştır.

EHS'ler iki farklı çap boyutlarına sahip olduklarından ötürü, T-birleşimlerinin dört farklı oryantasyon tipi mevcuttur. Bu çalışmada, farklı

geometrik kombinasyonlarından ve oryantasyonlarından elde edilen toplam 19 birleşimin doğrusal olmayan sayısal analizlerle, ABAQUS v.6-14.1 (2014) programında modellenerek incelenmiştir. Bu bahsedilen birleşim parametreleri, **Tablo 1'** de sunulmuştur. Mesnet koşullarının etkilerini minimuma indirmek için başlık ve örgü elemanlarının uzunlukları sırasıyla, başlık eleman çapının en az on katı, örgü eleman çapının en az 6 katı kadar olması gerekmektedir (Ozyurt vd., 2018b). **Tablo 1'**de bu durum dikkate alınarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Sayısal analizlerde ve analitik hesaplamalarda kullanılan birleşimlerin geometrik özellikleri

Birleşim Numarası	Başlık Elemanı Boyutları				Örgü Elemanı Boyutları			
	B (mm)	D (mm)	T (mm)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	t (mm)	l (mm)
T1-1	300	150	8	3000	125	250	8	1500
T2-1	300	150	8	3000	250	125	8	1500
T3-1	150	300	8	3000	125	250	8	1500
T1-2	300	150	8	3000	100	200	8	1200
T2-2	300	150	8	3000	200	100	8	1200
T3-2	150	300	8	3000	100	200	8	1200
T1-3	300	150	8	3000	75	150	8	900
T2-3	300	150	8	3000	150	75	8	900
T3-3	150	300	8	3000	75	150	8	900
T1-4	300	150	8	3000	125	250	6.3	1500
T2-4	300	150	8	3000	250	125	6.3	1500
T3-4	150	300	8	3000	125	250	6.3	1500
T1-5	300	150	8	3000	125	250	12.5	1500
T2-5	300	150	8	3000	250	125	12.5	1500
T3-5	150	300	8	3000	125	250	12.5	1500
T1-6	400	200	8	4000	75	150	8	900
T2-6	400	200	8	4000	150	75	8	900
T3-6	200	400	8	4000	75	150	8	900
T4-6	200	400	8	4000	150	75	8	900

Tabloda verilen birleşim numaraları; örnek olarak, T1-1 numaralandırılmasında, T harfi birleşim tipini(T-birleşim), ilk rakam oryantasyon tipini, son rakam ise birleşim numarasını temsil etmektedir. Bu numaralandırmaya göre, toplam 6 tür birleşim söz konusudur. *B* ve *b* harfleri sırasıyla, başlık ve örgü elemanlarının düzleme dik çaplarını, *D* ve *d* ise sırasıyla, başlık ve örgü elemanlarının düzlemdeki çap boyutlarını, *T* ve *t* sırasıyla, başlık ve örgü elemanlarının et kalınlıklarını, son olarak *L* ve *l* sırasıyla başlık ve örgü elemanlarının uzunluklarını göstermektedir.

Yapılan tüm sayısal analizlerde S355 çelik sınıfı kullanılmıştır. S355 çeliğinin karakteristik akma gerilmesi ( $f_y$ ) 355 N/mm<sup>2</sup> ve karakteristik çekme mukavemeti ( $f_u$ ) 510 N/mm<sup>2</sup>'dir. Çeliğin elastisite modülü (*E*) 210 GPa ve poisson oranı (*v*)

0.3 olarak varsayılmıştır. Malzeme özelliklerinin ABAQUS girdisinde, doğrulama çalışmasında yapıldığı gibi parametrik çalışmalarda da gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır.

**Tablo 1'**de geometrik boyutları verilen, EHS T-birleşimlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiş ve düzlem içi eğilme moment etkisi altında dayanımları ve göçme modları Yura'nın maksimum dönme sınırı ( $=80f_y/E$ ) dikkate alınarak incelenmiştir.

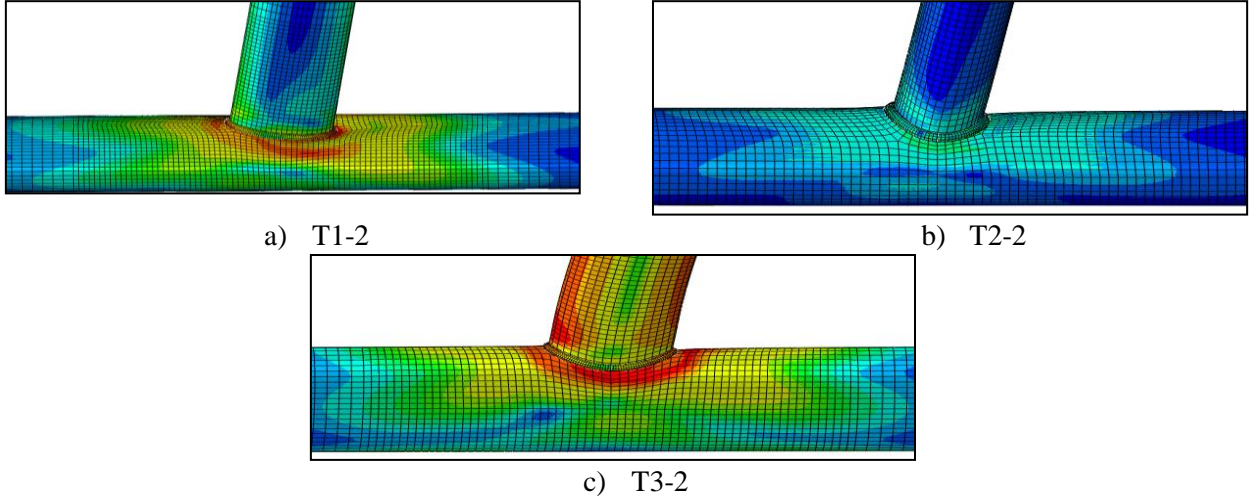
#### 3.1. Göçme Modu ve Eğilme Momenti Dayanımları

Bu bölüm, **Tablo 1'**de belirtilen birleşimlerin sayısal analiz sonuçlarını kapsamaktadır.



Göçme modları ve dayanımları karşılaştırılarak, EHS T-birleşimleri hakkında önemli bilgilere ulaşılmıştır. Sayısal analiz sonuçlarına göre, tüm birleşim türü ve oryantasyonları için, başlık elemanında plastikleşme gözlemlenmiştir. **Şekil 7**'de, farklı oryantasyon tipine sahip aynı birleşim türüne ait şekil değiştirmiş T-birleşimleri gösterilmektedir. **Şekil 7**'den görüleceği üzere, örgü elemanına uygulanan eğilme momenti sonucunda, tüm oryantasyon tiplerinin birleşim

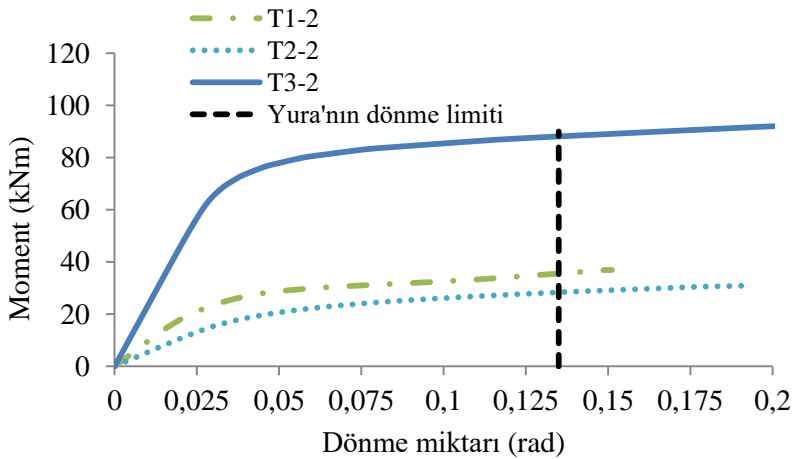
bölgesinde kalan başlık elemanı yerel olarak deformasyonlara uğramıştır. Yönetmeliklerde de bu durum dikkate alınmıştır ve boru ve kutu enkesiler için en kritik göçme modu, başlık elemanında plastikleşme olarak belirtilmiştir. Ancak bu durumun gerçekleşebilmesi için örgü elemanının çapı başlık elemanının çapına oranı,  $\beta$ , 0.85'ten küçük olması ve kaynak elemanında her hangi bir göçme olmaması koşullarının sağlanmasında geçerlidir.



**Şekil 7.** Parametrik çalışmaya ait üç farklı oryantasyon türlerinin deformasyonları

**Şekil 8**'de, örnek olarak T1-2, T2-2 ve T3-2 birleşimlerinin moment-dönme miktarı eğrileri karşılaştırılmıştır. **Şekil 8**'den görüleceği gibi, maksimum dayanım T3-2 (Tip-3)'ye aittir. Çünkü, tip 3 ve 4 oryantasyonlarında başlık elemanı kuvvetli eksen üzerinde çalışmaktadır (başlık elemanının büyük çapı düzlemde görülmektedir). En düşük dayanıma sahip olan birleşim ise, T2-2 (Tip-2)'dir. Tip 1 ve 2

oryantasyonlarında, başlık elemanı ataleti zayıf olan eksene göre yerleştirilmiştir. **Şekil 8**'de gösterilen eğrilerden anlaşılacağı üzere, en fazla dayanıma sahip olan T3-2, diğer oryantasyon tipleri ile karşılaştırıldığında aynı zamanda en rijit birleşim türüdür. Ancak, estetik açıdan düşünüldüğünde, en avantajlı olan tip 2 oryantasyonu olduğu unutulmamalıdır.



**Şekil 8.** T1-2, T2-2, T3-2 birleşimlerinin moment- dönme grafiği

Yapılan tüm sayısal analiz sonuçlarından elde edilen, EHS T-birleşimlerinin düzlem içi eğilme momenti dayanımları, **Tablo 2**'de sunulmuştur. Tüm birleşim dayanımları incelendiğinde, tip 1 ve 2 oryantasyonları ile tip 3 ve 4 oryantasyonları

benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, tip 3 ve 4 oryantasyonlarının, tip 1 ve 2 oryantasyon tiplerine göre yaklaşık olarak üç kat daha fazla dayanıma sahip olduğu söylenebilir.

**Tablo 2.** ÇYTYE (2016) öngörülleri ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Birleşim Numarası	ABAQUS sonuçları (kNm)	ÇYTYE (2016) (kNm)	ABAQUS sonuçlarının ÇYTYE (2016)'ye oranı
T1-1	40.5	18.9	2.14
T2-1	47.1	17.5	2.70
T3-1	140.9	72.4	1.95
T1-2	35.6	13.5	2.64
T2-2	28.3	9.6	2.94
T3-2	88.1	27.7	3.17
T1-3	22.2	9.6	2.31
T2-3	17.2	6.7	2.58
T3-3	46.8	13.3	3.51
T1-4	49.8	18.9	2.63
T2-4	47.6	17.5	2.73
T3-4	112.4	72.4	1.55
T1-5	53.7	18.9	2.83
T2-5	55.2	17.5	3.16
T3-5	168.9	72.4	2.33
T1-6	19.0	9.9	1.92
T2-6	13.1	7.2	1.82
T3-6	34.1	10.7	3.20
T4-6	29.8	8.2	3.62

### 3.2. Çelik Yapıların Tasarım Ve Yapım Esasları (ÇYTYE, 2016)'na Göre Tasarım

Bu kısımda, mevcut yönetmelikte yer alan boru ve kutu profiller için önerilen tasarım yöntemi, EHS T-birleşimleri için uygulanmıştır. Literatür çalışmalarından görüleceği üzere, kutu profiller, EHS'ye daha yakın sonuçlar vermektedir. Bu yüzden, bu çalışmada da kutu profiller için önerilen tasarım yöntemi dikkate alınmıştır. Ayrıca, yönetmeliklerdeki denklemlerin kullanılabilmesi için, Haque vd. (2012)'nin önerdiği EHS'lerin eşdeğer kutuya dönüştürülmesi de dikkate alınmıştır. Bu şekilde, bütün birleşim ve oryantasyonları için, Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Esasları (ÇYTYE, 2016) yönetmeliğindeki eşitlik 3 kullanılarak eşdeğer kutu yöntemine göre EHS T-birleşimlerinin dayanımları karşılaştırmalı olarak **Tablo 2**'de sayısal analizlerden elde edilmiş dayanımlar ile birlikte sunulmuştur. Eşitlik 3'te kullanılan semboller  $\eta$  ve  $Q_f$ , sırasıyla kutu enkesitler için uygulanan yük etkime uzunluğu ve başlık elemanı gerilme etkileşimidir. Karşılaştırmalardan görüleceği üzere, ÇYTYE (2016)'ye göre dayanım tahminleri gerçek

dayanımlara göre hiç ekonomik olmayan sonuçlar vermektedir. Bu durum, EHS T-birleşimlerinin dayanımlarını ekonomik olmayacak şekilde tasarlanmasına neden olabilmektedir.

$$M_n = F_y t^2 d \left[ \frac{1}{2\eta} + \frac{1}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{(1-\beta)} \right] Q_f \quad (3)$$

Bu çalışmanın asıl amacı, bu dayanım tahminlerinin incelenmesidir. Eğer, güvenli veya ekonomik olmayan yaklaşımlar söz konusu olması durumunda ise, yeni ve güvenli bir yöntem önerilerek, EHS T birleşimlerinin düzlem içi eğilme dayanımlarının hesaplanabilmesini sağlamaktır.

### 4. Önerilen Tasarım Methodu

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Esasları (ÇYTYE, 2016)'nda, kutu enkesili T-birleşimlerinin dayanımlarını hesaplamak için denklemler sunulmuştur. Ancak, bahsedilen yönetmelikteki eşdeğer kutu yöntemi ile EHS T-birleşimlerinin dayanımları, sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında ekonomik olmayan tahminler elde edildiği

saptanmıştır. Bu yüzden, parametrik çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, EHS T-birleşimlerinin dayanımlarını güvenli ve ekonomik olarak hesaplanabilmesi için yeni bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır.

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, EHS T-birleşimleri için tip 1 ve 2 oryantasyonlarının davranışları ile tip 3 ve 4 oryantasyonlarının davranışları kendi aralarında benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Bu yüzden, önerilen tasarım yönteminde bu ikili oryantasyonlar için ayrı ayrı tasarım yöntemi, çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılarak geliştirilmiştir. Microsoft Excel'den elde edilen regresyon analizinde;  $\eta$ ,  $\beta$ ,  $D$  ve  $t$  parametreleri bağımsız,

sayısal analiz sonuçlarının analitik sonuçlara oranları ise bağımlı parametreler olarak dikkate alınacaktır.

#### 4.1. Tip 1 ve 2 Oryantasyonları İçin Önerilen Yöntem

Başlık elamanının zayıf ekseninde çalıştığı oryantasyon tipleri, 1 ve 2 numaralı oryantasyonlardır. **Tablo 3**'de EHS T-birleşimlerinin tip 1 ve tip 2 oryantasyonlarına ait sayısal analiz sonuçlarının ÇYTYE (2016) sonuçlarına oranlarının ve regresyon analizinde kullanılan değişken parametrelerinin ( $\eta$ ,  $\beta$ ,  $D$  ve  $t$ ) özetini sunmaktadır.

**Tablo 3.** Sayısal analiz sonuçlarının yönetmelik sonuçlarına oranları ve regresyon analizinde kullanılan değişken parametreler (Tip 1 ve Tip 2 için)

	ABAQUS/ÇYTYE	$\eta = \frac{d}{B}$	$\beta = \frac{b}{B}$	$D$	$t$
T1-1	2.14	0.83	0.42	150	8
T2-1	2.70	0.42	0.83	150	8
T1-2	2.64	0.67	0.33	150	8
T2-2	2.94	0.33	0.67	150	8
T1-3	2.31	0.50	0.25	150	8
T2-3	2.58	0.25	0.50	150	8
T1-4	2.63	0.83	0.42	150	6.3
T2-4	2.73	0.42	0.83	150	6.3
T1-5	2.83	0.83	0.42	150	12.5
T2-5	3.16	0.42	0.83	150	12.5
T1-6	1.92	0.38	0.19	200	8
T2-6	1.82	0.19	0.38	200	8

Yapılan parametrik analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında, çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılarak, ÇYTYE (2016) için önerilen düzeltme katsayısı çarpanı ( $\psi$ ) eşitlik 4'te verilmektedir.

$$\psi = 3.68 - 0.12 * \eta + 0.65 * \beta - 0.012 * D + 0.063 * t \quad (4)$$

#### 4.2. Tip 3 ve 4 Oryantasyonları İçin Önerilen Yöntem

Başlık elamanının güçlü ekseninde çalıştığı oryantasyon tipleri, 3 ve 4 numaralı oryantasyonlardır. **Tablo 3**'de EHS T-birleşimlerinin, tip 3 ve tip 4 oryantasyonlarına ait sayısal analiz sonuçlarının ÇYTYE (2016) sonuçlarına oranlarının ve regresyon analizinde kullanılan değişken parametrelerinin ( $\eta$ ,  $\beta$ ,  $D$  ve  $t$ ) özetini sunmaktadır.

Yapılan parametrik analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında, çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılarak, ÇYTYE (2016) için önerilen düzeltme katsayısı ( $\psi$ ) çarpanı eşitlik 5'de verilmektedir.

$$\psi = 9.05 - 2.18 * \eta - 1.06 * \beta - 0.012 * D + 0.109 * t \quad (5)$$

#### 4.3. Önerilen Tasarım Metodunun Uygulanması

Eşdeğer kutu yöntemine göre, ÇYTYE (2016)'da önerilen mevcut yöntem, eşitlik 3'te verilmiştir. Bu parametrik çalışmada, ÇYTYE için kullanılması önerilen katsayı çarpanı ( $\psi$ ) ise eşitlik 4 ve 5'te, sırasıyla tip 1 ve 2 ve tip 3 ve 4 oryantasyonları için verilmiştir. Ancak, doğrudan regresyon analizlerinden elde edilen bu katsayıya, her zaman güvenli tarafta kalınabilmesi için güvenlik katsayısının eklenmesi gerekmektedir.

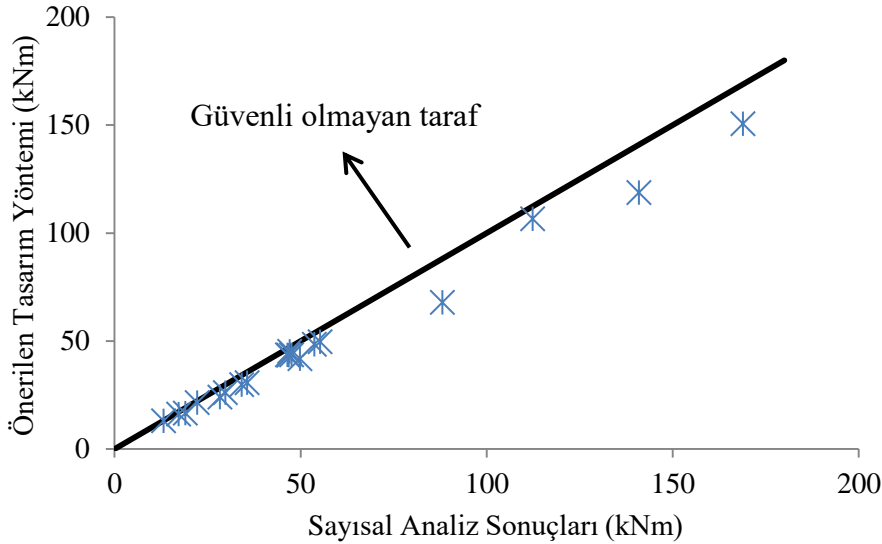
**Tablo 4.** Sayısal analiz sonuçlarının yönetmelik sonuçlarına oranları ve regresyon analizinde kullanılan değişken parametreler (Tip 3 ve Tip 4 için)

	ABAQUS/ÇYTYE	$\eta = \frac{d}{B}$	$\beta = \frac{b}{B}$	D	t
T3-1	1.95	1.67	0.83	300	8
T3-2	3.17	1.33	0.67	300	8
T3-3	3.51	1.00	0.50	300	8
T3-4	1.55	1.67	0.83	300	6.3
T3-5	2.33	1.67	0.83	300	12.5
T3-6	3.20	0.75	0.38	400	8
T4-6	3.62	0.38	0.75	400	8

Bu katsayı, önerilen yöntem sonuçlarının sayısal analiz sonuçlarına oranlarından en küçük değer olarak alınması ile mümkün olabilmektedir. Bu yüzden, 0.90 olan güvenlik çarpanı,  $\psi$  katsayısına eklenmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, EHS T-birleşimlerinin düzlem içi eğilme momenti etkisi altındaki davranışları yukarıda bahsedilen durumlar doğrultusunda, eşitlik 6'da genel olarak önerilen yöntem ifade edilmiştir.

$$M_n = F_y t^2 d \left[ \frac{1}{2\eta} + \frac{1}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{(1-\beta)} \right] Q_f \psi \quad (6)$$

**Tablo 1**'de verilen tüm birleşim ve oryantasyonları için, önerilen tasarım yöntemi kullanılarak hesaplanmış olan EHS T-birleşimlerinin dayanımları ile yapılan tüm sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması **Şekil 9**'da gösterilmektedir. Önerilen tasarım yöntemi sonuçları, yapılan parametrik çalışma sonuçları ile yaklaşık sonuçlar vermiş olduğu tespit edilmiştir. **Tablo 2**'de yapılan mevcut yönetmelik öngörü sonuçları gerçek dayanım değerlerinin çok altında olduğu ve aynı zaman da önerilen tasarım methodunun gerçek dayanıma çok yakın değerler vermesinden ötürü EHS T birleşimlerinin düzlem içi eğilme dayanımlarının eşitlik 6 kullanılarak hesaplanması önerilmektedir.

**Şekil 9.** Önerilen tasarım yönteminin parametrik analiz sonuçları ile karşılaştırılması

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaynaklı EHS T-birleşimlerinin düzlem içi eğilme momenti altında davranışları ABAQUS/Standart v.6-14.1 (2014) sonlu elemanlar paket programı kullanılarak incelenmiştir. Doğrulama çalışması yapıldıktan sonra elde edilen parametrik çalışmalar

neticesinde çıkarılan sonuçlar ve bu bulgular doğrultusundaki öneriler aşağıdadır;

- 1-) Başlık elemanının kuvvetli ekseninde çalışabilecek şekilde tasarlanmasında (Tip 3 ve 4) birleşimlerin dayanımları önemli derecede artacaktır. Ancak, estetik açıdan tip 2 en avantajlı oryantasyon türüdür.

- 2-) En kritik göçme modü, oryantasyon tipinden bağımsız olarak başlık elemanında plastikleşmedir.
- 3-) **CYTYE (2016)**'de belirtilen kutu birleşimlerin dayanım hesaplamaları eşdeğer kutu yöntemi kullanılmasına rağmen, EHS birleşimlerinin dayanımlarının hesaplanması için yetersizdir.
- 4-) Çok değişkenli doğrusal regresyon analizine dayanan tasarım yöntemi ile güvenlik katsayısı çarpanı kullanılarak, EHS T-birleşimlerinin eğilme momenti dayanımı güvenli ve ekonomik olarak hesaplanabilmektedir.

## Kaynaklar

- ABAQUS, V., 2014. 6.14 documentation, Dassault Systems Simula Corporation
- Boresi, A. P. ve Schmidt, R. J., 2003. Advanced Mechanics of Materials, John Wiley and Sons Press, USA.
- Bortolotti, E., Jaspert, J. P., Pietrapertosa, C., Nicaud, G., Petitjean, P. D. ve Grimault, J. P., 2003. Testing and Modelling of Welded Joints Between Elliptical Hollow Sections, Proceedings of the 10th International Symposium on Tubular Structures, Madrid, Spain, p. 259-264.
- CEN EN 1993-1-8, 2005. Design of Steel Structures, Design of Joints, British Standard Institute, London.
- Choo, Y. S., Liang, J. X. ve Lim, L. V., 2003a. Static Strength of Elliptical Hollow Section X-Joint Under Brace Compression, Tubular Structures X, Proceedings of the 10th International Symposium, Madrid, Spain, p. 253-258.
- CYTYE, Türk Standartları Enstitüsü, 2016. Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara.
- Fung, T. C., Tan, K. H. ve Nguyen, M. P., 2015. Structural Behaviours of CHS T-Joints Subjected to Static In-Plane Bending in Fire Conditions, Journal of Structural Engineering, 142, 04015155.
- Haque, T., Packer, J. A. ve Zhao, X-L., 2012. Equivalent RHS Approach for The Design of EHS in Axial Compression or Bending, Advances in Structural Engineering, 15, 107-120.
- Ozyurt, E. ve Wang, Y. C., 2018b. Resistance of Axially Loaded T-and X-Joints of Elliptical Hollow Sections at Elevated Temperatures—A Finite Element Study. Structures, 15-31.
- Ozyurt, E., 2018a. Yangında Elips Enkesitli Eksenel Yük Taşıyan Çelik Kolonların Davranışı, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Bursa, 23, 205-206.
- Packer, J. A., Choo, Y. S., Shen, W., Wardenier, J., Van der Vegte, G. J. ve Mustard, T., 2012. Axially Loaded T and X Joints of Elliptical Hollow Sections, CIDECT Final Report No. 5BW-2.
- Packer, J. A., Wardenier, J., Zhao, X. L., Van der Vegte, G. J. ve Kurobane, Y., 2009. Design Guide for Rectangular Hollow Section (RHS) Joints Under Predominantly Static Loading, 2nd Edition, No.3, CIDECT.
- Pietrapertosa, C. Ve Jaspert, J. P., 2003. Study of the Behaviour of Welded Joints Between Elliptical Hollow Sections, Proceedings of the 10th International Symposium on Tubular Structures.
- Shen, W., Choo, Y. S., Wardenier, J. ve Van der Vegte, G. J., 2012. Static Strength of Axially Loaded Elliptical Hollow Section X Joints with Braces Welded to Wide Sides of Chord, I: Numerical Investigations Based on Experimental Tests. Journal of Structural Engineering, 140, 04013035.
- Shen, W., Choo, Y. S., Wardenier, J. ve Van der Vegte, G. J., 2013. Static Strength of Axially Loaded EHS X-Joints with Braces Welded to the Narrow Sides of the Chord. Journal of Constructional Steel Research, 88, 181-190.
- Wardenier, J., 2007. Elliptical Hollow Sections, Internal Report Prepared for Corus.
- Yura, J. A., Zettlemyer, N. ve Edwards, I. E., 1980. Ultimate Capacity of Circular Tubular Joints, Proceedings of Offshore Technology Conference, p. 1965-1984.
- URL- 1, <https://www.bimobject.com/en-us/tata-steel/product/celsius-355-ehs>, 14 Aralık 2018.

## Sürdürülebilir Enerji Kullanımının Yeşil Bir Ofise Uygulanması

### *Application of Sustainable use of Energy to a Green Office*

Melike YALILI KILIÇ<sup>\*a</sup>, Seda YAŞI<sup>b</sup>

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 14.01.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.04.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 10.05.2019

#### Öz

Artan enerji ihtiyacı, birçok ülke için enerji arz güvenliği ve çevresel açıdan çeşitli sorunlar teşkil etmektedir. Bazı ülkeler nükleer enerjiye yönelerek bu problemi aşmaya çalışırken daha büyük çevresel sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunları öngörebilen ülkelerse daha geniş bir bakış açısıyla yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki potansiyeli göz önüne alındığında, yapılacak yatırımlardan elde edilecek enerji üretim verimi oldukça yüksektir. Bu yatırımların yanı sıra günümüz koşullarında enerji kullanımı azaltılabilecek alanlar da göz önünde tutulmalıdır. Bu alanların başında ise, şehirlerdeki enerji tüketiminin büyük çoğunluğuna sahip, yaşam ve çalışma amaçlı binalar gelmektedir. Günümüzde bu enerji tüketimini azaltmak ve binaların çevreye verdiği zararı minimize etmek için modern ve sağlıklı yeşil binalar kavramı oluşmuştur. Yeşil bina olma ölçütleri ülkeler tarafından hazırlanan farklı sertifikasyon sistemlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada; Türkiye'de ve dünyada en çok bilinen BREEAM ve LEED yeşil bina sertifika sistemlerine, sertifika sistemi oluşturmak için Türkiye'de yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, Bursa ili Osmangazi ilçesi Çekirge semtinde toplam iç kullanım alanı 300 m<sup>2</sup> olan klasik ofis ile yeşil ofis bina tasarımları ve maliyet hesapları yapılmıştır. Kendi enerjisini üreten yeşil ofis ile dışarıdan enerjisini hazır olarak alan klasik ofisin enerji sarfiyatları yıllık bazda belirlenmiş ve ilk yatırım maliyetlerinden amortisman süresi ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Amortisman süresi, BREEAM, LEED, Sertifika sistemi, Yeşil bina

#### Abstract

Increased energy demand poses various challenges for energy supply security and environmental issues for many countries. Some countries are facing greater environmental problems as they try to overcome this problem by addressing nuclear energy. Countries that can foresee these problems are investing in renewable energy with a broader vision. When considering Turkey's potential in renewable energy sources, energy production efficiency to be achieved from investments made are quite high. In addition to these investments, the areas where energy use can be reduced in today's conditions should be taken into consideration. At the beginning of these areas, the majority of the energy consumption in cities, living and working buildings are coming. Today, the concept of modern and healthy green buildings has been created in order to reduce this energy consumption and minimize the damage caused to buildings by the environment. The criteria for being a green building vary according to different certification systems prepared by countries. In this study; the green building certification systems of BREEAM and LEED which are the most well-known in Turkey and the world, the studies related to certification systems done in Turkey is given. In addition, the design and cost calculations of classic and green office buildings with 300 m<sup>2</sup> interior space in Çekirge, Osmangazi district of Bursa were made. The energy consumption of classic office, which is ready to take energy from outside and green office producing its own energy, is determined on an annual basis, and the amortization period from the initial investment costs has been presented.

**Keywords:** Amortization period, BREEAM, LEED, Certification system, Green building

<sup>\*a</sup> Melike YALILI KILIÇ; myalili@uludag.edu.tr; Tel: (0224) 294 21 17; orcid.org/0000-0001-7050-6742

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8096-3269

## 1. Giriş

Küresel ısınma ve karbon emisyonunda meydana gelen artış, çevre ve insan sağlığı üzerinde pek çok olumsuz etkiler meydana getirmiştir. Kontrolsüz nüfus artışı ve beraberinde gelen şehirleşme, yeşil alanların azalmasına, küresel enerji talebi ile fosil yakıtların kullanımının artmasına neden olmuştur. Doğaya verilen zararın en az seviyeye indirilmesi için, kaynakların doğru ve etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Doğal kaynaklar arasında önemli bir yer tutan enerji kullanımının artması ile birlikte, şehir hayatında meydana gelen hava kirliliğinin %23'ünün, sera gazı salınımının %50'sinin, su ve katı atık kirliliğinin %40'ının binalardan kaynaklandığı belirtilmektedir (Erdoğan vd., 2015). Örneğin, klasik yapıların ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması ve elektrikli ekipmanların kullanılması için sarf edilen enerjinin %85'i fosil kaynaklar olan petrol, kömür ve doğalgazdan elde edilirken, %4'ü de yenilenebilir enerji kaynakları olan hidroelektrik, güneş, rüzgâr ve toprak enerjisinden sağlanmaktadır (URL-1, 2017). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve fosil yakıt kullanımının azaltılması ile çevreye verilen zarar bir nebze de olsa azaltılabilecektir. Toplumsal bilinçlenme ve enerjinin tasarruflu ve verimli kullanımının yaygınlaştırılması, gelecek nesiller için oldukça önem arz etmektedir (URL-2, 2015).

Nüfusla birlikte artan enerji ve konut ihtiyacı, dünya üzerinde her geçen gün daha da yaygın hale gelen, modern ve sağlıklı yeşil binaların temelini oluşturmaktadır. Fosil yakıtlardan uzak, çevre sağlığı ve enerjiyi tasarruflu kullanma bilinci üzerine kurulu olan yeşil binalar, artan enerji ihtiyacına ve çevre sorunlarına sunulabilecek en iyi çözümler arasında yer almaktadır. Yeşil binaların işlevlerini yerine getirmek için gereksinim duyulan enerji düzeyi, bir binanın ne ölçüde çevre dostu olduğunu belirleyebilmek açısından önemli bir göstergedir. Bunun yanı sıra, kullanılan enerjinin ne kadarının söz konusu binada yenilenebilir olarak üretildiği, binada oluşan atık miktarı ve bu atığın ne kadarının geri kazanılabildiği de diğer önemli ölçütlerdendir (Erdoğan vd., 2015).

Bir binada enerjinin verimli kullanıldığından söz edebilmek için, binayı kullanan insanlara konforlu bir ortam sunmak amacıyla gerekli olan ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatmanın minimum enerji sarfiyatı ile sağlanması, daha kısa

bir tanımla, gerekli konforu sağlayarak binalarda enerjinin etkin ve tasarruflu kullanılması anlamına gelmektedir. Ülkelerin enerji kullanım oranları irdelendiğinde genel olarak binalar, toplam enerji sarfiyatının %40'ını harcamakta ve bu sebeple dünya üzerindeki sera gazı salınımının 1/3'ünün sorumlusu olarak görülmektedirler. Dolayısıyla yeşil binaların enerjiyi etkin ve tasarruflu kullanımı gerekliliği ana prensiplerinden biri olmaktadır. Ayrıca ülkemiz için binalarda enerji verimliliğinin artırılması ile %75'in üzerinde dış kaynaklara bağımlı enerji harcamalarında azalma ve çevresel, ekonomik ve sosyal yararlar sağlanabilecektir (Yılmaz, 2010).

Sadece yeni binaların sürdürülebilir bir nitelikte yapılması değil, ayrıca mevcut binaların enerji verimli hale dönüştürülmesine yönelik düzenlemeler ile de ciddi enerji ve su tasarrufu elde edilebilmektedir. Örneğin, Singapur'da binalar üzerine yapılan bir çalışma, gerekli değişikliklerin yapılmasının ardından %17 oranında enerji tasarrufunun sağlandığını ortaya koymuştur. Yine ABD'de yapılan bir çalışma, enerji performansı iyileştirmesinin yapıldığı konutların (elektrik, doğalgaz vb.) faturalarında %3 - 15 bir tasarruf sağlandığına işaret etmektedir (Erdoğan vd., 2015).

Binaların, yeşil bina kriterlerini sağlayabilmesi için belirli gereklilikleri olan sertifika sistemlerine sahip olmaları gerekmektedir. Genel olarak bu sertifikalar, tasarımda yenilikçi, iç mekân kalitesi yüksek, ısı yalıtımlı, enerjisini doğadan karşılayan ve tasarruflu kullanan, minimum atık çıkışı olan ve maksimum yeşil çevre özelliği barındıran sistemlerdir (URL-3, 2017). Her ülke kendi özelliklerini barındıran sertifika sistemleri geliştirse dahi dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan bazı sertifika sistemleri vardır. Bu sistemler genel olarak, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.), IISBE (International Initiative for Sustainable Built Environment), Greenstar (Environmental Rating System for Buildings) ve Casbee (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) olarak sıralanmaktadır (Anbarcı vd., 2012).

Avrupa Birliği tarafından örnek gösterilen bina tasarımları; Londra - İngiltere'deki BedZED-Bedington Sıfır Enerji Yerleşkesi, Surrey - İngiltere'deki WWF -Doğal Hayatı Koruma Vakfı Merkez Binası - Yaşayan Gezegen Merkezi

ve Frankfurt - Almanya'daki KfW Bankası Ofis Binası olarak bilinmektedir (Yöntem, 2016).

Yeşil binaların yerel şartlarda uygulanabilirliği irdelenecek olursa, öncelikle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının incelenmesi gerekmektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji açısından çok verimli bir ülke olduğu gibi, bir o kadar da bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Örneğin, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisi maksimum seviyede iken, Ege Bölgesinde jeotermal ve rüzgâr enerji kaynaklarının verimlilik seviyesi fazladır.

Bu durumda tasarlamış olduğumuz yeşil ofis binasının inşa edilmesi planlanan bölgenin şartlarına uygun olarak revize edilmesi gerekmektedir. Bursa ili için tasarlanan örnekte ısınma enerjisi olarak toprak kaynaklı ısı pompası

(jeotermalden daha uygun maliyetli olduğu için) tercih edilirken, elektrik enerjisi için şehir içerisinde rüzgâr enerjisinden verim alınamayacağı saptanarak güneş panelleri tercih edilmiştir. Farklı bir bölge için örnek verecek olursak, Ege Bölgesinde tasarlanacak olan bir yeşil ofis binasının ısınma enerjisi jeotermal enerjiden karşılanırken, elektrik enerjisinin rüzgâr enerjisinden karşılanması daha verimli olacaktır. Tablo 1'de bölgelere göre değişen enerji kaynakları verimlilik durumuna göre sıralanmıştır (URL-4, URL-5, URL-6, URL-7, 2019).

Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bulunduğu bölgelerde ayrıca verim-maliyet ilişkilendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Bu maliyet ve uygulama kolaylığı açısından karşılaştırmanın yapılabilmesi için Tablo 2'den yararlanılabilir (Öztürk, 2013).

**Tablo 1.** Bölgelere göre ülkemizdeki enerji kaynakları

Bölge	Enerji Kaynağı
Marmara Bölgesi	Jeotermal Enerji, Rüzgar Enerjisi
Ege Bölgesi	Jeotermal Enerji, Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi
Akdeniz Bölgesi	Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi
İç Anadolu Bölgesi	Jeotermal Enerji, Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	Güneş Enerjisi, Jeotermal Enerji
Doğu Anadolu Bölgesi	Güneş Enerjisi, Jeotermal Enerji
Karadeniz Bölgesi	Rüzgar Enerjisi

**Tablo 2.** Enerji çeşitlerine göre maliyet ve uygulama ölçütleri

Maliyet ve Uygulama Ölçütü	Güneş Enerjisi	Rüzgar Enerjisi	Jeotermal Enerji
İlk Yatırım Maliyeti	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Kullanım Maliyeti	Düşük	Düşük	Düşük
Bakım Maliyeti	Orta	Orta	Düşük
Uygulama Kolaylığı	Orta	Düşük	Orta
Kullanım Kolaylığı	Düşük	Düşük	Orta
Bakım Kolaylığı	Orta	Orta	Yüksek

Ülkemizde de binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılması için yasal düzenlemelere başvurulmuştur. Bu çerçevede gereksiz enerji kullanımının önüne geçilmesi ve çevrenin korunmasına yönelik usul ve esasları düzenleyen, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 05.12.2008 tarihli 27075 sayılı Resmi Gazetede; 5627 sayılı Enerji Kanununun ilgili maddesinin dayanağı ile Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yayınlanmıştır (Anbarcı vd., 2012). Bu yönetmelikle, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak

hesaplama kurallarının belirlenmesi, birincil enerji ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu açısından sınıflandırılması, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesi ve çevrenin korunması yasal olarak belirlenmiştir (URL-8, 2008).



Türkiye, yeşil bina uygulamalarında 6.06 milyon m<sup>2</sup> brüt yapı alanı ve 245 proje sayısı ile Amerikan Yeşil Binalar Konseyi 2017 sonuç listesinde 8. sırada yer almaktadır. Bu yapıların içerisinde LEED ya da BREEAM sertifikası alan, alışveriş merkezi, konut, ofis ve üretim binaları bulunmaktadır (URL-9, 2018). Ayrıca kamuya ait yeşil binalara örnek olarak; Hacettepe Üniversitesi Sıhhiye Kampüsü Sağlık Bilimleri Kütüphanesi Projesi, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Sincan - Etimesgut Bölgesi Hizmet Binası, Milli Eğitim Bakanlığı Ankara Eryaman Cezeri Yeşil Teknoloji Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi ve Bursa Doğalgaz Dağıtım Şirketi-Bursagaz Binası gösterilmektedir (Yöntem, 2016). Kentsel dönüşüm uygulamaları, ülkemizde yeşil binaları arttırma yolunda atılmış önemli bir adımdır. Bu binaların çevre dostu teknolojiler ile yeşil bina olarak inşa edilmesi durumunda, sadece aydınlatmada bile önemli düzeyde enerji tasarrufu sağlanacağı tahmin edilmektedir.

Yüksel ve Acarkan (2013) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisinin %30 oranında azaltılması durumunda, toplam elektrik enerjisi tüketiminde %3.3 düşüş öngörülmüştür. Bu çalışma baz alınarak, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndan alınan rakamlara göre 2017 yılı için harcanan 294.900 GWh elektrik enerjisinden yola çıkılarak, yeşil binalar ile aydınlatmada %30 tasarruf sağlanacağından 9731.7 GWh daha az

elektrik enerjisi harcanacağı ve 4.4 milyar TL kazanç sağlanabileceği bulunmuştur.

Bu çalışmada, Bursa ili Osmangazi ilçesi Çekirge semtinde toplam 300 m<sup>2</sup>’lik iki katlı bir klasik ofis binası ile yeşil ofis binası tasarlanmıştır. Klasik ofisin yeşil ofise dönüştürülmesinde kullanılan yenilenebilir enerji sistemleri ve enerji verimliliğini sağlayan ekipmanların maliyetleri hesaplanmış ve her iki ofisin enerji kullanımları karşılaştırılmıştır. İlave olarak, yeşil ofisin düşük enerji tüketiminden elde edilen kar ile yatırım maliyetini ne kadar sürede amorti edeceği de hesaplanmıştır.

## 2. Yeşil Bina Sertifika Sistemleri

Yeşil bina sertifika sistemleri, binaların çevre üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde incelenerek belirlenmesini sağlayan ve doğal kaynakların korunmasındaki hassasiyeti vurgulamaya çalışan bir derecelendirme sistemidir. Dünyada popüler olarak kullanılan sürdürülebilir bina sertifikalandırma sistemleri içinde yer alan ve İngiltere’de ortaya çıkan Bina Araştırma Kurumu Çevre Değerlendirme Yöntemi (BREEAM) ile Amerika’da kurulan Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) sertifika sistemleri dünyada sıklıkla kullanılmakta olup, bu sertifika sistemleri dışında, birçok ülkede kendine özgü yeşil bina sertifikalandırma sistemleri bulunmaktadır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Çeşitli ülkelerde kullanılan yeşil bina sertifika sistemleri (Kobaş, 2011)

Ülke	Kullanılan Değerlendirme Sistemleri
Almanya	DGNB, CEPHEUS
Amerika Birleşik Devletleri	LEED, Living Building Challenge, Green Globes Build it Green, NAHB NGBS, IGCC
Avustralya	Nabers, Green Star
Birleşik Arap Emirlikleri	Estidama
Birleşik Krallık	BREEAM
Brezilya	AQUA, LEED Brasil
Çin Halk Cumhuriyeti	GBAS
Filipinler	BERDE
Fransa	HQE
Güney Afrika	Green Star SA
Hindistan	GRIHA
Hollanda	BREEAM Netherlands
Hong Kong	HKBEAM
İspanya	VERDE
İsviçre	Minergie
İtalya	Protocollo Itaca
Japonya	CASBEE
Kanada	LEED Canada, Green Globes
Malezya	GBI Malaysia
Meksika	LEED Mexico
Pakistan	IAPGSA (Pakistan Green Sustainable Architecture)
Portekiz	Lider A
Singapur	Green Mark
Yeni Zelanda	Green Star NZ

Bu sistemlerin amacı, ilk olarak her ülkenin kendine özgü standartlarını, iklim koşullarını ve yaşamsal konforunu göz önüne alarak özgün bir sistem oluşturmaktır. Çeşitli yeşil bina sertifika sistemleri mevcut olsa da, LEED ve BREEAM dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de ilgi gören iki sertifika sistemidir (Yüksel ve Acarkan, 2013). LEED ve BREEAM sertifika sistemlerinin uluslararası geçerlilik sağlaması ile birlikte özgün bir sisteme sahip olmayan ülkeler bu sistemleri kullanmaya başlamışlardır (Erdede ve Bektaş, 2014).

### 2.1. LEED

Amerikan Yeşil Bina Konseyi’nin 1993’te kuruluşu ile birlikte, yeşil binalar için bir tanımlama ve değerlendirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu gereksinimi gidermek amacıyla 1998 yılında ilk pilot proje olan LEED 1.0 versiyonu yayımlanmıştır (URL-10, 2010). Günümüzde de geçerli olan ve son olarak kullanılan LEED 4.1 versiyonuna kadar birçok revizyon yapılmıştır (URL-3, 2017).

LEED, bir binanın çevresel etkilerini, binanın yaşam döngüsünü tamamı ile ele alarak belirli kriterlere göre analiz eden ulusal ve uluslararası değerlendirme sistemidir (URL-11, 2004). LEED sertifika çeşitleri, farklı bina tiplerine, sektöre ve projenin kapsamına göre çeşitlenmektedir (URL-12, 2018).

- LEED-NC: Yeni inşaat ve renovasyon (LEED New Construction and Renovation)
- LEED-EB: Mevcut Binalar: İşletim ve Bakım (Existing Buildings: Operations and Maintenance)
- LEED-CI: Ticari iç mekânlar (Commercial Interiors)
- LEED-CS: Çekirdek ve Kabuk (Core-and-Shell)
- LEED-H: Konutlar (Homes)
- LEED-ND: Bölgesel Gelişim (Neighborhood Development)
- LEED-R: Alışveriş Merkezleri (Retail)
- LEED-SCH: Okullar (Schools)
- LEED- HC: Sağlık Binaları (Healthcare)

2009 yılından önce değerlendirme sonucunda; Sertifika (26-32 puan), Gümüş (33-38 puan), Altın (39-51 puan) ve Platin (52-69 puan) olmak üzere iken, 2009 yılından sonra ve son yayınlanan LEED 4.1 versiyonunda yer alan puanlamalar; Sertifika (40-49 puan), Gümüş (50-59 puan), Altın (60-79 puan) ve Platin (80 puan ve üstü) olarak verilmektedir (Erdede ve Bektaş, 2014).

### 2.2. BREEAM

İngiltere’de Bina Araştırma Kurulu (BRE) tarafından 1990’da geliştirilen BREEAM, binalara yönelik ölçütlere dayalı ilk sertifika sistemidir (Somali, 2010). BREEAM ilk aşamada ev ve ofis için iki versiyon olarak yayımlanmıştır. Başlangıçta İngiltere koşulları için geliştirilmiş ve bu nedenle diğer ülkelere uyum sağlanmasında sıkıntılar yaşanmıştır. Ancak 2008 yılında BREEAM’ın uluslararası versiyonları piyasaya sürülmüş olup, dünya çapında kullanımı yaygınlaşmıştır. BREEAM, günümüzde bina çeşitleri ve ülkelere göre farklılık gösteren sertifika tipleri sunmaktadır. Bu sertifika şemaları; İngiltere için BREEAM UK, ülkemizin de içinde yer aldığı diğer ülkeler için BREEAM Uluslararası ve Basra Körfezinde yer alan ülkeler (Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, Irak, İran, Katar, Kuveyt, Suudi Arabistan ve Umman) için BREEAM Körfez Ülkeleri olarak üç ana başlıkta toplanmıştır (Sümer, 2013).

- BREEAM UK
  - BREEAM Toplu Yaşam Alanları
  - BREEAM Yeni Yapılar
  - BREEAM Sürdürülebilir Konutlar için Kodlar
  - BREEAM Mevcut Yapılar
  - BREEAM Yenileme
  - BREEAM EkoEvler
- BREEAM Uluslararası (Ülkemizde uygulanabilecek BREEAM versiyonları bu kategoriye girmektedir.)
  - BREEAM Uluslararası Avrupa: Ofisler
  - BREEAM Uluslararası Avrupa: Endüstriyel Binalar
  - BREEAM Uluslararası Avrupa: Alışveriş Merkezleri
  - BREEAM Uluslararası Avrupa: Toyota Satış Mağazaları
  - BREEAM Uluslararası BESPOKE (belirtilen şemalar dışında kalan binalar için sipariş usulü sertifika sistemi)
- BREEAM Körfez Ülkeleri

BREEAM değerlendirme sistemi, binanın çevresel etkisini değerlendirmek amacıyla 9 farklı kategoride incelemektedir. Kategorilerin belirli yüzdeleri ve çevre üzerindeki etkilere yönelik belirlenen ağırlık katsayısı vardır. Ağırlıklar ülke ve coğrafi koşullara göre değişkenlik göstermektedir (Sümer, 2013).

BREEAM değerlendirme sistemine göre bir binanın çevresel performansını belgelendirebilmek için gösterge puanlarının minimum %30’unu toplaması gerekmektedir. Bu

kriteri sağlayan binalar kademeli olarak: Geçer (30-45 puan), İyi (45-55 puan), Çok İyi (55-70 puan), Mükemmel (70-85 puan) ve Seçkin (85 puan üstü) olmak üzere derecelendirilir (Erdede ve Bektaş, 2014).

### 2.3. Sertifika Sistemleri ile İlgili Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Çoğu ülkenin yapılan çalışmalar gibi Türkiye’de de temel sertifika sistemleri baz alınarak özgün sertifika sistemi oluşturulmaya çalışılmaktadır. Henüz ülkemizde yasal olarak geçerliliği sağlanamamakla birlikte, farklı alanlarda çalışan kişiler tarafından ortak oluşturulan iki farklı sistem mevcuttur. Yapı sektörü için sürdürülebilirliği ilke edinen Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), 2007 yılında kurulmuştur. ÇEDBİK tarafından hazırlanan sistem, LEED ve BREEAM sistemlerini göz önünde tutarak Türkiye için Ulusal Yeşil Bina Sertifikası alınması için hazırlanmıştır (Erdede ve Bektaş, 2014). Oluşturulan sertifikanın sınırları, Türkiye şartlarına uyumluluğu, işverene maliyeti düşürmesi, beklenen sürdürülebilirlik seviyelerine ulaşma öngörüsü, gözden geçirmelerin yerel geri dönüşlerle yapılması sertifika avantajları arasındadır (Sümer, 2013).

Yeşil Bina Sertifikasının ana başlıkları; bütünlük yeşil proje yönetimi, arazi kullanımı, su kullanımı, enerji kullanımı, sağlık ve konfor, malzeme ve kaynak kullanımı, konutta yaşam, işletme ve bakım şeklinde sıralanabilir (Sümer, 2013). Belirtilen ana başlıklardan oluşan puanlama sonucunda; Tek Yaprak: Geçti-Certification-Pass, 2 Yaprak: Silver-Good, 3 Yaprak: Gold-Very Good, 4 Yaprak: Platin-Excellent sertifikaları verilmektedir (Çamlıbel ve Alhanlıoğlu, 2012).

İkinci sistem olan Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar (SEEB-TR) ise Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi (MSGSÜ) bünyesinde çalışmalarına başlamıştır. İki sistem de ülkemizin şartlarına uyum sağlayan yeni bir sistem oluşturmak için dünyadaki örnekleri detaylı bir şekilde incelemiştir (Erdede ve Bektaş, 2014). Sertifika alma süreci yatırımcı tarafından ekonomik maliyetleri arttıran bir yük olarak algılanmakta ve bu nedenle sertifika sistemlerine sıcak bakmamaktadır. Ancak araştırmalar, ilk yatırımda artan maliyetin, bina işletimindeki maliyetleri azalttığını ve binanın pazardaki değerini arttırdığını göstermektedir. Sertifika almanın maliyeti, toplam maliyetin sertifika tipine göre %1-6 olduğu belirtilmektedir (Çelik, 2009).

### 3. Yeşil Binaların Avantajları ve Dünyadaki Yeri

Amerikan Yeşil Bina Konseyi’ne göre yeşil binalar çevresel, ekonomik ve toplumsal açıdan yararlar sağlamaktadır. Çevresel açıdan; ekosistemin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi, su ve hava kalitesinin artırılması, katı atığın azaltılması, doğal kaynakların korunması gibi yararlar sağlamaktadır. Ekonomik açıdan; işletim maliyetlerinin azaltılması, yapı değerinin ve karlılığının artırılması, çalışanların üretim ve memnuniyetinin artırılması, yaşam döngüsü süresince ekonomik performansın optimize edilmesidir. Toplumsal açıdan ise; havadaki, ısınmadaki ve akustikteki kalitenin artması, kullanıcının konforunda ve sağlığında iyileştirmeler, yerel altyapıdaki yüklenmenin azalması, genel yaşam kalitesinin artması olarak belirtilmiştir (Çelik, 2009).

Yapılan araştırmalara göre, yeşil olarak tasarlanan ve işletilen binaların, alışlagelmiş yöntemlerle tasarlanan ve işletilen ortalama binalara oranla enerji kullanımı için %24-50, CO<sub>2</sub> emisyonları için %33-39, su tüketimi için %30-50, katı atık miktarı için %70, bakım maliyetleri için ise %13 oranında azalmanın sağlanabileceği ön görülmektedir. Amerikan Yeşil Bina Konseyi (USGBC), yeşil bir binanın ortalama %32 daha az elektrik kullanarak yılda 350 metrik ton CO<sub>2</sub> emisyon salınımının önüne geçebileceğini belirtmektedir. Dünyada yeni binalara duyulan ihtiyaç her geçen gün artış göstermekte ve yapı sektörünün etkisi sürekli olarak artmaktadır. USGBC önümüzdeki 25 yıl içerisinde binaların neden olduğu CO<sub>2</sub> emisyonu salınımlarının, yıllık bazda %1.8’lik bir oran ile diğer sektörlere nazaran çok daha hızlı bir artış göstermesini öngörmektedir (Kobaş, 2011).

Birçok ülke yeşil binaları yaygınlaştırmak için farklı teşvik yöntemleri geliştirmiştir. ABD, bu teşvikler konusunda ön planda yer alan ülkelerin başında gelmektedir. Ayrıca İngiltere, Fransa, Hollanda, Almanya, Singapur, Brezilya ve daha birçok ülke yeşil binalar için teşvik sistemleri kullanmaktadır. ABD’de yeşil binaların yaygınlaşması için uygulanan teşvikler federal düzeyde vergi kredisi ve hızlandırılmış amortisman olarak iki şekilde uygulanmaktadır. Bir yükümlü yeşil bina konseptinde enerji yatırımı yaptığında, bu yatırım için harcanan maliyetin %10-30’u kadar bir vergi kredisi ya da hibeden yararlanabilmektedir (Erdoğan vd., 2015).

McKinsey firmasının tahminine göre, ABD’nde 2009 ile 2020 arasında yapılacak enerji verimliliği yatırımları sayesinde 395 milyar \$ değerinde enerji tasarrufu ve konutların toplam enerji talebinde %28 azalma mümkün olacağı, yine firmaların gelişmekte olan ülkelerde 90 milyar \$ değerindeki enerji verimliliği yatırımı sayesinde enerji masraflarının 600 milyar \$ azalacağı tahmin edilmektedir (McKinsey, 2010). Ticari binalarda 125 milyar \$’lık bir ilave yatırımın, enerji talebini %29 azaltacağı ve 290 milyar \$’lık enerji tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir (Granade vd., 2009). Tüm bu değerler ABD’nin yeşil binalara ne kadar önem verdiğini göstermektedir.

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (DSKİK) tarafından yürütülen bir başka araştırma, ABD, Avrupa Birliği (AB), Japonya, Çin, Hindistan ve Brezilya’da yıllık 150 milyar \$ değerinde çevre dostu yeşil bina yatırım potansiyeli olduğunu ve bu yatırımlarla sağlanacak enerji tasarruflarının yatırım harcamalarını 5 yıldan daha az bir süre içerisinde geri ödeyebileceğini ortaya koymuştur. 150 milyar \$’lık ek yatırım ise kendisini 5-10 yıl içerisinde amorti etmektedir (WBCSD, 2009). Binalarda sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik harcamaların geri dönüş sürelerinin analiz edildiği bir çalışma, bu tür harcamaların yaklaşık 6 yıl içinde kendisini amorti edebildiğini ortaya koymaktadır. Enerji tasarrufu sağlamaya yönelik harcamaların yalnızca çevreyi korumak açısından değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da son derece karlı bir yatırım olduğunu göstermektedir (Erdoğan vd., 2015).

#### 4. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Bursa ilinin Osmangazi ilçesi Çekirge semtinde yer alan, toplam 150 m<sup>2</sup> taban alanına sahip (15 m \* 10 m), iki katlı bir ofis binası klasik ve yeşil olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Her iki tasarım için de binaların ana hatlarının çizimleri Şekil 1-4’te verilmiştir. Bu ofisin;

1. katında; 3 adet 3 m<sup>2</sup>’lik tuvalet (WC), 2 m<sup>2</sup>’lik merdiven boşluğu, 139 m<sup>2</sup>’lik açık ofis çalışma alanında 9 adet çalışma masası ve 1 adet danışma masası için elektrik ve internet tesisatı yer almakta;

2. katında; 12 m<sup>2</sup>’lik mutfak, 45 m<sup>2</sup>’lik yönetim odası, 2 m<sup>2</sup>’lik merdiven boşluğu ve 91 m<sup>2</sup>’lik toplantı ve dinlenme alanı bulunmaktadır.



Şekil 1. Klasik ofisin genel görünüşü



Şekil 2. Yeşil ofisin genel görünüşü



Şekil 3. Yeşil ofisin arkadan görünüşü



Şekil 4a. Ofisin 1. kat görünüşü (15 m\*10 m=150 m<sup>2</sup>)



**Şekil 4b.** Ofisin 2. kat görünüşü (15 m\*10 m=150 m<sup>2</sup>)

Klasik ofis binasında, yalıtımsız bina kabuğu, doğalgaz sistemi ile ısıtma, tasarruflu enerji kullanımı söz konusu iken, yeşil ofis binasında kendi enerjisini kendisi üreten, ısı ve enerji kayıplarını minimize eden, doğadan maksimum derecede faydalanan bir yapı özelliği mevcuttur. Her iki tasarımda da, bir ofiste yer alması gereken bütün detaylara yer verilmiş ve maliyetleri piyasada geçerli olan fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır (URL-13, 2017). Yeşil ofis binası ve klasik ofis binasındaki enerji kullanım miktarları ile kullanım bedelleri hesabı yıllık olarak dikkate alınmıştır. Her iki ofisin yatırım maliyetleri ile enerji kullanım bedelleri arasındaki farklar da hesaplanmıştır.

Tasarımlar sırasında hesaplamaların gerçeğe uygunluğu açısından gerekli durumlarda tesisat ustalarına danışılmıştır. Bunun yanı sıra, bina için gerekli ısıtma enerjisi hesaplarında TS 825 dikkate alınmıştır. Elektrik enerjisi kullanım hesaplarında, hafta sonları ve resmi izinler çıkarıldığında 251 iş günü kabul edilmiş ve ofisin; buzdolabı, aydınlatma, bilgisayar, klima ve diğer elektrikli aletlerden kaynaklanan elektrik tüketimi toplamı klasik ve yeşil ofis için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yeşil ofiste kullanılan beyaz eşyalar A++ enerji tasarruflu seçilmiş ve LED aydınlatmalar kullanılmıştır. Yeşil ofisin klasik ofise göre su tüketimi açısından farkı, tasarruflu muslukların ve rezervuarların tercih edilmesidir. Su tüketimi hesaplarında ofiste 12 kişinin günde 8 saatten yılda toplam 251 iş günü çalıştığı kabul edilmiştir.

## 5. Bulgular ve Tartışma

Türkiye çapında yeşil bir ofis için amortisman hesabının ilk defa yapıldığı bu çalışmada, iki katlı ve 150 m<sup>2</sup> olarak planlanan klasik ofis ile yeşil ofisteki elektrik ve su sarfiyatları, ısıtma için

harcanan enerji miktarları ve kullanım bedelleri piyasa rayiç bedelleri üzerinden hesaplanmıştır. İlave olarak, yeşil ofisin ne kadar sürede kendini amorti edeceği yine günümüz koşullarına uygun olarak belirlenmiştir.

### 5.1. Klasik ve Yeşil Ofisin Elektrik ve Su Sarfiyatları İle Isıtma İçin Harcanan Enerji Miktarlarının Belirlenmesi

Klasik ofis ile yeşil ofisin elektrik, ısıtma ve su kullanım sistemleri çeşitli farklılıklar göstermektedir. Türk Standardı (TS) 825'e göre yapılan ısı hesaplarında, klasik ofisin yıllık ısıtma ihtiyacı 69.951.89 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçtan kullanılan doğal gaz hacmini hesaplamak için hacim-enerji dönüşümü kullanılmalıdır ve bu değer 1 m<sup>3</sup> doğalgaz tüketildiğinde, 10.64 kWh ısıtma enerjisine karşılık gelmektedir (URL-14, 2017).

#### Klasik ofis için doğalgaz ihtiyacı ve maliyeti;

$69.951.89 / 10.64 = 6.574.42 \text{ m}^3$  doğalgaz kullanılması gerekmektedir.

Doğalgaz tüketim bedeli 0.31 \$/m<sup>3</sup>'tür (URL-15, 2017).

$6.574.42 * 0.31 = 2.038 \text{ \$'dır.}$

#### Klasik ofis için elektrik kullanım miktarı ve maliyeti;

Elektrik kullanım bedeli 0.12 \$/kWh (URL-16, 2017) ve elektrik kullanım hesaplarına göre yıllık elektrik sarfiyatı 17.071.51 kWh'tir. Yıllık elektrik tüketim maliyeti;

$17.071.51 * 0.12 = 2.048.5 \text{ \$'dır.}$

#### Klasik ofis için su kullanım miktarı ve maliyeti;

Su tüketim bedeli 1.30 \$/m<sup>3</sup> (URL-17, 2017); su kullanım hesaplarına göre yıllık su sarfiyatı 833.28 m<sup>3</sup>'tür ve yıllık su kullanım maliyeti;

$833.28 * 1.30 = 1.084 \text{ \$'dır.}$

Yeşil ofiste kullanılan elektrik, çatıya döşenen güneş panellerinden elde edilirken, ısıtma enerjisi toprak kaynaklı ısı pompası ile yerden ısıtmalı olarak sağlanmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompasının tercih edilmesinin en önemli nedeni, toprak sıcaklığının kararlı olmasıdır. Kış aylarında bile toprak sıcaklığı ortalama 8-10 °C arasında değişmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılmamasına neden olan tek dezavantajı, boru sisteminin döşenmesi için gerekli alan ihtiyacıdır (Yahşi, 2017). Yerden ısıtma sisteminde kullanılan yöntemde ise, odanın ısı kaybının fazla olduğu alanlara daha sık, ısı kaybının az olduğu alanlara ise daha seyrek boru

döşemesi yapılarak ısının oda içerisinde eşit dağılımı sağlanmaktadır. Bu koşullarda gerekli enerji ihtiyacını doğru noktalara sevk ederek, enerji yönetimi sağlanmış olmaktadır. Maliyeti gün geçtikçe azaltılan bu sistem, ülkemizde yeni yapılarda kullanılmaya başlanmıştır (URL-18, 2019).

Yeşil ofislerde su tasarrufu amacıyla, fotoselli musluklar kullanılmaktadır. Su kullanım

hesaplarına göre, yeşil ofisin yıllık su sarfiyatı  $275.52 \text{ m}^3$ 'tür ve yıllık su kullanım maliyeti;

$$275.52 * 1.30 = 358 \text{ \$'dır.}$$

Klasik ofis ve yeşil ofisin elektrik, ısıtma ve su sistemlerinin kullanım miktarları ve maliyetleri açısından karşılaştırılmaları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre klasik ofisin yıllık maliyeti 5.170.5 \$ iken, yeşil ofisin yıllık maliyeti 358 \$'dır.

**Tablo 4.** Klasik ve yeşil ofisin elektrik, ısıtma ve soğutma sistemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması

	Klasik ofis		Yeşil ofis	
	Kullanım miktarı	Maliyet (\$/yıl)	Kullanım miktarı	Maliyet (\$/yıl)
Elektrik	17.071.51 kWh/yıl	2.048.5	6.566.16 kWh/yıl	-
Doğalgaz	6.574 m <sup>3</sup> /yıl	2.038	1.622.4 m <sup>3</sup> /yıl	-
Su	833.28 m <sup>3</sup> /yıl	1.084	275.52 m <sup>3</sup> /yıl	358
Toplam tutar	-	5.170.5	-	358

## 5.2. Klasik ve Yeşil Ofisin İnşaat Maliyetlerinin Belirlenmesi

Klasik ofis ile yeşil ofisin inşaat maliyetleri Tablo 5'te verilmektedir. Hesaplamalarda klasik ofis ile

yeşil ofisin yapım aşamasından, içerisindeki tüm malzeme ve eşyaların döşenmesine kadar tüm maliyetler dikkate alınmıştır (URL-13, 2017). Klasik ofisin anahtar teslim fiyatı 61.637 \$ iken, yeşil ofisin anahtar teslim fiyatı 93.376 \$'dır.

**Tablo 5.** Klasik ofis ile yeşil ofisin inşaat maliyetleri

	Klasik ofis (\$)	Yeşil ofis (\$)
Pencere	2.200	6.636
Sıva	3.987	3.987
Su tesisatı	1.318	2.135
Beton	4.240	4.240
Demir	7.174	7.174
Duvar örme maliyeti	14.236	14.236
Harç	795	795
Kolon	528	528
Çatı	7.486	7.486
Elektrik tesisatı	3.234	2.365
Döşemeler	3.479	3.479
Kapılar	545	545
Merdiven	369	369
Mutfak dolapları	596	596
Elektrikli ofis eşyaları	8.452	2.512
Isıtma sistemi	2.998	5.224
Güneş panelleri maliyeti	-	18.417
Isı pompası maliyeti	-	9.079
Yalıtım maliyeti	-	1.896
Yağmur suyu deposu	-	1.677
Toplam maliyet	61.637	93.376

### 5.3. Amortisman Süresinin Hesaplanması

Klasik ofis ve yeşil ofisin enerji sarfiyatları ile bu sarfiyatların yıllık enerji için harcanan tutarları belirlenmiştir. Klasik ofis ile yeşil ofisin arasındaki maliyet farkının, enerji için harcanan tutarların farkına oranı amortisman süresini vermektedir. Tablo 5'e göre, yeşil ofisin maliyeti 93.376 \$, klasik ofisin maliyeti 61.637 \$'dir. Yeşil ofiste elektrik, ısıtma ve su için harcanan enerjinin yıllık maliyeti 358 \$; klasik ofiste ise 5.170.5 \$'dir (Tablo 4). Buna göre yeşil ofisin amortisman süresi, 6 yıl 5 ay olarak bulunmuştur.

- Yeşil ofis ile klasik ofis arasındaki maliyet farkı;  
 $93.376-61.637=31.739$  \$'dir.
- Yeşil ofis ile klasik ofis enerji harcamaları arasındaki fark;  
 $5.170.5-358=4.812.5$  \$/yıl'dır.
- Amortisman süresi;  
 $31.739/4.812.5= 6$  yıl 5 ay'dır.

Yapılan literatür incelemelerinde, bu çalışmada yapılan yeşil bir ofisin tasarımı ve maliyet farkından amortisman süresine yönelik herhangi bir benzer çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak Bayar (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, Ankara şartları için toplam iç kullanım alanı 100 m<sup>2</sup>, iki katlı bir yeşil ev tasarlanmış olup, elektrik enerjisinde kullanılan ekipmanlar için amortisman süresinin 7.13 yıl, ısıtma enerjisinde kullanılan ekipmanlar için amortisman süresinin de 10.89 yıl olduğu bulunmuştur.

## 6. Sonuçlar

Son yıllarda nüfusla birlikte enerji ihtiyacındaki artış ve fosil kaynakların kısıtlı olması göz önüne alındığında, alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesinin gerekliliği gündeme gelmiştir. Enerji sektöründe verimlilik, arz ve talep açısından ideal düzeylere getirilmedikçe, enerji tüketimi tarafından Türk ekonomisine olan baskının azalması mümkün gözükmemektedir. Ülkemiz için öngörülen binalardaki asgari enerji tüketim limitleri, benzer iklim koşullarına sahip ülkeler ile karşılaştırıldığında, %30 daha fazladır. Türkiye'nin maliyet açısından en etkin çıkış noktası enerji verimliliğini arttırarak nihai tüketimin %25'inin potansiyel olarak geri kazanılmasıdır (Keskin, 2011).

Bu çalışmada, bütün enerji ihtiyacını dışarıdan hazır olarak sağlayan klasik bir ofis ile elektrik enerjisini güneşten, ısıtma enerjisini toprak

kaynaklı ısı pompasından, su ihtiyacını ise tasarruflu armatürlerle azaltarak hazır karşılayan bir yeşil ofis tasarlanmıştır. Klasik ofisin doğalgaz ihtiyacı, elektrik ve su kullanım miktarı ile maliyetleri, yeşil ofisin su kullanım miktarı ve maliyeti hesaplanmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Klasik ofisin toplam inşaat maliyeti 61.637 \$, yeşil ofisin toplam inşaat maliyeti ise 93.376 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Klasik ofisin yıllık enerji ihtiyacı maliyeti 5.170.5 \$; yeşil bir ofisin enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacağı için yıllık enerji ihtiyacı maliyeti sadece 358 \$'dir.
- Yeşil ofis için hesaplanan amortisman süresi 6 yıl 5 ay'dır.

Çalışmanın sonucunda, yeşil ofisin maliyetinin klasik ofise oranla yüksek olduğu görülmekle birlikte, yeşil ofisin yıllık enerji ihtiyacının klasik ofise göre çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yeşil ofislerde, düşük su tüketiminin olması ve ısıtma enerjisinin fosil yakıtlardan değil de toprak kaynaklı ısı pompasından karşılanması avantajdır. Ayrıca, güneş panellerinden sağlanan elektrik enerjisinin kullanım fazlası devlete satılarak ekstra maliyet elde edilebileceği düşünülmektedir.

İnşa edilen yapıların ortalama ömürlerinin 50 yıl olduğu bilinmektedir (URL-19, 2011). Bu bilgiden yola çıkarak, bu çalışmada hesaplanan amortisman süresinin kullanım ömrünün yaklaşık onda biri olduğu belirlenmiştir. Zaman içerisinde binanın kullanım durumuna paralel olarak bakımlar düzenli olarak yapıldığı takdirde, elde edilen sonuç doğrultusunda yeşil ofisin ilerleyen yıllarda kullanıcılarına büyük maliyet avantajları kazandıracığı ön görülmektedir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından şanslı bir ülke olmasına rağmen, bu kaynakları değerlendirme konusunda çok aktif değildir. Fosil kaynaklardan uzaklaşarak, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde durulduğunda, hem dış ülkelere olan enerji bağımlılığımız azalacak, hem de gelecek nesillere daha sağlıklı ve yaşanılabilir bir dünya bırakılmış olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine yapılan araştırmalar ve yatırımlar, ülkemizin refah düzeyinin artmasına katkıda bulunacaktır.

## Kaynaklar

- Anbarcı, M., Giran, Ö. ve Demir, İ.H., 2012. Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması, e-Journal of New World Sciences Academy. 7(1), 368-383.
- Bayar, U., 2016. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanılan Bir Yeşil Ev Analizinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 179 s.
- Çamlıbel, E. ve Alhanlıoğlu, G., 2012. 2023 Yılında Türkiye'de Yeşil Konutlar. Ekoyapı Dergisi.
- Çelik, E., 2009. Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye'de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 97 s.
- Erdede, S.B. ve Bektaş, S., 2014. Ekolojik Açından Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi. 6(1), 1-12.
- Erdoğan, M.M., Karaca, C., Çamlıbel, M.E., Alhanlıoğlu, G., Akgün, Y. ve Uğurlu, D., 2015. Enerji tasarrufu perspektifinden çevre dostu sosyal binalar ve yaygınlaşmasına hizmet edebilecek maliye politikaları, Türkiye Maliye Sempozyumu, 20-24 Mayıs 2015, Antalya, Türkiye, s 30.
- Granade, H.C., Creyts, J., Derkach, A., Farese, P., Nyquist, S. ve Ostrowski, K., 2009. Unlocking energy efficiency in the U.S. economy. McKinsey.
- Keskin, T., 2011. Türkiye'de enerji verimliliği süreci ve yapılması gerekenler, TMMOB 8. Enerji Sempozyumu, 17-19 Kasım 2011, İstanbul.
- Kobaş, B., 2011. Oluşturulmakta Olan Türk Yeşil Bina Değerlendirme Sisteminin Malzeme Kategorisi İçin BREEAM ve LEED Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 97 s.
- McKinsey, 2010. Energy Efficiency: A Compelling Global Resource. McKinsey & Company.
- Öztürk, H.H., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Somalı, B., 2010. LEED mi BREEAM mi?, Yeşil Bina Dergisi, 1.
- Sümer, E., 2013. Yeşil Bina Proje Yönetim Süreçleri ve Türkiye'de LEED ve BREEAM Uygulamalarında Proje Yönetimi Süreçlerine İlişkin Örnek Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 127 s.
- WBCSD, 2009. Energy efficiency in buildings: Transforming the market. World Business Council for Sustainable Development, Geneva.
- Yahşi, S., 2016. Yeşil Bir Ofisin Çevresel Analizi ve Maliyet Hesabı. Bitirme Projesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bursa, 77 s.
- Yılmaz, Z., 2010. Binalarda Enerji Verimliliği ve Yeşil Bina Sertifikasyonu İçin Bina Enerji Modellemesi. Ekoyapı Dergisi. 1.
- Yöntem, S., 2016. Çevre Dostu Binalarda Enerji Verimliliği Örnek Uygulamalar, Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi, 1-39.
- Yüksel, T. ve Acarkan, B., 2013. Yeşil binalar ile aydınlatma için tüketilen enerjideki tasarruf potansiyelinin ve ekonomik katkıların belirlenmesi, Elektrik Mühendisleri Odası V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli, Türkiye.
- URL-1 <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/YesiIIBolBiNA.pdf> 2017. 7 Haziran 2018.
- URL-2 <https://yuvayayolculuk.com/cevre-enerji-etkilesimi.html> 2015. 6 Haziran 2018.
- URL-3 [http://www.erketasarim.com/yesil-bina-danismanligi/?gclid=oxmwOKqdsvZFGezQsqrvqZmQc6tXcw7K0jK3EIZh8sBoCepPw\\_wcB](http://www.erketasarim.com/yesil-bina-danismanligi/?gclid=oxmwOKqdsvZFGezQsqrvqZmQc6tXcw7K0jK3EIZh8sBoCepPw_wcB) 2017. 7 Haziran 2018.
- URL-4 <https://kuzeyormanlari.org/2015/03/30/anadolun-un-il-il-baraj-ve-hes-soykirim-haritasi/>
- URL-5 <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>
- URL-6 <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>
- URL-7 <http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-kullanimi-potansiyel-degeri/>
- URL-8 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm> 2008. 8 Haziran 2018.
- URL-9 <https://cedbik.org/tr/haberler/leed-yes-il-bina-sertifikasi-olan-ilk-10-ulke-icinde-turkiye-8-sirada-36-n> 2018. 8 Haziran 2018.
- URL-10 <https://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs5546.pdf> 2010. 22 Haziran 2018.



URL-11 Green Construction, "Introducing Green Buildings & LEED® to Contractors". s.1, 2004.

URL-12 <https://new.usgbc.org/leed>. 20 Haziran 2018.

URL-13 Bursa, Osmangazi İlçesi, Gazcılar ve Bahar mahallesinde bulunan esnaflardan alınan fiyatlar. 2017.

URL-14 <http://gazelektrik.com/enerji-piyasalari/dogalgaz-fiyatları> 2017. 29 Temmuz 2018.

URL-15 <http://gazelektrik.com/s-s-s/dogalgaz-metrekup-fiyatı> 2017. 29 Temmuz 2018.

URL-16 <https://enerjienstitusu.org/elektrik-fiyatları/2017>. 11 Temmuz 2018.

URL-17 [http://www.buski.gov.tr/tr/haber/buskinin\\_buyuk\\_hizmet\\_kosusu\\_439](http://www.buski.gov.tr/tr/haber/buskinin_buyuk_hizmet_kosusu_439) 2017. 07 Temmuz 2018.

URL-18 <http://www.cetinmuhendislik.com.tr/Default.aspx> 2019. 25 Nisan 2019.

URL-19 <http://www.haberturk.com/ekonomi/emlak/haber/682333-bir-binanın-omru-ne-kadar#> 2011. 05 Temmuz 2018.

## Sera Şartlarında Yetiştirilen Çilekte (*Fragaria x ananassa* L.) Organik Gübre Uygulaması İle Bombus Arılarının (*Bombus Terrestris*) Kullanımının Meyvelerin Biyokimyasal İçerikleri Üzerine Etkileri

*The Effects of Using Organic Fertilizer and Bumblebees (Bombus Terrestris) on the Biochemical Contents of Fruits in Greenhouse-grown Strawberry (Fragaria x ananassa L.)*

Gürsel ÖZKAN\*

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 25240-Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 05.03.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 03.05.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 15.05.2019

### Öz

Bu çalışma, 2017 yılında sera şartlarında çilek yetiştiriciliğinde organik gübre uygulaması ile Bombus arılarının kullanımının meyvelerin biyokimyasal içerikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla Erzurum Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezine ait ısı kontrollü serada yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak Albion çilek çeşidine ait 1.sınıf frigo fideler kullanılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 30 bitki olacak şekilde kurulmuştur. Denemede yetiştirme ortamı olarak kokopit kullanılmıştır. Kontrol bitkilerinin dışında kalan bitkilere Roa Plus Organik Gübresi önerilen dozda iki haftada bir olmak üzere uygulanmıştır. Denemenin kurulumundan 4 ay sonra ilk örnekler alınarak seraya 3 koloni Bombus arısı yerleştirilmiştir. Bundan 1,5 ay sonra yeniden örnekler alınıp karşılaştırma yapılmıştır. Araştırmada meyvelerin SÇKM, toplam şeker, vitamin C, Malik asit, pH ve Titre Edilebilir Asit içerikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak Bombus arılarının faaliyeti ile hem kontrol hem de organik gübre uygulamasına ait meyvelerde incelenen parametrelerin çoğunda artış olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Bombus Terrestris*, Çilek, Erzurum, Organik Gübre, Sera

### Abstract

This study was carried out in the temperature controlled greenhouse of Erzurum Atatürk University Plant Production Application and Research Center in 2017 to investigate the effects of the use of organic fertilizers in strawberry cultivation in greenhouse conditions on biochemical content of fruits. As a vegetable material, first class frigo seedlings belonging to Albion strawberry variety were used. The experiment was designed with 3 replications according to the experimental design and 30 plants in each replica. Kokopit was used as the growing medium in the experiment. Roa Plus Organic Fertilizer was applied to the plants outside the control plants every two weeks at the recommended dose. Four months after the experiment, the first specimens were taken and 3 colony bumblebees were placed in the greenhouse. After 1.5 months, samples were taken and compared. In the study, the content of TSS, total sugar, vitamin C, Malic acid, pH and Titratable Acid were determined. As a result, it was determined that most of the parameters examined in the fruits of both control and organic fertilizer application with the activity of Bumblebee bees.

**Keywords:** *Bombus Terrestris*, Strawberry, Erzurum, Organic Fertilizer, Greenhouse

\* Gürsel ÖZKAN; gozkan08@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 16 80; orcid.org/

## 1. Giriş

Çilek tüm dünyada severek tüketilen üzüksü meyveler arasındadır. *Rosales* takımının *Rosaceae* familyası içerisinde *Fragaria* cinsine dahil olan çileğin, Avrupa, Asya, Güney ve Kuzey Amerika'da 12 kadar türü doğal olarak yetişmektedir. Kültürü yapılan çilek çeşitleri, Kuzey Amerika orijinli *F. virginiana* ve Güney Amerika orijinli *F. chiloensis* türlerinin melezi *Fragaria x ananassa* türü içerisinde bulunmaktadır. ABD, Avrupa, Güney ve Doğu Afrika ülkeleri, Yeni Zelanda, Avustralya ve Japonya'da yoğun olarak yetiştirilen çilek, birçok tüketim imkanına sahiptir. Otsu yapıda ve çok yıllık bir meyve türü olması, üzerinde birçok ıslah çalışmalarının yapılması ile de dünya üzerinde üretimi giderek artmaktadır (Ağaoğlu, 1986; Aybak, 2005).

Çilek yetiştiriciliği Türkiye'de küçük ve orta ölçekli işletmeler ve aile işletmeleri tarafından tercih edilmektedir. Farklı iklim özelliklerine sahip olan Türkiye'de üretimin yıl içerisinde yayılmış olması ilk ve son turfanda olarak çilek yetiştiriciliğine imkan vermektedir. Ülkede iklimin olumsuz etkisinden dolayı bitkisel üretimin sınırlı olduğu illerin başında Erzurum gelmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde 39- 55 kuzey enlemi 41-16 doğu boylamı üzerinde bulunan Erzurum ili Türkiye'nin rakımı en yüksek (1850-1980 m) ve en soğuk illerinden birisidir (Özkan, 2012).

Erzurum ilinde çilek yetiştiriciliği özellikle son turfanda olarak yapılmaktadır. Vejetasyon periyodu haziran ile Ekim ayları arasında oldukça kısa bir süreyi kapsamaktadır. Bu nedenle örtü altında çilek yetiştiriciliği bu periyodu uzatmak ve daha fazla gelir elde etmek amacıyla bir zorunluluk haline gelmektedir. İlde örtü altında çilek yetiştiriciliği yapan işletme sayısı oldukça sınırlıdır. Bu işletmelerde iklimlendirme istemi olmadığından uzun geçen kış sezonunda üretim mümkün değildir. Ayrıca sera yetiştiriciliğinde en önemli problemlerden biri de yeterli hava akımının olmamasından dolayı çiçeklerin tozlanamaması ve bu nedenle küçük ve şekilsiz, kalitesi düşük meyvelerin elde edilmesidir. Bu anlamda seralarda tozlanmayı sağlamak amacıyla ticari tozlayıcı olarak geniş ölçüde bombus arıları kullanılmaktadır (Mommaerts, 2011; Fliszkiewicz vd., 2011). Bombus arıları genellikle soğuk hava sıcaklıklarında daha etkili olmaktadır (Paydas vd., 1998). Bombus arılarının kullanımıyla meyve iriliğinde ve kalitesinde gözle görülür artışlar meydana gelmektedir. Meyvelerin irileşmesinde

tohumun önemli bir yeri vardır. Tohum ise iyi bir tozlanmadan sonra meydana gelmektedir. Bombus arılarının faaliyeti ile meyvelerdeki tohum artışı aynı zamanda meyvelerin hacimsel olarak artışını da sağlamaktadır. Sera şartlarında yetiştirilen tatlı biberlerde yapılan bir çalışmada bombus arıları tarafından ziyaret edilen çiçeklerden meydana gelen meyvelerde hem tohum sayısının hem de meyve ağırlıklarının kontrole göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Rolda'n Serrano ve Guerra Sanz, 2006). Yine hıyarlarda yapılan bir çalışmada bombus arılarının etkinliği ile verimde artışlar meydana gelmiştir (Gajc-Wolska vd., 2011). Benzer şekilde sera şartlarında su kültüründe Selva çilek çeşidiyle yapılan bir çalışmada ise bombus arılarının kullanımıyla pazarlanabilir meyve miktarında önemli artış olduğu saptanmıştır (Dimou vd., 2008). Bombus arılarının kullanımı sera ile sınırlı değildir. Açık arazide meyve bahçelerinde kullanımı ile bal arılarının tozlanmaya etkilerine katkı yaparak meyvelerin çekirdek sayılarında ve iriliklerinde artışlar meydana getirmektedir (Zisovich vd., 2012).

Bu çalışma ile iklimlendirme sistemine sahip seralarda ve organik şartlarda yıl boyu üretim gerçekleştirilmiştir. Sera yetiştiriciliğindeki önemli bir problemi ortadan kaldırmak için Bombus arı kolonileri kullanılmış ve Bombus arılarının meyvelerin biyokimyasal içerikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Araştırmada bitkisel materyal olarak yediveren çilek özelliğinde rakımı 600 m ve üzerindeki soğuk bölgeler için uygun, meyve kalitesi çok iyi, nakliye dayanıklı, hastalıklara dayanıklılığı en üst seviyede hoş kokulu ve aroması yüksek Albion çilek çeşidine ait 1. sınıf frigo fideler kullanılmıştır. Frigo fideler Antalya'da sertifikalı fide üretimi yapan özel bir firmadan temin edilmiştir.

### 2.2. Yöntem

Bu araştırma Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan ısı kontrollü (18-22°C) serada yürütülmüştür. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 30 bitki olacak şekilde planlanmıştır. Yetiştirme ortamı olarak kokopit kullanılmıştır. Deneme süresince bütün bitkilere gerekli besin solusyonu

verilmiştir. Ayrıca control bitkileri dışında kalan bitkilere ROA Plus organik gübresi önerilen dozda her 15 günde bir tekrarlanarak uygulanmıştır. Çalışmanın kurulumundan 120 gün (4 ay) sonra ilk örnekler alınarak, Agro Bio firmasından temin edilen ve koloni başına 80 adet arı bulunan 3 adet Bombus arı kolonisi seranın uygun yerlerine yerleştirilmiştir. 45 günlük (1,5 ay) arı faaliyetinden sonra tekrar meyve örnekleri alınarak çilek meyvelerine ait usarelerde suda çözünebilir kuru madde, C vitamini, pH, malik asit, titre edilebilir asitlik (sitrik asit cinsinden) ve toplam şeker analizleri yapılmış ve ilk örneklerle karşılaştırılmıştır.

Denemede çilek meyvelerinin suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM), toplam şeker,

vitamin C (Askorbik asit), Malik asit, pH içerikleri "RQflex plus 10" cihazı ile test kitleri kullanılarak reflektometrik olarak ve titre edilebilir asit içerikleri ise 0,1 N NaOH ile titrasyon metoduyla belirlenmiştir (Özkan, 2012).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada genel literature uygun olarak bombus arılarının kullanımı ile hem kontrol hem de organik gübre uygulamalarına ait meyvelerde gözle görülür irilik ve bir örneklik tespit edilmiştir (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4). Meyvelerin irilik ve üniform şekil oluşturmaları üzerine bombus arılarının faaliyetinin pozitif yönde etkili olduğu görülmektedir. Optimum tozlanmaya bağlı olarak meyvelerin albenisi daha yüksek olmuştur.



Şekil 1. Bombus arılarından önce Organik Gübre uygulamasına ait meyveler



Şekil 2. Bombus arılarından sonra Organik Gübre uygulamasına ait meyveler



Şekil 3. Bombus arılarından önce kontrol uygulamasına ait meyveler



Şekil 4. Bombus arılarından sonra kontrol uygulamasına ait meyveler

Bombus arı faaliyetinin öncesinde ve sonrasında alınan çilek meyvelerinden elde edilen

biyokimyasal analiz sonuçlarına ait ortalamalar Tablo 1' de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Albion çeşidine ait çilek meyvelerinin bazı biyokimyasal madde içerikleri

Parametreler	Bombus'tan önce		Bombus'tan sonra	
	Kontrol	Organik Gübre	Kontrol	Organik Gübre
SÇKM (%)	7,26±0,21	7,21±0,51	9,90±0,45	8,96±0,83
pH	2,17±0,05	2,17±0,05	2,20±0,01	2,20±0,01
Titre edilebilir asitlik (%) (sitrik asit cinsinden)	0,45±0,05	0,38±0,05	0,30±0,03	0,28±0,03
Malik asit (%)	0,10±0,77	0,11±0,32	0,11±0,30	0,12±0,10
C vitamini (mg/100ml)	36,83±6,13	29,52±0,30	37,50±3,27	35,38±3,40
Toplam şeker (glüköz+fruktoz)(%)	1,70±0,16	1,44±0,10	2,75±0,06	2,45±0,22

### 3.1. SÇKM (Suda çözünebilir kuru madde miktarı)

Analiz sonuçlarına göre SÇKM miktarları bakımından hem organik gübre uygulamasında hem de kontrol grubunda Bombus arılarının faaliyeti sonrasında artış belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında Bombustan önce %7,26 olan SÇKM değeri Bombustan sonra %9,90'a; Organik gübre uygulamasında %7,21 olan SÇKM değeri ise Bombustan sonra %8,96'ya yükselmiştir. Çilek meyvelerinde suda çözünür kuru madde içeriğinin organik yetiştiricilikte daha yüksek olduğu bilinmektedir (Balci, 2005). Buna ilaveten bombus arılarının tozlaşmaya etkisi ve iyi bir döllenmenin meydana gelişinin sonucu olarak SÇKM miktarının arttığı düşünülebilir.

### 3.2. pH

Her iki uygulama grubunda da Bombus'tan önce 2,17 olan pH değeri Bombustan sonra 2,20 olarak belirlenmiştir. Bombus arı faaliyetinin çilek meyvelerindeki pH içeriği üzerine ciddi bir farklılığa neden olmadığı söylenebilir.

### 3.3. Titre edilebilir asitlik

Bombus faaliyetinden önce Kontrol grubu meyvelerinde %0,45 olan değer bombus faaliyetinden sonra %0,30'a düşerken; organik gübre uygulamasında Bombustan önce %0,38 olan bu değer arı faaliyeti sonrasında % 0,28'e düşmüştür. Nitekim Ürdün'de sera şartlarında Honor çilek çeşidi ile yapılan çalışmada titre edilebilir asit miktarının geleneksel olarak yetiştirilen meyvelerde organik şartlarda yetiştirilenlere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Abu-Zahra vd., 2006). Aynı sonuç Brezilya'da Sweet Charlie çeşidinde yapılan bir çalışmada da elde edilmiştir (Camergo vd., 2009).

### 3.4. Vitamin C (Askorbik asit)

Vitamin C içeriği bakımından Bombus öncesinde kontrolde 36,83 mg/100ml olan değer Bombustan sonra 37,50 mg/100ml olarak belirlenmiştir. Organik gübre uygulamasında bombustan önce 29,52 mg/100ml olan Vitamin C içeriği ise Bombustan sonra yine artarak 35,38 mg/100ml olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde Balci (2005) çilekte yaptığı çalışmada Vitamin C içeriğinin organik yetiştiricilikte klasik yetiştiriciliğe oranla daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Akdeniz üniversitesinde yapılan bir çalışmada, örtüaltında topraksız çilek (*Fragaria*×*ananassa* Duch.) yetiştiriciliğinde

Vitamin C değerleri 59,70 ile 61,87 mg/100ml arasında (Adak ve Pekmezci, 2012), yine Akdeniz Üniversitesi Tohumculuk Araştırma ve Geliştirme Merkezine ait cam serada Camarosa çilek çeşidinde yapılan bir çalışmada 58.67 ile 60.50 mg/100ml arasında (Adak, 2010), Ege Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu Seracılık Programına ait PE örtülü serada farklı ortam kültürleri ile yapılan çilek yetiştiriciliğinde 22,34 ile 27,87 mg/100ml arasında (Eltez ve Tüzel, 2007) tespit edilmiştir. Sera şartlarında yapılan bizim çalışmamızda elde edilen Vitamin C içerikleri mevcut literatür sonuçlarına yakın değerlerde bulunmaktadır.

### 3.5. Toplam şeker (glikoz+fruktoz)

Çilek meyvelerindeki toplam şeker miktarları Bombus sonrasında hem kontrol grubunda hem de organik gübre uygulamasında önemli derecede artış göstermiştir. Kontrol grubu meyve örneklerinde bombus öncesinde %1,70 toplam şeker miktarı elde edilirken bu değer bombus sonrasında önemli bir artış ile %2,75 olarak belirlenmiştir. Yine organik gübre uygulamasında bombustan önce %1,44 olan toplam şeker içeriği bombustan sonra %2,45'e ulaşmıştır. Nitekim Wang ve Lin (2002) Honeoye ve Allstar çilek çeşitleriyle yaptıkları kompost çalışmasında kompost kullanımının toplam şeker içeriğini önemli derecede artırdığını belirtmişlerdir.

## 4. Sonuç

Sonuç olarak, sera şartlarında yapılan bu deneme ile hem organik gübrenin etkinliği hem de tozlanmada önemli role sahip olan Bombus arılarının etkinliği karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular Bombus arılarının faaliyetiyle çilek meyvelerindeki önemli bazı biyokimyasal içeriklerinde artış sağlandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar mevcut literatürlerle uyum içerisinde olmuştur. Bombus arılarının tozlanma da kullanımı ile bitkisel üretimde meyve iriliği ve kalitenin ve buna bağlı olarak verim artışının yanısıra meyvelerin biyokimyasal içeriklerinin iyileştirilmesinde mümkün olacağı kanısına varılmıştır.

## Kaynaklar

Abu-Zahra, T., R., Al-Ismael, K., Shatat, F., 2006. Effect of Organic and Conventional Systems on Fruit Quality of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) Grown under plastic house conditions in the Jordan Valley. *Acta Horticulturae*, 741, 159-171.

- Adak, N., 2010. Camarosa Çilek Çeşidinde Değişik EC Düzeylerinin Verim ve Kalite Üzerine Etkileri, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 27(2):22-33.
- Adak, N., Pekmezci, M., 2012. "Topraksız Çilek Yetiştiriciliğinde Fide Tipi ve Yetiştirme Ortamının Meyve Kalitesi Üzerine Etkileri". Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 49 / 2 :135-142.
- Ağaoğlu, Y.S., 1986. Üzümsü Meyveler. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak.,Yayınları: 984. Ders Kitabı: 290., Ankara, 377 s.
- Aybak, H.Ç., 2005. Çilek Yetiştiriciliği, Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Balcı, G., 2005. Klasik ve Organik Çilek Yetiştiriciliğinin Verim, Kalite ve Karlılık Yönünden Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Camargo, LKP., Resende J.T.V., Galvao, A.G., Baier, J.E., Faria, M.V., Camargo C.K., 2009. Chemical Characterization of Strawberry Fruits in the Organic and Conventional Cropping Systems in Pots, Semina- Ciências Agrarias Volume:30 Supplement:1, s:993-998.
- Dimou, M., Taraza, S., Thrasylvoulou, A., Vasilakakis, M., 2008. Effect of bumble bee pollination on greenhouse strawberry production. Journal of Apicultural Research. Volume 47: (2), p: 99-101.
- Eltez, R.Z., Tüzel, Y., 2007. "Merdiven Tipi Sistemde Farklı Topraksız Tarım Tekniklerinin Sera Çilek Yetiştiriciliğinde Verim ve Kaliteye Etkileri". Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 44 / 1: 15-27.
- Fliszkiewicz, F., Giejdasz, G., Wilkaniec, Z., 2011. The importance of male red mason bee (*Osmia rufa* L.) and male bufftailed bumblebee (*Bombus terrestris* L.) pollination in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 86:5, 457-460, DOI: 10.1080/14620316.2011.11512788
- Gajc-Wolska, J., Kowalczyk, K., Mikas, J., Drajski, R., 2011. Efficiency of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Pollination by Bumblebees (*Bombus terrestris*). Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus 10(1) 2011, p: 159-169.
- Mommaerts, V., Put, K., Smaggha, G., 2011. *Bombus terrestris* as pollinator-and-vector to suppress *Botrytis cinerea* in greenhouse strawberry. Pest Manag Sci 2011; 67, p:1069–1075.
- Özkan, G., 2012. Erzurum (Merkez) Koşullarında Organik Çilek Yetiştiriciliği İmkanları Üzerinde Bir Araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 116s.
- Paydas, S., Eti, S., Kaftanoğlu, O., Yasa, E., Derin, K., 1998. Effects of Pollination of Strawberries Grown in Plastic Greenhouses by Honeybees and Bumblebees on The Yield and Quality of The Fruits. DOI: 10.17660/ActaHortic.1998.513.53
- Rolda'n Serrano, A., Guerra Sanz, J.M., 2006. Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. Scientia Horticulturae (110) 160–166.
- Wang, S. Y., Lin, S. S., 2002. Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. Journal of Plant Nutrition 25(10): p.2243-2259.
- Zisovich, A. H., Goldway, M., Schneider, D., Steinberg, S., Stern, E., Stern, R. A., 2012. Adding bumblebees (*Bombus terrestris* L., Hymenoptera: Apidae) to pear orchards increases seed number per fruit, fruit set, fruit size and yield, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 87:4, 353-359, DOI: 10.1080/14620316.2012.11512876

## Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Doğruluğunun Mikro-Jeodezik Bir Ağda İncelenmesi

### *Investigating Accuracy of Precise Point Positioning Method in a Micro-Geodetic Network*

Sefa YALVAÇ\*

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 25.03.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.05.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 16.05.2019

#### Öz

Bu çalışmada, Hassas Nokta Konumlama (HNK) yönteminin yatay ve düşey bileşen için doğruluğu incelenmiştir. Bu amaçla, 5 noktalı mikro-jeodezik bir ağ tesis edilerek ardışık üç gün 8 saatlik Global Navigation Satellite System (GNSS) oturumları gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu ağda, noktalar arasındaki baz uzunluğu değerleri Elektronik Uzunluk Ölçer (EUÖ) ile yükseklik farkları ise geometrik nivelman yöntemi ile gidiş-dönüş şeklinde ölçülmüştür. Yüksek doğrulukta olduğu kabul edilen (yatayda 3 mm düşeyde ise birkaç mm) klasik yersel ölçümlerden elde edilen sonuçlar HNK ve rölatif GNSS analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, rölatif GNSS analiz sonuçlarından elde edilen değerlerin klasik yöntemden elde edilen değerlerle yatayda 1-6 mm düşeyde ise 10-20 mm seviyelerinde yakınlaştığı görüldürken, HNK yöntemi için ise aynı değerlerin yatayda 1-28 mm düşeyde ise 50-80 mm seviyelerinde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu değişimlere ait standart sapma değerlerinin ise rölatif konum belirleme için yatayda  $\pm 2.20$  mm, düşeyde  $\pm 16.46$  mm olduğu, HNK yöntemi için ise yatayda  $\pm 11.43$  mm düşeyde ise  $\pm 59.48$  mm seviyelerinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Doğruluk, HNK, GNSS, Mutlak Konumlama, Rölatif konumlama

#### Abstract

In this study, the accuracy of Precise Point Positioning (PPP) method was investigated. For this purpose, a micro-geodetic network containing 5 stations was established and 8-hour GNSS Global Navigation Satellite System (GNSS) sessions for three consecutive days were performed. At the same time, the baselines between the stations in this network were measured by Electronic Distance Meter (EDM) and the height differences are measured by the geometric leveling method. The results obtained from classical terrestrial measurements, which are considered to be highly accurate (3 mm in horizontal and few mm in vertical), were compared with the results of PPP and the relative GNSS methods. As a result of the comparisons, it was seen that the values obtained from the relative GNSS analysis approximated with the classical method with the levels of 1-6 mm in the horizontal and 10-20 mm in the vertical direction. For the PPP method, it was seen that the same values varied between 1-28 mm in horizontal and 5-8 cm in the vertical component. The standard deviation values of these changes were determined as  $\pm 2.20$  mm in horizontal and  $\pm 16.46$  mm in vertical for the relative positioning technique and  $\pm 11.43$  mm in the horizontal and  $\pm 59.48$  mm in vertical component for PPP method.

**Keywords:** Accuracy, PPP, GNSS, Absolute Positioning, Relative Positioning

\* Sefa YALVAÇ; sefayalvac@gmail.com; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0002-8989-6231



## 1. Giriş

Hassas Nokta Konumlama (HNK) yöntemi tek bir GNSS alıcısı kullanarak, doğrudan uydu ve alıcı arasındaki mesafenin belirlenmesi esasına dayanır. Bu yöntem global ölçekte koordinatların belirlenmesine imkan verdiğinden, rölatif konum belirlemede olduğu gibi referans sistem belirlemek için bölgesel istasyonların kullanımı zorunluluğu da yoktur. Bu teknikle yapılan konum belirleme için birçok ücretsiz yazılım ve çevrimiçi servis hizmet vermektedir. Oldukça basit ara yüzü olan bu servisleri kullanmak için GNSS analizi konusunda deneyim ve ileri seviye bilgi sahibi olmaya da gerek yoktur (Abd-Elazeem vd., 2011; Zhou vd., 2018). HNK yöntemi, operasyonel kolaylık, düşük maliyet, sabit istasyon zorunluluğunun olmaması, analizlerin hızlı ve kolaylıkla yapılması gibi birçok nedenden dolayı, HNK son yıllarda oldukça popüler olarak kullanılan bir konum belirleme yöntemidir.

GNSS uydularının sayısının artması, modernizasyonu ve IGS (International GNSS Service) başta olmak üzere, Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE), GFZ (German Research Center for Geoscience) gibi hassas saat ve yörünge parametrelerini üreten ajansların artmasıyla birlikte, HNK yönteminin doğruluğu da buna paralel olarak ciddi seviyelerde artış göstermiş bulunmaktadır (Yiğit vd., 2016). Ancak yine de elde edilen doğruluk, dm-cm seviyelerinde olup, ölçü süreleri bazı karşılaştırıldığında, halen rölatif konumlama yöntemi doğruluğuna ulaşılabilmiş değildir (Bahadır ve Nohutçu, 2018; Alkan vd., 2017). Ancak uydu jeodezisi ve veri değerlendirme stratejilerindeki yeni gelişmeler ışığında bilim insanlarının çalışmaları bu konuda halen devam etmektedir. Bu nedenle, günümüzde HNK yönteminin doğruluğu sürekli gelişmekte olup, sürekli takip edilmesi gereken bir konudur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, HNK yöntemi hakkındaki çalışmaların daha çok yöntemi kısıtlayan, yakınsama süresi (Bisnath ve Gao, 2009; Yao vd., 2013), çoklu GNSS çözümlerinin yöntemin duyarlılığına ve yakınsama süresine olan katkısı (Yiğit vd., 2016; Cai vd., 2015), troposferik ve iyonosferik hataların (Su ve Jin, 2018; Shi vd., 2012) koordinat kestirimine olan etkisi gibi konular üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. HNK yönteminden elde edilen sonuçların yüksek doğruluklu yöntemlerle karşılaştırılması üzerine

odaklanan çalışmaların literatürde oldukça az olduğu görülmektedir (Marques vd., 2018).

Bu çalışmada, HNK yönteminin yatay ve düşey yönlü bileşenler için nokta konum doğruluğu incelenmiştir. Bu amaçla, 5 noktalı bir mikro-jeodezik ağ tesis edilmiş ve ardışık üç gün en az 8 saatlik GNSS oturumları eşliğinde ölçülmüştür. Söz konusu ağda, GNSS oturumlarına ek olarak klasik yersel yöntemlerle de ölçüler gerçekleştirilmiştir. GNSS gözlemleri, rölatif ve HNK yöntemlerine göre ayrı ayrı analiz edilerek elde edilen sonuçlar yüksek doğrulukta gerçekleştirilen klasik yersel yöntemlerden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda hesaplanan koordinat farklılıkları incelenerek HNK yönteminin doğruluğu irdelenmiştir.

## 2. Yöntem

HNK yönteminin doğruluğunu test etmek amacıyla Gümüşhane Üniversitesi Merkez kampüsü içerisinde 5 noktalı bir mikro-jeodezik ağ tesis edilmiştir. Söz konusu ağda ardışık 3 gün GNSS oturumları düzenlenmiş, aynı zamanda klasik yersel ölçmeler eşliğinde noktalar arasındaki baz uzunlukları ve yükseklik farkları elde edilmiştir. Yüksek doğrulukta olduğu kabul edilen klasik yersel ölçümlerden elde edilen sonuçlar farkları alınmak suretiyle, rölatif ve HNK yöntemlerinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

### 2.1 Rölatif GNSS analizlerinin gerçekleştirilmesi

GNSS oturumlarından elde edilen gözlemler GAMIT/GLOBK V10.7 yazılımında değerlendirilmiştir (Herring vd., 2019). Analizler temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki GAMIT modülü ile günlük çözümlerin sağlanmasıdır. GAMIT modülü ile çözümler, her istasyonda eş zamanlı kaydedilen faz gözlemlerinden (L1 ve L2) oluşturulan iyonosferden bağımsız kombinasyonlar (LC) ile minimum zorlama esasında en küçük kareler yöntemine göre yapılmaktadır. Günlük çözümler için hassas yörünge ve saat parametreleri IGS (International GNSS Service)'den elde edilmiştir. İkinci aşamada, günlük bazda yapılan çözümler için referans sistem tanımlaması gerçekleştirilir. Bu amaçla, yazılıma ait GLOGR modülü kullanılarak, koordinatları ve hızları ITRF sisteminde tanımlı IGS istasyonları vasıtasıyla, günlük çözümler Helmert transformasyonu ile ITRF sistemine taşınır.

## 2.2 Mutlak GNSS analizlerinin gerçekleştirilmesi

Mutlak yöntemle yapılan GNSS analizleri HNK yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, GAMP (GNSS Analysis software for Multi-constellation and multi-frequency Precise positioning) yazılımı kullanılmıştır. GAMP yazılımı, ANSI-C programlama dilinde yazılmış, RTK LIB kütüphanesinin revize edilmesi ile oluşturulmuş, çoklu navigasyon sistemlerinin verilerinin kullanılmasına da imkan veren, HNK yöntemine göre koordinat kestirimi yapan bir yazılımdır (Zhou vd., 2018).

GAMP yazılımında, analizlerin hangi esaslara göre gerçekleştirileceği bir parametre girdi dosyası yardımıyla yapılır. Kullanıcılar bu dosya yardımıyla, analiz tipi (statik, kinematik), uydu yükseklik açısı, hangi uydu sistemlerinin kullanılacağı (tekli ya da çoklu), iyonosferik düzeltme dosyası ve yörünge dosyası seçimi, sonuçların hangi esaslara göre filtreleneceği vb. birçok konuda seçim yapabilirler.

## 3. Uygulama

### 3.1 Nokta tesisi ve ölçülerin elde edilmesi

Söz konusu bölge topoğrafik anlamda yüksek engebeli olduğundan, nokta yerlerinin seçiminde gökyüzünü açık bir şekilde görebilmesine imkan verecek yerlerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Yine de Gümüşhane ilinin vadi (iki dağ arasına yerleşim göstermesi) niteliğinde olması sebebiyle, açık gökyüzünün tamamına erişim mümkün olmamıştır.

Nokta tesisleri, demir plaka üzerine sabitlenmiş 12 cm uzunluklu ve 14 mm yarıçaplı vidaların yere epoksi (kuvvetli yapıştırıcı) ile sabitlenmesi suretiyle yapılmıştır. Nokta konumlarını gösteren Google Earth görüntüsü Şekil 1’de sunulmuştur.

Tesisi yapılan noktalarda 2018 yılının 110., 111. ve 112. günlerinde 8 saatlik GNSS oturumları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Tesis edilen mikro-jeodezik ağın görünümü

Oturumlar JAVAD TRIUMPH-2 ve JAVAD Sigma 3A marka ve modeli GNSS alıcıları ile 5 saniye kayıt sıklığı ve 10 derece uydu yükseklik açısında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen ham veriler TEQC (Translating Editing and Quality Check) yazılımı yardımıyla RINEX (Receiver Independence Exchange) formatına dönüştürülmüştür.

### 3.2 Jeodezik ağın klasik yersel tekniklerle ölçülmesi

KAME istasyonu ile diğer noktalar arasındaki baz uzunlukları ve yükseklik farkları klasik yersel tekniklerle elde edilmiştir. Bu amaçla, KAME noktasından NKT1, NKT2, NKT3 ve NKT4 noktalarına Nikon DTM-332 marka ve modeli

hassasiyeti  $\sigma = \pm(3+2\text{ppm} \cdot S)$  mm olan EUÖ (Elektronik Uzunluk Ölçer) ile yatay mesafe ölçümleri (ölçü düzleminde) gerçekleştirilmiştir (Nikon DTM-322, 2019). Yükseklik farkları ise yine aynı noktalar arasında geometrik nivelmandan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de sunulmaktadır.

**Tablo 1.** Klasik yersel ölçmelerden elde edilen baz uzunlukları ve yükseklik farkları (metre biriminde)

D.N	B.N	Yatay mesafe (S)	Yükseklik farkı (dh)
KAME	NKT1	109.376	-21.844
KAME	NKT2	107.318	-21.767
KAME	NKT3	110.691	-21.767
KAME	NKT4	115.501	-22.132

### 3.3 Rölatif ve Mutlak GNSS analizlerin gerçekleştirilmesi

Rölatif GNSS analizleri GAMIT modülü kullanılarak minimum zorlama (KAME) esasında en küçük kareler yöntemine göre yapılmıştır. Ağ zorlaması yatayda ve düşeyde 5 cm seviyeye yapılmış ve günlük çözümler yatayda 3-6 mm düşeyde 10-15 mm hassasiyetinde elde edilmiştir. Daha sonra GLORG modülü kullanılarak, koordinatları ve hızları ITRF sisteminde tanımlı 10 IGS istasyonu vasıtasıyla, günlük çözümler 2-4 mm’lik dönüşüm hataları eşliğinde Helmert transformasyonu ile ITRF sistemine taşınmıştır. Bu sistemde (3 boyutlu Kartezyen, XYZ) elde edilen koordinatlar, yersel yöntemlerden elde edilen yatay mesafe ve yükseklik ölçüleri ile karşılaştırabilmek amacıyla toposentrik (lokal, Kuzey, Doğu, Yukarı) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 2’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** GAMIT/GLOBK yazılımından elde edilen koordinat kestirim sonuçları

Kampanya Tarihi	İstasyon Adı	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
2018 110. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.466	-38.247	21.819
	NKT2	98.993	-41.460	21.754
	NKT3	101.150	-44.960	21.898
	NKT4	104.970	-48.179	22.149
2018 111. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.453	-38.253	21.825
	NKT2	98.974	-41.468	21.756
	NKT3	101.143	-44.965	21.894
	NKT4	104.961	-48.187	22.158
2018 112. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.473	-38.243	21.818
	NKT2	98.978	-41.472	21.755
	NKT3	101.144	-44.960	21.900
	NKT4	104.967	-48.204	22.151

Hassas Nokta Konumlama yöntemi ile yapılan analizler GAMP yazılımı kullanılarak statik modda ve GPS+GLONASS gözlemleri kullanılarak elde edilmiştir. Hassas saat ve yörünge parametreleri (final) GFZ kuruluşunun ftp adresinden yazılım tarafından otomatik olarak indirilerek kullanılmaktadır. Analizler sonucunda elde edilen Kartezyen koordinatlar, KAME istasyonuna göre toposentrik (lokal) koordinat sistemine çevrilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’de sunulmaktadır.

### 3.4 Klasik yersel yöntemlerden elde edilen sonuçların GNSS yöntemi ile karşılaştırılması

HNK yönteminin doğruluğunu belirlemek amacıyla, Tablo 1’de verilen klasik yersel yöntemlerden elde edilen baz uzunluğu değerleri ve geometrik nivelmandan elde edilen yükseklik farkları baz alınacaktır. Rölatif konum belirleme yönteminden elde edilen değerler ise bir doğrulama unsuru olarak kullanılacaktır.

**Tablo 3.** GAMP yazılımından elde edilen koordinat kestirim sonuçları

Kampanya Tarihi	İstasyon Adı	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
2018 110. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.460	-38.145	21.822
	NKT2	98.974	-41.474	21.745
	NKT3	101.143	-45.013	21.835
	NKT4	104.962	-48.142	22.215
2018 111. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.477	-38.194	21.708
	NKT2	98.973	-41.434	21.724
	NKT3	101.142	-44.987	21.790
	NKT4	104.969	-48.228	22.137
2018 112. günü	KAME	0	0	0
	NKT1	102.459	-38.204	21.774
	NKT2	98.968	-41.482	21.689
	NKT3	101.146	-44.909	21.854
	NKT4	104.970	-48.132	22.193

Bu amaçla, GNSS yöntemlerinden (HNK ve rölatif) elde edilen Kuzey ve Doğu bileşen değerlerinden baz uzunlukları hesaplanmıştır.

Elde edilen değerlerin, Tablo 1’de verilen EUÖ’den elde edilen baz uzunluğu değerleri (S) ile farkları alınarak Tablo 4’de sunulmuştur.

**Tablo 4.** Rölatif ve HNK yöntemlerinden elde edilen baz uzunlukları değerleri ve bunların EUÖ ile elde edilen baz uzunluklarından (S) farkları

Kampanya Tarihi	D.N	B.N	Rölatif (m)	HNK (m)	Rölatif-S (mm)	HNK-S (mm)
2018 110. günü	KAME	NKT1	109.3713	109.3302	-4.6	-45.6
		NKT2	107.3245	107.3128	6.5	-5.3
		NKT3	110.6909	110.7068	-0.1	15.9
		NKT4	115.4988	115.4757	-2.2	-25.2
2018 111. günü	KAME	NKT1	109.3617	109.3627	-14.3	-13.2
		NKT2	107.3097	107.2955	-8.3	-22.4
		NKT3	110.6879	110.6955	-3.0	4.5
		NKT4	115.4935	115.5184	-7.5	17.5
2018 112. günü	KAME	NKT1	109.3767	109.3499	0.7	-26.0
		NKT2	107.3154	107.3099	-2.6	-8.0
		NKT3	110.6865	110.6679	-4.5	-23.1
		NKT4	115.5065	115.4790	5.5	-22.0

Benzer olarak, GNSS yöntemlerinden elde edilen yukarı bileşen değerleri (Tablo 2 ve Tablo 3’de verilen) geometrik nivelmandan elde edilen yükseklik farkı değerleri (dh) ile farkları alınmak suretiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5’de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçların bir bütün olarak ifade edilmesi amacıyla, GNSS

yönteminden 2018 yılının 110. 111. ve 112. günlerinde elde edilen toposentrik koordinat değerlerinin ortalaması alınarak, klasik yersel ölçümlerden elde edilen farklar ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 5.** Rölatif ve HNK yöntemlerinden elde edilen Yukarı bileşen değerlerinin geometrik nivelmandan elde edilen değerlerden (dh) olan farkları

Kampanya Tarihi	D.N	B.N	Rölatif-G. Nivelman (mm)	HNK-G. Nivelman (mm)
2018 110. günü	KAME	NKT1	-15.0	-11.8
		NKT2	-12.6	-21.8
		NKT3	-12.0	-74.9
		NKT4	16.6	83.0
2018 111. günü	KAME	NKT1	-9.1	-125.5
		NKT2	-10.6	-42.5
		NKT3	-16.2	-120.1
		NKT4	25.6	5.1
2018 112. günü	KAME	NKT1	-16.0	-60.4
		NKT2	-11.7	-77.7
		NKT3	-10.1	-55.7
		NKT4	18.7	60.7

**Tablo 6.** Ortalama baz uzunluğu ve yükseklik farklarının klasik yöntemlerle karşılaştırılması

	D.N	B.N	Ort. Rölatif (m)	Ort. HNK (m)	Fark Rölatif (mm)	Fark PPP (mm)	Sigma Röl. (mm)	Sigma PPP (mm)
Baz Uzunluğu	KAME	NKT1	109.3699	109.3477	-6.1	-28.3	±2.20	±11.43
		NKT2	107.3166	107.3061	-1.4	-11.9		
		NKT3	110.6885	110.6901	-2.5	-0.9		
		NKT4	115.4996	115.4911	-1.4	-9.9		
Yükseklik farkı	KAME	NKT1	21.8207	21.7681	-13.4	-65.9	±16.46	±59.48
		NKT2	21.7553	21.7197	-11.7	-47.3		
		NKT3	21.8973	21.8264	-12.8	-83.6		
		NKT4	22.1523	22.1816	20.3	49.6		

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1’de verilen klasik yersel yöntemlerden elde edilen baz uzunluğu için doğruluk Nikon DTM-322 marka ve modelli EUÖ’in kullanma kılavuzunda verilen  $\pm (3 + 2 \text{ ppm} \times D)$  mm formülü ile hesaplandığında yaklaşık 100 metre için  $\pm 3.2$  mm elde edilmiştir. Geometrik nivelman yöntemiyle gidiş-dönüş şeklinde elde edilen yükseklik farkları için ise hassasiyetin birkaç milimetre seviyelerinde olduğu genel kabuldür. Söz konusu değerler oldukça yüksek hassasiyet seviyeleri olup, rölatif ve HNK GNSS analiz yöntemlerinin doğruluğu hakkında fikir edinmek üzere karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

Ardışık üç güne ait baz uzunluğu değerlerinin karşılaştırıldığı Tablo 4 incelendiğinde, rölatif konumlama (6. sütun) için değerlerin 0-14 mm arasında dalgalandığı, HNK yöntemi (7. sütun)

için ise değerlerin 5-45 mm seviyelerinde değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Benzer bir karşılaştırmanın yükseklik bileşeni için yapıldığı Tablo 5 incelendiğinde rölatif konumla yöntemi için fark değerlerinin, 9-18 mm seviyelerinde değişiklik gösterdiği, HNK yöntemi için ise farkların 1-12 cm seviyelerinde dalgalandığı görülmektedir.

Ardışık üç günden elde edilen sonuçların ortalamaların verildiği Tablo 6 incelendiğinde, rölatif konum belirleme için farkların baz bileşeni için 1- 6 mm arasında değiştiği, düşey bileşen için ise 11 mm ile 16 mm arasında olduğu görülmüştür. Söz konusu farklara ait standart sapma değerleri ise baz bileşeni ve düşey bileşen için sırasıyla,  $\pm 2.20$  mm ve  $\pm 16.46$  mm olarak hesaplanmıştır. Fark değerleri HNK yöntemi için baz uzunluğunda 8 – 28 mm arasında değişmekte,

düşey bileşen için ise 50–80 mm seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu değerlere ait standart sapma değerlerinin, baz uzunluğunda  $\pm 11.43$  mm, düşeyde bileşende ise  $\pm 59.48$  mm seviyelerinde olduğu görülmektedir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 5 noktalı bir mikro-jeodezik ağda yapılan 8 saatlik GNSS gözlemleri kullanılarak HNK yönteminin doğruluğu, yüksek doğrulukta elde edilen klasik yersel ölçümlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak belirlenmiştir. Çalışmada yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Rölatif konum belirlemede elde edilen yatayda  $\pm 2.20$  mm ve düşeyde  $\pm 16.46$  mm seviyelerindeki standart sapma değerleri, 8 saatlik gözlemler için beklenen seviyelerde olup, çalışmada kullanılan GNSS gözlemlerinin, HNK yönteminin doğruluğunun araştırılması için yeterli kalitede olduğunu ortaya koymuştur.

HNK yönteminin doğruluğu, 8 saatlik gözlemler ve günümüzde elde edilen hassas saat ve yörünge parametreleri (final) eşliğinde yatayda 1 cm, düşeyde ise 5-6 cm seviyelerinde olduğu sonuçlarına varılmıştır. Ancak, bu çalışmanın dağlık bir bölgede yapılması ve noktaların yere yakın tesis edilmesi zorunlulukları göz önüne alındığında, elde edilen ölçülerin sinyal yansımaları hatasından etkilenmemesi kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen sonuç değerlerinin özellikle düşey bileşen için olması gerekenin üstünde olduğu dikkate alınmalıdır.

## Kaynaklar

- Abd-Elazeem, M., Farah, A. ve Farrag, F., 2011. Assessment study of using online (CSRS) GPS-PPP Service for mapping applications in Egypt. *Journal of Geodetic Science*, 1(3), pp.233-239.
- Alkan, R.M., Saka, M.H., Ozulu, İ.M. ve İlçi, V., 2017. Kinematic precise point positioning using GPS and GLONASS measurements in marine environments. *Measurement*, 109, pp.36-43.
- Bahadur, B. ve Nohutcu, M., 2018. PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS Solutions*, 22(4), p.113.
- Bisnath, S. ve Gao, Y., 2009. Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. In *Observing our changing earth* (pp. 615-623). Springer, Berlin, Heidelberg.

Cai, C., Gao, Y., Pan, L. ve Zhu, J., 2015. Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo. *Advances in space research*, 56(1), pp.133-143.

Herring, T. A., R. W. King, ve S. McClusky. 2019. "GPS processing program suites: GAMIT/GLOBK V10.7." MIT

Marques, H.A., Marques, H.A.S., Aquino, M., Veetil, S.V. ve Monico, J.F.G., 2018. Accuracy assessment of Precise Point Positioning with multi-constellation GNSS data under ionospheric scintillation effects. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 8, p.A15.

Nikon, (2019, 15 Mart), DTM-322 kullanma kılavuzu <https://www.manualslib.com/manual/1216908/Nikon-Total-Station-Dtm-322.html>

Shi, C., Gu, S., Lou, Y. ve Ge, M., 2012. An improved approach to model ionospheric delays for single-frequency precise point positioning. *Advances in Space Research*, 49(12), pp.1698-1708.

Su, K. ve Jin, S., 2018. Improvement of Multi-GNSS Precise Point Positioning Performances with Real Meteorological Data. *The Journal of Navigation*, 71(6), pp.1363-1380.

Yao, Y., Zhang, R., Song, W., Shi, C. ve Lou, Y., 2013. An improved approach to model regional ionosphere and accelerate convergence for precise point positioning. *Advances in Space Research*, 52(8), pp.1406-1415.

Yiğit, C.Ö., Kızılarşlan, M. ve Çalışkan, E., 2016. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), pp.22-39.

Zhou, F., Dong, D., Li, W., Jiang, X., Wickert, J. ve Schuh, H., 2018. GAMP: An open-source software of multi-GNSS precise point positioning using undifferenced and uncombined observations. *GPS Solutions*, 22(2), p.33.

## $C_q(X)$ Uzayının Sayılabilirlik Özellikleri Üzerine Bazı Sonuçlar

### *Some Results on Countability Properties of $C_q(X)$*

İsmail OSMANOĞLU\*

*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 50300, Nevşehir*

• Geliş tarihi / Received: 08.04.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.05.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 21.05.2019

#### Öz

Bu makalenin amacı  $C(X)$  kümesi üzerindeki yarı kompakt-açık topolojinin ikinci sayılabilirlik, ayrılabilirlik,  $\mathfrak{P}_0$ -uzay özelliği,  $\aleph_0$ -uzay özelliği ve kozmik uzay özelliği gibi sayılabilirlik özellikleri için bazı sonuçlar verilmiştir. Son olarak bu sonuçlar  $C(X)$  kümesi üzerindeki  $clp$ -kompakt-açık topoloji için de elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ayrılabilirlik, Fonksiyon uzayı, İkinci Sayılabilirlik, Kozmik Uzay,  $\mathfrak{P}_0$ -uzayı,  $\aleph_0$ -uzayı

#### Abstract

*The aim of this article is to study the countability properties of the quasi compact-open topology on  $C(X)$  such as second countability, separability and the properties of  $\mathfrak{P}_0$ -spaces,  $\aleph_0$ -spaces and cosmic spaces. Finally, these results were obtained for  $clp$ -compact-open topology on  $C(X)$ .*

**Keywords:** Separability, Function space, Second countable, Cosmic Space,  $\mathfrak{P}_0$ -space,  $\aleph_0$ -space

\* İsmail OSMANOĞLU; ismailosmanoglu@yahoo.com; Tel: (0545) 403 59 00; orcid.org/0000-0002-1005-4075

## 1. Giriş ve Ön Hazırlık

$X$  bir topolojik uzay olmak üzere,  $C(X)$  kümesi üzerinde birçok topolojinin bulunduğu bilinen bir gerçektir.  $C(X)$  üzerindeki en bilindik topolojiler nokta-açık topoloji (noktasal yakınsaklık topolojisi), kompakt-açık topoloji ve düzgün topoloji (düzgün yakınsaklık topolojisi) şeklinde sıralanabilir. Kompakt-açık topoloji ilk olarak Fox (1945) tarafından tanımlanmış, Arens ve Dugundji (1946, 1951) tarafından geliştirilmiştir. Jackson (1952) bu topolojiyi kompakt kümeler üzerinde düzgün yakınsak fonksiyon dizileri tarafından elde etmiştir. Bu yüzden kompakt-açık topoloji, kompakt kümeler üzerinde düzgün yakınsaklık topolojisi olarak da bilinir. Ayrıca kompakt-açık topolojinin, düzgün yakınsaklık topolojisine denk olabilmesi için gerek ve yeter şartın uzayın kompakt olması gerektiğini göstermiştir. Kompaktlık güçlü bir koşul olduğundan bu iki topoloji arasında kayda değer bir araştırma alanı vardır. Son elli yıl içinde bu iki topoloji arasında pek çok topoloji tanımlanmıştır. Bazıları  $\sigma$ -kompakt-açık (Gulick, 1992), sözde kompakt-açık (Kundu ve Garg, 2006), C-kompakt-açık (Osipov, 2012), sınırlı-açık (Kundu ve Raha, 1995) ve açık-açık topoloji (Porter, 1993) şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada  $C(X)$  kümesi üzerindeki yarı kompakt-açık topolojinin ikinci sayılabilirlik, ayrılabilirlik,  $\mathfrak{B}_0$ -uzay özelliği,  $\aleph_0$ -uzay özelliği ve kozmik uzay özelliği gibi sayılabilirlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu sonuçlar  $C(X)$  kümesi üzerindeki clp-kompakt-açık topoloji için de elde edilmiştir.

Herhangi bir karışıklığa neden olmadığı sürece  $(X, \tau)$  topolojik uzayını,  $X$  uzayı olarak ifade edeceğiz.  $X$  topolojik uzayı üzerinde tanımlı tüm reel değerli sürekli fonksiyonların kümesini  $C(X)$  ile göstereceğiz.  $\mathbb{R}$ , üzerinde standart (alışılmış) topoloji ile ele alınacaktır.  $X$  uzayının topolojisini  $\tau(X)$  ile göstereceğiz.  $\tau(Y)$  topolojisi  $\tau(X)$  topolojisinden ince ise  $\tau(X) \subset \tau(Y)$  gösterimi yerine  $X < Y$  gösterimi kullanılacaktır.

## 2. Yarı Kompakt-açık Topoloji

Bu bölümde,  $C(X)$  üzerindeki yarı kompakt-açık topoloji ve clp-kompakt-açık topoloji tanımları hatırlatılacak ve bazı eşdeğer tanımları verilecektir.

### Tanım 2.1.

- a)  $X$  uzayında  $A = \{x \in X : f(x) = 0\}$  olacak biçimde reel değerli sürekli  $f$  fonksiyonu varsa  $A$  kümesine sıfır küme

denir. Sıfır kümenin tümleyenine, tümleyeni sıfır küme denir.

- b) Bir topolojik uzayda hem açık hem de kapalı olan bir kümeye clopen küme denir.

### Tanım 2.2.

- a)  $X$  uzayının her tümleyeni sıfır küme örtüsünün sonlu bir alt örtüsü varsa,  $X$  uzayına yarı kompakt uzay denir (Frolik, 1959).
- b) Her  $f \in C(X)$  için  $f(X)$  kümesi  $\mathbb{R}$  nin sınırlı bir alt kümesi ise  $X$  uzayına sözde kompakt uzay denir.
- c)  $X$  uzayının her clopen örtüsünün sonlu bir alt örtüsü varsa,  $X$  uzayına clp-kompakt uzay denir (Sondore ve Sostak, 1994).

Herhangi bir kompakt uzay yarı kompakt, yarı kompakt uzay ise sözde kompakttır. Ayrıca yarı kompakt uzayın sürekli fonksiyon altındaki görüntüsü de yarı kompakttır (D'Aristotle, 1973).

**Tanım 2.3.**  $\alpha$ ,  $X$  uzayının boştan farklı alt kümelerinin bir ailesi olsun. Her  $A \in \alpha$  ve  $V \in \tau(\mathbb{R})$  için,

$$S(A, V) = \{f \in C(X) : f(A) \subseteq V\}$$

kümelerinin sınıfını  $C(X)$  üzerinde alt baz kabul eden topolojiye *küme-açık topoloji* denir ve bu uzay  $C_\alpha(X)$  ile gösterilir. Benzer şekilde her  $A \in \alpha$  ve  $V \in \tau(\mathbb{R})$  için,

$$S^*(A, V) = \{f \in C(X) : \overline{f(A)} \subseteq V\}$$

kümelerinin sınıfını  $C(X)$  üzerinde alt baz kabul eden topolojiye *zayıf küme-açık topoloji* denir ve bu uzay  $C_{\alpha^*}(X)$  ile gösterilir.

$X$  uzayının tüm kompakt alt kümelerinin ailesi  $K(X)$ , tüm yarı kompakt alt kümelerinin ailesi  $QK(X)$  ve tüm clp-kompakt alt kümelerinin ailesi  $CK(X)$  olmak üzere  $\alpha$  sınıfı sırasıyla  $K(X)$ ,  $QK(X)$  ve  $CK(X)$  alınırsa  $C(X)$  üzerinde elde edilen küme-açık topolojiler sırasıyla kompakt-açık topoloji (Fox, 1945), yarı kompakt-açık topoloji (Tokat ve Osmanoglu, 2016) ve clp-kompakt-açık topoloji (Osmanoglu, 2017) olarak adlandırılır ve bu uzaylar sırasıyla  $C_k(X)$ ,  $C_q(X)$  ve  $C_{clp}(X)$  ile gösterilir.

**Tanım 2.4.** Ayrıca, her  $A \in K(X)$  (ya da  $A \in QK(X)$ ),  $f \in C(X)$  ve  $\varepsilon > 0$  için,

$$B_A(f, \varepsilon) = \{g \in C(X) : \forall x \in X, |f(x) - g(x)| < \varepsilon\}$$



kümelerinin sınıfı  $C(X)$  üzerindeki kompakt-açık topoloji (ya da yarı kompakt-açık topoloji) için bir bazdır. Bu topolojiler kompakt (ya da yarı kompakt) kümeler üzerinde düzgün yakınsaklık topolojisi olarak adlandırılır ve bu uzay  $C_{k,u}(X)$  (ya da  $C_{q,u}(X)$ ) ile gösterilir.

Tokat ve Osmanoglu (2016) ve Osmanoglu (2017) den  $C_k(X) \leq C_q(X) \leq C_{ctp}(X)$  ve  $C_q(X) = C_{q,u}(X)$  (dolayısıyla  $C_k(X) = C_{k,u}(X)$ ) olduğunu biliyoruz.

### 3. Bulgular

Öncelikle ağ, k-ağ ve Pytkeev ağ kavramlarını hatırlatmakla başlayalım. Bu kavramlar baz gibi davranırlar, ancak bu ailelerin her üyesinin açık olması gerekmez. Dolayısıyla, bu tür ailelerle başa çıkabilmek, bazlardan daha kolaydır. Sonrasında bu ağlar ile elde edilen bazı uzayların tanımlarını verdik. Daha ayrıntılı bilgi için Michael (1966), Gruenhage (1992) ve Banakh (2015) kaynaklarına bakılabilir.

**Tanım 3.1.** Regüler  $X$  uzayının boştan farklı alt kümelerinin bir ailesi  $\mathcal{F}$  olmak üzere,

- Her  $x \in X$  ve  $x$  in her açık  $U$  komşuluğu için,  $x \subseteq F \subseteq U$  olacak şekilde  $F \in \mathcal{F}$  varsa  $\mathcal{F}$  ailesine ağ denir (Gruenhage, 1992).
- $X$  in her kompakt  $K$  alt kümesi ve  $K \subseteq U$  olacak şekilde her açık  $U$  alt kümesi için,  $K \subseteq F \subseteq U$  olacak şekilde  $F \in \mathcal{F}$  varsa  $\mathcal{F}$  ailesine k-ağ denir (Michael, 1966).
- $X$  uzayında  $\mathcal{F}$  bir ağ olmak üzere,  $x$  in her açık  $U$  komşuluğu ve  $A \subseteq X$  nın yığılma noktası  $x$  için  $F \subseteq U$  ve  $F \cap A$  kümesi sonsuz olacak şekilde  $F \in \mathcal{F}$  varsa  $\mathcal{F}$  ailesine Pytkeev ağ denir (Banakh, 2015).

**Tanım 3.2.**

- Sayılabılır bir ağa sahip uzaya kozmik uzay denir (Gruenhage, 1992).
- Sayılabılır bir k-ağa sahip uzaya  $\aleph_0$ -uzay denir (Michael, 1966).
- Sayılabılır bir Pytkeev ağa sahip uzaya  $\aleph_0$ -uzay denir (Banakh, 2015).

**Teorem 3.3.**

- Herhangi bir kozmik uzay, ayrılabilir (Arens ve Dugundji, 1951).
- Herhangi bir  $\aleph_0$ -uzay, kozmik uzaydır (Michael, 1966).
- Herhangi bir metrik uzayda ikinci sayılabilir uzay,  $\aleph_0$ -uzay ve kozmik uzay

kavramları denktir (McCoy ve Ntantu, 1988).

**Tanım 3.4.** Zayıf metriklenebilir topolojiye sahip olan uzaya altmetriklenebilir uzay denir. Yani,  $Y$  metrik uzay ve  $f: X \rightarrow Y$  sürekli içine fonksiyon ise  $X$  uzayı altmetriklenebilirdir (Gruenhage, 1992).

**Teorem 3.5.** Kozmik uzay altmetriklenebilirdir (Michael, 1966).

**Tanım 3.6.**  $X$  uzayının herhangi yarı kompakt  $A$  alt kümesi için  $A \subseteq A_n$  olacak biçimde  $X$  uzayının yarı kompakt alt kümelerinin bir  $\{A_n\}$  dizisi varsa  $X$  uzayına hem yarı kompakt uzay denir (Tokat ve Osmanoglu, 2016).

Şimdi  $C_q(X)$  uzayını kozmik ve  $\aleph_0$ -uzay olması için bazı sonuçları verelim.

**Önerme 3.7.** Ayrılabilir ve metriklenebilir  $X$  uzayı için  $C_q(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.

*İspat:*  $X$  uzayı Ayrılabilir ve metriklenebilir ise Theorem 2.6. Tokat ve Osmanoglu (2016) dan  $C_k(X) = C_q(X)$  ve Lemma 2.3.6 (Ntantu, 1985) den  $C_k(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzay olduğundan  $C_q(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır. ■

Ayrılabilir ve metriklenebilir uzay  $\aleph_0$ -uzay (Michael, 1966) ve Corollary 2.6 (Banakh, 2015) dan aşağıdaki sonuçları verebiliriz.

**Sonuç 3.8.**

- $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzay ise  $C_k(X) = C_q(X)$  dir.
- $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzay ise  $C_q(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
- $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzay ise  $C_q(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.

**Teorem 3.9.** Tam regüler  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

- $C_q(X)$  uzayı kozmik uzaydır.
- $C_q(X)$  uzayı bir  $\aleph_0$ -uzaydır.
- $C_k(X)$  uzayı kozmik uzaydır.
- $C_k(X)$  uzayı bir  $\aleph_0$ -uzaydır.
- $X$  uzayı bir  $\aleph_0$ -uzaydır.

*İspat:* (1)  $\Rightarrow$  (5)  $C_q(X)$  uzayı için bir sayılabilir ağ  $\mathcal{F}$  olsun.  $F \in \mathcal{F}$  için  $F^* = \{x \in X: f(x) > 0\}$  kümesini ve  $\mathcal{F}^* = \{F^*: F \in \mathcal{F}\}$  sınıfını tanımlayalım.  $\mathcal{F}^*$  sınıfının  $X$  uzayı için bir k-ağ olduğunu gösterelim.  $A \subseteq U$  olacak biçimde  $X$  uzayında  $U$  açık ve  $A$  kompakt alt kümelerini

alalım.  $X$  uzayı tam regüler olduğundan  $f(A) = \{1\}$  ve  $f(X \setminus U) = \{0\}$  olacak biçimde  $f \in C(X)$  fonksiyonu vardır. O halde  $f \in S(A, (0, \infty))$  dır.  $\mathcal{F}, C_q(X)$  uzayı için bir sayılabilir ağ olduğundan  $f \in F \subseteq S(A, (0, \infty))$  olacak biçimde  $F \in \mathcal{F}$  vardır. Buradan  $A \subseteq \mathcal{F}^*$  olduğu görülür.  $\mathcal{F}^* \subseteq U$  olduğunu göstermemiz yeterlidir. Kabul edelim ki  $x \in \mathcal{F}^* \setminus U$  olsun. O halde  $x \notin U$  olacağından  $f(x) = 0$  dır. Fakat  $x \in \mathcal{F}^*$  ve  $f \in F$  için  $f(x) > 0$  olur. Bu ise çelişkidir. Bu yüzden  $\mathcal{F}^* \subseteq U$  elde edilir.

(5)  $\Rightarrow$  (2) Sonuç 3.15. den açıktır.

(5)  $\Rightarrow$  (1)  $X$  uzayı bir  $\aleph_0$ -uzay ise  $X$  uzayı altmetriklenebilirdir (bkz. Lemma 10.1 ve Proposition 10.2 (Michael, 1966)). O halde Lemma 3.6 (Tokat ve Osmanoglu, 2016) dan  $C_k(X) = C_q(X)$  dır. Dolayısıyla  $C_q(X)$  uzayı kozmik uzaydır.

(2)  $\Rightarrow$  (1) Her  $\aleph_0$ -uzay, kozmik uzay olduğundan  $C_q(X)$  uzayı kozmiktir.

(3)  $\Leftrightarrow$  (4)  $\Leftrightarrow$  (5) Proposition 10.3 (Michael, 1966) de verilmiştir. ■

**Teorem 3.10.** Tam regüler  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_q(X)$  uzayı ikinci sayılabilirdir.
2.  $C_k(X)$  uzayı ikinci sayılabilirdir.
3.  $X$  uzayı hem yarı kompakt ve  $\aleph_0$ -uzaydır.
4.  $X$  uzayı hem yarı kompakt ve  $\aleph_0$ -uzaydır.
5.  $X$  uzayı hem yarı kompakt ve kozmik uzaydır.
6.  $X$  uzayı hem yarıkompakt ve altmetriklenebilirdir.

*İspat:* (1)  $\Rightarrow$  (2) Corollary 3.17 Tokat ve Osmanoglu (2016)'de verilmiştir.

(2)  $\Leftrightarrow$  (3)  $\Leftrightarrow$  (4)  $\Leftrightarrow$  (5) Theorem 2.4.1 Ntantu (1985)'de verilmiştir.

(5)  $\Rightarrow$  (1)  $X$  uzayı hem yarı kompakt ve altmetriklenebilir ise  $X$  uzayındaki her yarı kompakt  $A$  kümesi için  $A \subseteq A_n$  olacak biçimde bir yarı kompakt  $A_n$  kümesi vardır. Buradan her  $A_n$  kümesi ayrılabilir ve altmetriklenebilirdir. Theorem 3.8 ve Theorem 3.10 Tokat ve Osmanoglu (2016)'den her  $C_q(A_n)$  uzayı ayrılabilir ve metriklenebilirdir. Theorem 3.2 Tokat ve Osmanoglu (2016)'den  $C_q(X)$  uzayı  $\prod\{C_q(A_n): n \in \mathbb{N}\}$  ayrılabilir ve metriklenebilir uzayına gömülebileceğinden  $C_q(X)$  uzayı ikinci sayılabilirdir. ■

Yerel kompakt  $\aleph_0$ -uzay, ayrılabilir ve metriklenebilir (Michael, 1966) olduğundan aşağıdaki sonucu verebiliriz.

**Sonuç 3.11.** Tam regüler ve yerel kompakt  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_q(X)$  uzayı ikinci sayılabilirdir.
2.  $X$  uzayı Lindelöf ve altmetriklenebilirdir.
3.  $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
4.  $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
5.  $X$  uzayı kozmik uzaydır.
6.  $X$  uzayı ikinci sayılabilirdir.

**Teorem 3.12.** Tam regüler  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_q(X)$  uzayı ayrılabilirdir.
2.  $C_k(X)$  uzayı ayrılabilirdir.
3.  $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzay olan bir zayıf topolojiye sahiptir.
4.  $X$  uzayı kozmik uzay olan bir zayıf topolojiye sahiptir.
5.  $X$  uzayı ayrılabilir ve metriklenebilir bir zayıf topolojiye sahiptir.

*İspat:* (1)  $\Leftrightarrow$  (2)  $\Leftrightarrow$  (5) Theorem 3.10 Tokat ve Osmanoglu (2016)'de verilmiştir.

(3)  $\Leftrightarrow$  (4)  $\Leftrightarrow$  (5) (Michael, 1966) de (A), Lemma 10.1 ve Proposition 10.2 den açıktır.

**Sonuç 3.13.**  $X$  uzayı kozmik uzay ise  $C_q(X)$  uzayı ayrılabilir ve metriklenebilir bir zayıf topolojiye sahiptir.

**Sonuç 3.14.** Metriklenebilir  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_q(X)$  uzayı ikinci sayılabilirdir.
2.  $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
3.  $X$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
4.  $X$  uzayı kozmik uzaydır.
5.  $X$  uzayı ikinci sayılabilirdir.
6.  $X$  uzayı ayrılabilirdir.

**Tanım 3.15.**  $X = \bigcup_{n=1}^{\infty} A_n$  olacak biçimde  $X$  uzayının yarı kompakt alt kümelerinin bir  $\{A_n\}$  dizisi varsa  $X$  uzayına  $\sigma$ -yarı kompakt uzay denir (Tokat ve Osmanoglu, 2016).

**Teorem 3.16.** Tam regüler ve  $\sigma$ -yarı kompakt  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_q(X)$  uzayı ayrılabilirdir.
2.  $X$  uzayı kozmik uzaydır.
3.  $X$  uzayı altmetriklenebilirdir.

*İspat:* (2)  $\Leftrightarrow$  (3) Lemma 3.6 (Tokat ve Osmanoglu, 2016) ve Corollary 2.3.4 (Ntantu, 1985) den  $\sigma$ -yarı kompakt ve altmetriklenebilir uzayı kozmiktir.

(2)  $\Rightarrow$  (1) Teorem 3.12 den açıktır.

(1)  $\Rightarrow$  (2) Theorem 3.10 Tokat ve Osmanoglu (2016)'den açıktır.

**Teorem 3.17.** Tam regüler  $X$  uzayı için aşağıdaki ifadeler denktir.

1.  $C_{clp}(X)$  uzayı  $\mathfrak{F}_0$ -uzaydır.
2.  $C_{clp}(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
3.  $C_{clp}(X)$  uzayı kozmik uzaydır.
4.  $C_{clp}(X)$  uzayı ikinci sayılabilirlik.
5.  $C_{clp}(X)$  uzayı ayrılabilirlik.
6.  $C_q(X)$  uzayı  $\mathfrak{F}_0$ -uzaydır.
7.  $C_q(X)$  uzayı  $\aleph_0$ -uzaydır.
8.  $C_q(X)$  uzayı kozmik uzaydır.
9.  $C_q(X)$  uzayı ikinci sayılabilirlik.
10.  $C_q(X)$  uzayı ayrılabilirlik.
11.  $X$  uzayı kompakt ve metriklenebilirdir.

*İspat:* (4)  $\Leftrightarrow$  (5)  $\Leftrightarrow$  (11) Theorem 3.11 Osmanoglu (2017)'den verilmiştir.

(1)  $\Rightarrow$  (2)  $\Rightarrow$  (3)  $\Rightarrow$  (5) ve (6)  $\Rightarrow$  (7)  $\Rightarrow$  (8)  $\Rightarrow$  (10)  $\mathfrak{F}_0$ -uzay,  $\aleph_0$ -uzay (Banakh, 2015) ve  $\aleph_0$ -uzay, kozmik uzay (Michael, 1966) olduğundan açıktır.

(1)  $\Rightarrow$  (6)  $\mathfrak{F}_0$ -uzay, kozmik uzay ve kozmik olma özelliği zayıf topoloji tarafından korunduğundan  $\mathfrak{F}_0$ -uzay olma özelliği de zayıf topoloji tarafından korunur. O halde  $C_{clp}(X)$  uzayı  $\mathfrak{F}_0$ -uzay ise  $C_q(X) \leq C_{clp}(X)$  olduğundan  $C_q(X)$  uzayı  $\mathfrak{F}_0$ -uzaydır.

(10)  $\Rightarrow$  (11)  $C_q(X)$  uzayı ayrılabilir ise Theorem 3.10 (Tokat ve Osmanoglu, 2016) dan  $X$  uzayı altmetriklenebilir ve ayrıca  $C_k(X) = C_q(X)$  dir.  $C_k(X) \leq C_\sigma(X)$  (bkz. Theorem 2.3 (Kundu ve McCoy, 1993) olacağından Theorem 4.2 (Kundu ve McCoy, 1993) den  $X$  uzayı sözde kompakttır. Sözde kompakt tam regüler altmetriklenebilir uzay, metriklenebilir (Corollary 2.7 (McArthur, 1973) olacağından  $X$  uzayı metriklenebilirdir. Metriklenebilirdir sözde kompakt uzay, kompakt olacağından  $X$  uzayı kompakttır.

(11)  $\Rightarrow$  (1)  $X$  uzayı kompakt ve metriklenebilir ise Corollary 2.3. ve Theorem 3.11. (Osmanoglu, 2017) den  $C_{clp}(X)$  uzayı metriklenebilir ve ayrılabilir. Dolayısıyla  $C_{clp}(X)$  uzayı  $\mathfrak{F}_0$ -uzaydır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sırasıyla Tokat ve Osmanoglu (2016) ve Osmanoglu (2017) tanımlanan  $C(X)$  kümesi üzerindeki yarı kompakt-açık topoloji ve  $clp$ -kompakt-açık topolojinin ikinci sayılabilirlik,

ayrılabilirlik,  $\mathfrak{F}_0$ -uzay özelliği,  $\aleph_0$ -uzay özelliği ve kozmik uzay özelliği gibi sayılabilirlik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Tokat ve Osmanoglu (2016) ve Osmanoglu (2017)'de elde edilen sonuçlara daha geniş bir bakış açısı getirmiş ve bu sonuçları kapsamaktadır.

#### Kaynakça

- Arens, R. F., 1946. A topology for spaces of transformations. Annals of Mathematics, 47, 480–495.
- Arens, R. ve Dugundji, J., 1951. Topologies for function spaces. Pacific Journal of Mathematics, 1, 5–31.
- Banakh, T., 2015.  $\mathfrak{F}_0$ -spaces. Topology and its Applications, 195, 151–173.
- D'Aristotle, A. J., 1973. Quasicompactness and functionally Hausdorff spaces. Journal of the Australian Mathematical Society, 15(3), 319–324.
- Fox, R. H., 1945. On topologies for function spaces. Bulletin of the American Mathematical Society, 51, 429–432.
- Frolik, Z., 1959. Generalization of compact and Lindelöf spaces. Czechoslovak Mathematical Journal, 13(84), 172–217 (Russian).
- Gruenhage, G., 1992. Generalized metric spaces and metrization. s. 239–274. Recent progress in general topology, North-Holland, Amsterdam.
- Gulick, D., 1992. The  $\sigma$ -compact-open topology and its relatives. Mathematica Scandinavica, 30, 159–176.
- Jackson, J. R., 1952. Comparison of topologies on function spaces. Proc. Amer. Math. Soc., 3, 156–158.
- Kundu S. ve McCoy, R.A., 1993. Topologies between compact and uniform convergence on function spaces. Internat. J. Math. Math. Sci., 16, 101–109.
- Kundu, S. ve Garg, P., 2006. The pseudocompact-open topology on  $C(X)$ . Topology Proceedings, 30(1), 279–299.
- Kundu, S. ve Raha, A. B., 1995. The bounded-open topology and its relatives. Rendiconti dell'Istituto di Matematica dell'Università di Trieste, 27, 61–77.

- McArthur, W. G., 1973.  $G_\delta$ -diagonals and metrization theorems. *Pacific Journal of Mathematics*, 44(2), 613-617
- McCoy, R. A. ve Ntantu, I., 1988. *Topological Properties of Spaces of Continuous Functions*. Springer-Verlag, Berlin.
- Michael, E., 1966.  $\aleph_0$ -spaces. *J. Math. Mech*, 15, 983-1002.
- Ntantu I., 1985. The compact-open topology on  $C(X)$ , PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, U.S.A.
- Osipov, A. V., 2012. The  $C$ -compact-open topology on function spaces. *Topology and its Applications*, 159, 3059– 3066.
- Osmanoglu, I., 2017. Clp-compact-open topology on function space. *Journal of Advanced Studies in Topology*, 8(1), 31–39.
- Porter, K. F., 1993. The open-open topology for function spaces. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 16 (1), 111–116.
- Sondore, A. ve Sostak, A., 1994. On clp-compact and countably clp-compact spaces. *Acta Univ. Latviensis*, 595(1994), 123–143.
- Tokat, D. ve Osmanoglu, I., 2016. Some properties of the quasicompact-open topology on  $C(X)$ . *Journal of Nonlinear Sciences and Applications*, 9, 3511–3518.

## Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu ve Dokusal Değişimler: Bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışması

### *The Stabilization of High Plasticity Clays and Textural Changes: A Scanning Electron Microscope (SEM) Study*

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU<sup>a</sup>, Zülfü GÜROCAK<sup>\*b</sup>

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 08.04.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 08.05.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 21.05.2019

#### Öz

Stabilizasyon, puzolanik katkı malzemeleri kullanılarak killerin kıvam, dayanım ve sıkışma gibi geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kolay uygulanabilir ve ekonomik olması nedeniyle günümüzde en fazla tercih edilen yöntemlerden birisidir. Killi zeminlere belli oranlarda katkı malzemesi eklenerek uygulanan bu yöntem ile zemin içerisinde meydana gelen puzolanik reaksiyon sonucunda kilin geoteknik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu yöntemde kullanılan katkı malzemeleri kireç, uçucu kül, silis dumanı, çimento, reçine gibi doğal olmayan puzolanlar ile birlikte tüf, volkanik kül, şeyl, diatomit gibi doğal puzolanik malzemeler de kullanılmaktadır. Ancak, daha ekonomik olması nedeniyle stabilizasyonun sadece doğal veya hem doğal hem de yapay puzolanlar kullanılarak yapılması önemlidir. Bu çalışmada, yapay ve doğal puzolanların kullanılması durumunda yüksek plastisiteli killerde meydana gelen dokusal değişimler incelenmiştir. Bu amaçla yapılan laboratuvar çalışmalarında, katkı malzemesi olarak sönmüş kireç, silis dumanı, uçucu kül ve tüf kullanılmıştır. Farklı tür ve oranda kullanılan katkı malzemelerinin etkisiyle kilin kıvamında ve dokusunda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, özellikle yapay ve doğal katkı malzemelerinin birlikte kullanıldığı örneklerde likit limit (LL) değerlerinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Tüm örneklerde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılmıştır. SEM çalışmaları ile elde edilen görüntüler, LL değerlerinde en fazla azalmanın meydana geldiği örneklerde puzolanik reaksiyon sonucunda önemli ölçüde topaklanmanın oluştuğunu göstermektedir. Bu örneklerde gelişen topaklanma sonucunda tane boyutları ve taneler arası boşluklarda artışlar belirlenmiştir. Ancak, LL değerindeki azalmanın sınırlı olduğu örneklerde topaklanma yeterince gelişmemiştir ve taneler daha plakamsı şekillidir.

**Anahtar kelimeler:** Doku, Kil, Puzolan, Stabilizasyon, Topaklanma

#### Abstract

Stabilization is the improvement of geotechnical properties of clays such as consistency, strength and compression by using pozzolanic additives. Today, it is one of the most preferred methods because it is easily applicable and economical. With this method, which is applied by adding certain amounts of additive to clayey soils, the geotechnical properties of clay can be improved by the pozzolanic reaction occurring in the soil. In this method, natural pozzolanic materials such as tuff, volcanic ash, shale, and diatomite have been used with the unnatural pozzolans such as lime, fly ash, silica fume, cement and resin as additives. However, it is important to make stabilization using only natural or both natural and unnatural pozzolans since it is more economical. In this study, the textural changes in high plasticity clay were investigated when using of natural and unnatural pozzolans. For this purpose, in the laboratory studies, slaked lime, silica fume, fly ash and tuff were used as additives. Variations in the consistency and texture of the clay due to the effects of different kinds and proportions of additives were investigated. According to the results obtained from the study, it was determined that the liquid limit (LL) values decreased significantly in the samples where the unnatural and natural additives were used together. Scanning Electron Microscopy (SEM) studies were performed in all samples. The images obtained by SEM studies showed that in the cases where the maximum decrease in LL values occurred, significant agglomeration occurred as a result of pozzolanic reaction. As a result of the agglomeration in these samples, increase in grain sizes and intergranular spaces were observed. However, in the samples where the reduction in LL is limited, agglomeration was not sufficiently developed and the grains are more plaque-shaped.

**Keywords:** Texture, Clay, Pozzolan, Stabilization, Agglomeration

\*b Zülfü GÜROCAK; zgurocak@firat.edu.tr; Tel: (0532) 355 36 47; orcid.org/0000-0002-1049-8346

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-3135-5926

## 1. Giriş

Stabilizasyon, mühendislik gereksinimlerini karşılamak için killi zeminlerin geoteknik özelliklerinin değiştirilmesi işlemidir (Attoh-Okine, 1995) ve killerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu amaçla, farklı özelliklere sahip çok sayıda katkı malzemesi kullanılmaktadır. Kireç, çimento, uçucu kül, silis dumanı, tuf, volkanik cam, volkanik kül, şeyl ve diatomit gibi katkı malzemeleri zemine ait elementlerle kimyasal reaksiyona girerek kilin geoteknik özelliklerini iyileştirirken (Bell, 1996; Boardman vd., 2001; Kalkan ve Akbulut, 2004; Al-Rawas vd., 2005; Cuisinier vd., 2011; Harichane vd., 2011; Mahamedi ve Khemissa, 2013; Voottipruex ve Jamsawang, 2014; Azadegan vd., 2012; Mallela vd., 2004; Ramadas vd., 2011; Aksoy vd., 2008; Hilf, 1991; Sherwood, 1994; Little, 1995; Puppala vd., 2003; Asgari vd., 2015; Chu ve Kao, 1993; Goodarzi vd., 2015; Hossain ve Mol, 2011; Lin vd., 2013; Wang vd., 2013), jeofiber ve jeogrid gibi diğer katkı malzemeleri ise fiziksel etkileri ile zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmektedir (Yang vd., 2012; Chong ve Kassim, 2014).

Zemindeki elementlerle kimyasal reaksiyona giren katkı malzemeleri ilk olarak zeminin su içeriğinin azalmasına ve daha kolay işlenebilir hale gelmesine; uzun sürede ise zeminin dayanım, sıkışabilirlik ve duraylılık özelliklerinde iyileşmelere neden olmaktadır (Locat vd., 1990; Wild vd., 1996; Mallela vd., 2004; Geiman, 2005).

Jawad vd. (2014) yaptıkları çalışmada özellikle sönmüş kireç kullanılarak stabilize edilen killi zeminlerin geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişimleri ve stabilizasyonda kireç kullanımının avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralamaktadır.

- Zemini oluşturan daneler büyük boyutlu kümeler haline gelir ve böylece zemin dokusu değişir. Bu olaya topaklanma adı verilir. Topaklanma sonucunda zeminin boşluk oranı ve optimum su içeriği artarken, maksimum kuru yoğunluk ise azalır (Kinuthia vd., 1999).
- Likit limitin azalması ve plastik limitin artması ile plastisite indisi azalır. Böylece zemin non-plastik özellik kazanabilir (Little vd., 1995; Mallela vd., 2004).
- Zeminin dayanımı önemli ölçüde artar. Ancak, bu artış kür süresi ile birlikte zeminin pH'ı, organik karbon içeriği, doğal drenaj,

aşırı miktarda değiştirilebilir sodyum, kil mineralojisi, ayrışma derecesi, karbonatların varlığı, çıkarılabilir demir, silika-seskuioksit oranı ve silika-alümin oranına bağlıdır (Mallela vd., 2004).

- Zeminin tekrarlı yüklere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanan yorulma dayanımında artış meydana gelir. Zeminlerde uygulanan gerilmenin statik dayanıma oranına ters olarak döngüsel yükleme sayısı artar. Böylece, stabilize edilmiş zeminde zamanla kazanılan dayanım, yorgunluk etkisini dengelemekte ve stabilize edilmemiş zemine göre yorgunluk dayanımının artmasını sağlamaktadır. Mallela vd. (2004) tekrarlı yükleme sonucu zamanla geliştirilen gücün, stres/dayanım oranını azalttığını, böylece yorulma dayanımını arttırdığını belirtmektedir.
- Stabilizasyon sonucunda meydana gelen puzolonik reaksiyon ile zeminde sertleşme meydana gelmekte ve böylece zeminin çevre koşullarındaki değişikliklerden kaynaklanan ıslanma-kuruma ve donma-çözülme döngülerinin olumsuz etkilerine karşı koyma kabiliyeti olarak tanımlanan (duraylılık) durability artmaktadır (Thompson ve Dempsey, 1969).
- Stabilizasyon sonucu zeminin şişme potansiyeli ve hacimsel değişimi azalmaktadır. Little vd. (1995) şişme potansiyeli ve şişme basıncında meydana gelen önemli miktardaki bu azalmanın, stabilizasyon sonucu zeminin plastisite indisindeki azalma ile ilişkili olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, kür ve puzolonik reaksiyon da şişme potansiyelinin azalmasını sağlamaktadır (Dempsey ve Thompson, 1968; Thompson, 1969; Little vd., 1995).
- Zeminlerin stabilizasyonu hakkındaki çalışmalar, stabilizasyonun zeminin permeabilitesi üstündeki etkisi hakkında pek fazla bilgi vermemektedir. Bazı çalışmalarda (Broms ve Boman, 1977; El-Rawi ve Awad, 1981; McCallister ve Petry, 1992; Rajasekaran ve Narasimha Rao, 2002; Nalbantoglu ve Tuncer, 2001; Khattab vd., 2008) stabilizasyon sonucunda zeminin hidrolik iletkenliğinin arttığı, bazı çalışmalarda ise (Onitsuka vd., 2001; Milburn ve Parsons, 2004; Alhassan, 2008) zeminin permeabilitesinin önemli ölçüde azaldığı ifade edilmektedir.
- Stabilizasyon işleminin zeminin sıkışabilirliği üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmacılar (Rajasekaran ve Rao, 1997; Tremblay vd., 2001; Rao ve Shivananda,

2005; Locat vd., 1996; Tedesco, 2006) stabilizasyonda kullanılan malzeme miktarının artmasıyla zeminin ön konsolidasyon basıncının doğrusal olarak arttığını ve böylece zeminin sıkışabilirliğinin azaldığını belirtmektedir.

- i) Kireçle yapılan stabilizasyonlarda zeminde zararlı kimyasal reaksiyonlar da ortaya çıkabilmektedir. Bu reaksiyonlardan birincisi kireç karbonasyonu, ikincisi ise toprakta bulunan sülfat tuzu ile reaksiyondur. Zemin kireçle veya çözünebilir sülfat tuzu içeren herhangi bir kalsiyum bazlı katkı maddesiyle işlendiğinde, büzülme, ısınma ve dağılma meydana gelebilir ve bu da güç kaybına neden olabilir. (Mitchell, 1986; Hunter, 1988; Nair ve Little, 2011). Sridharan vd. (1995), sülfatın varlığının kireçle stabilize edilmiş zeminin sıkıştırılabilirliğini arttırdığını belirtmektedir. Mitchell (1986), Katz vd. (2001), Braga Reis (1981) ve Hunter (1988) ise zeminde meydana gelen en önemli olumsuz etkinin, zeminin mineralojisinde bulunan kalsiyum ve alüminyum arasındaki çözünür sülfat ve su varlığında etrenjit ve/veya tomasit mineralleri üreten kimyasal reaksiyonlardan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, etrenjit mineralinin zeminde kabarma ve şişmelere neden olduğunu belirtmektedirler.

Son yıllarda zeminlerin geoteknik özelliklerini iyileştirmek amacıyla reçine, köpük, emülsiyonlar, enzimler, asitler, sıvı polimerler ve endüstriyel atık gibi malzemeler de kullanılmaya başlanmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Rauch vd., 2002; Santoni vd., 2002; Newman ve Tingle, 2004; Harris vd., 2006; Gilazghi vd., 2016; Naeini ve Ghorbanalizadeh, 2010, Al-Khanbashi ve Abdalla, 2006; Zandieh ve Yasrobi, 2010; Ajalloein vd., 2013, Anagnostopoulos ve Papaliangas, 2012; Naeini vd., 2012; Anagnostopoulos vd., 2013; Mohammed ve Vipulanandan, 2013) bu tür malzemelerin zemin stabilizasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir. Stabilizasyonda çimento kullanılması durumunda ise zeminler daha gevrek hale gelebilmekte, dinamik yüklerin etkisiyle çatlakların oluşması kolaylaşabilmektedir (Little, 1992; Sebesta, 2005; Li, 2014).

Stabilizasyonda kullanılacak malzemenin ekonomik olması da önem taşımaktadır. Nitekim, kireç, çimento, silis dumanı gibi katkıların kullanımı stabilizasyon maliyetini artırmakta ve bu katkı maddelerinin üretildiği tesisler karbon

salınımına ve iklim değişikliğine neden olmaktadır (Imbabi vd., 2012).

Bu nedenlerden dolayı, killerin stabilizasyonunda kullanılacak malzemenin, zeminin geoteknik özelliklerini amaca uygun hale getirmesi ile birlikte ekonomik ve kolay elde edilebilir olması da önemlidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Bulut, 2007; Fındık, 2005; Kavlak, 2008; Keskin ve Çimen, 1997; Okucu, 1998) pomza, perlit ve tuf gibi malzemelerin zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar özellikle volkanik kül ve tüflerin zeminlerin stabilizasyonunda oldukça etkili olduğunu ve kullanılabilirliğini göstermektedir.

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kireç, silis dumanı, uçucu kül ve asidik ve bazik karakterli tüfler seçilmiş ve stabilizasyon sonucunda yüksek plastisiteli kilde meydana gelen dokusal değişiklikler incelenmiştir. Stabilizasyon konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak kilin kıvam limitleri, jeokimyası, dayanımı gibi özelliklerinin incelendiği görülmektedir. Bu çalışmalarda kilin dokusunda meydana gelen değişimlerin görüntüleme yöntemleri kullanılarak incelendiği çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) çalışmaları yapılarak stabilizasyon sonrasında kilin dokusunda meydana gelen değişimler görüntülenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, katkı malzemelerinin yüksek plastisiteli killerin geoteknik özelliklerinde ve özellikle dokusunda meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Bu amaçla, katkı malzemesi olarak asidik ve bazik karakterli tuf ile sönmüş kireç, silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan bentonit Reşadiye (Tokat) kil ocağından, bazik tuf Ağın (Elazığ) bölgesinde yüzeyleme veren Karabakır Formasyonu'nundan, asidik karakterli tuf Gümüşhane bölgesinde yüzeyleme veren Kızılkaya Formasyonu'nundan, uçucu kül Afşin-Elbistan Termik Santrali'nden, silis dumanı ve sönmüş kireç ise piyasadan satın alınarak elde edilmiştir. Bu puzolanlar Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (UCSC) göre yüksek plastisiteli kil (CH) ile farklı oranlarda karıştırılmış ve kilin dokusal özelliklerinde meydana gelen değişimler Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) çalışmaları ile incelenmiştir. SEM çalışmaları Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda (MERLAB) gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarının ilk aşamasında katkısız kil ve belli oranlarda katkı katılan kil örnekleri hazırlanmış, bu örneklerde ASTM standartlarına göre kıvam limitleri (ASTM D 4318, 2017) ve optimum su içerikleri (ASTM D 698, 2012) belirlenmiştir. Bu deneyler Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kaya-Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Killerin stabilizasyonu konusunda yapılan çalışmalar (Little vd., 1995; Mallela vd., 2004), başarılı bir stabilizasyonun killerde likit limit (LL) ile plastisite indisinin (PI) azalmasına, plastik limitin (PL) ise artmasına ve böylece killi zeminin

daha non-plastik özellik kazanmasına neden olduğunu göstermektedir. Yani, stabilizasyon sonrasında kıvam limitlerinde ortaya çıkan değişimler, kullanılan katkı malzemesi ve katkı oranının stabilizasyon için uygun olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada, en başarılı stabilizasyonun sağlandığı örnekleri belirlemek amacıyla öncelikle kıvam limitleri belirlenmiştir. Stabilizasyon sonrasında killi zemini plastisitesinde en fazla azalmanın meydana geldiği örnekler seçilerek, bu örneklerdeki doku değişimleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen laboratuvar deneylerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Katkısız ve katkılı kil örneklerinin kür öncesi kıvam limiti ve optimum su içeriği değerleri

Grup	No	Örnek	LL (%)	PL (%)	PI (%)	w <sub>opt</sub> (%)
	1	C	507	41	466	31.50
A	2	C + SL %5	259	57	202	40.91
	3	C + SL %10	360	51	309	43.00
	4	C + SL %20	395	58	337	43.50
	5	C + BT %5	487	43	444	40.00
B	6	C + BT %10	463	32	431	46.10
	7	C + BT %20	435	39	396	43.00
	8	C + AT %5	463	37	426	48.00
C	9	C + AT %10	433	34	399	39.00
	10	C + AT %20	377	34	343	40.00
	11	C + AT %5 + SL %5	253	52	201	54.00
D	12	C + AT %10 + SL %5	350	54	296	69.00
	13	C + AT %5 + SL %10	340	55	285	65.00
	14	C + AT %10 + SL %10	302	56	246	70.00
E	15	C + BT %5 + SL %5	379	55	324	50.00
	16	C + BT %10 + SL %5	430	52	378	53.00
	17	C + BT %5 + SL %10	305	54	251	56.00
	18	C + BT %10 + SL %10	325	53	272	57.00
F	19	C + SF %5	440	36	404	48.50
	20	C + SF %10	460	37	423	61.00
	21	C + SF %20	370	33	337	64.00
G	22	C + AT %5 + SF %5	442	41	401	49.50
	23	C + AT %5 + SF %10	421	35	386	48.00
	24	C + AT %10 + SF %5	455	31	424	56.80
	25	C + AT %10 + SF %10	399	32	367	50.00
H	26	C + BT %5 + SF %5	403	38	365	60.00
	27	C + BT %10 + SF %5	422	41	381	47.00
	28	C + BT %5 + SF %10	417	37	380	65.00
	29	C + BT %10 + SF %10	379	43	336	67.00
I	30	C + FA %5	348	56	292	41.00
	31	C + FA %10	246	54	192	42.88
	32	C + FA %20	341	55	286	43.03
J	33	C + AT %5 + FA %5	340	37	303	52.40
	34	C + AT %10 + FA %5	321	39	282	50.00
	35	C + AT %5 + FA %10	236	44	192	56.00
	36	C + AT %10 + FA %10	200	43	157	52.50
K	37	C + BT %5 + FA %5	320	42	278	48.00
	38	C + BT %10 + FA %5	313	46	267	51.50
	39	C + BT %5 + FA %10	248	31	217	54.00
	40	C + BT %10 + FA %10	213	37	177	50.00
Kil – C		Asidik Tüf – AT				
Uçucu Kül – FA		Sönmüş Kireç –SL	Bazik Tüf – BT			
			Silis Dumanı – SF			



Laboratuvar deney sonuçlarına göre, katkısız kilin (C) LL değeri %507, PL değeri ise %41 dir. Karışımlara (Grup A - K) ait kıvam limitleri değerlerine bakıldığında LL değerlerinin % 200 - 487 arasında, PL değerlerinin ise % 31 - 58 arasında değiştiği görülmektedir. Farklı oranlarda ve farklı türlerde katkı malzemesinin kullanılması durumunda kilin LL değerleri azalırken PL değerlerinde az da olsa bir artış söz konusudur. Tablo 1'e göre her bir grupta LL değerlerinde en fazla azalmayı sağlayan karışımlar 2, 7, 10, 11,

17, 21, 25, 29, 31, 36 ve 40 numaralı karışımlardır.

İkinci aşamada, 2, 7, 10, 11, 17, 21, 25, 29, 31, 36 ve 40 numaralı örnekler optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) değerinde sıkıştırılmış ve hazırlanan örnekler 28 günlük küre tabi tutulmuştur. Örneklerin kür sonrası LL değerleri yeniden belirlenmiştir. Örneklerin kür öncesi ve kür sonrası LL değerleri Tablo 2'de, meydana gelen % değişim oranları ise Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 2.** Kür öncesi ve kür sonrası kıvam limiti değerleri

No	Örnek	Kür öncesi			Kür sonrası		
		LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
1	C	507	41	466	480	42	438
2	C + SL %5	259	57	202	240	59	181
7	C + BT %20	435	39	396	410	43	367
10	C + AT %20	377	34	343	360	37	323
11	C + AT %5 + SL %5	253	52	201	193	54	139
17	C + BT %5 + SL %10	305	54	251	200	57	143
21	C + SF %20	370	33	337	360	35	325
25	C + AT %10 + SF %10	399	32	367	350	41	309
29	C + BT %10 + SF %10	379	43	336	360	43	317
31	C + FA %10	246	54	192	235	56	179
36	C + AT %10 + FA %10	200	43	157	192	44	148
40	C + BT %10 + FA %10	213	37	177	204	43	161

**Tablo 3.** Kür öncesi ve kür sonrası LL değerlerinde meydana gelen % değişimler

No	Örnek	Kür öncesi	Kür sonrası
		LL	LL
		% değişim	% değişim
1	C	-	-5.33
2	C + SL %5	-48.92	-52.66
7	C + BT %20	-14.20	-19.13
10	C + AT %20	-25.64	-28.99
11	C + AT %5 + SL %5	-50.10	-61.93
17	C + BT %5 + SL %10	-39.84	-60.55
21	C + SF %20	-27.02	-28.99
25	C + AT %10 + SF %10	-21.30	-30.97
29	C + BT %10 + SF %10	-25.25	-28.99
31	C + FA %10	-51.48	-53.65
36	C + AT %10 + FA %10	-60.55	-62.13
40	C + BT %10 + FA %10	-57.99	-59.76

Tablo 3'e göre; katkısız kilin kür sonrası LL değeri kür öncesi LL değerine göre %5.33 oranında azalmaktadır. Ayrıca, katkılı örneklerin kür öncesi LL değerleri katkısız kilin kür öncesi LL değerlerine göre %14.2 ile %60.55 oranında azalırken, kür sonrası LL değerlerindeki azalma oranı %19.13 ile %62.13 arasında değişmektedir. Bu durum, kullanılan katkı malzemesi ile birlikte kür süresinin de LL değerlerinin azalmasında ve

dolayısıyla kilin geoteknik özelliklerinin iyileşmesinde etkili olduğunu göstermektedir.

LL değerlerinde en fazla azalmanın meydana geldiği örnekler 2, 11, 17, 31, 36 ve 40 numaralı örneklerdir. Bu örneklerden 2 ve 31 nolu örneklerde yapay (sönmüş kireç ve uçucu kül), 11, 17, 36 ve 40 numaralı örneklerde ise hem yapay hem de doğal puzolanik malzeme (bazik ve asidik

karakterli tuf) kullanılmıştır. Bu örneklerin kür sonrası LL değerlerinde meydana gelen azalma %52.66 ile %62.13 oranında değişirken, 7, 10, 21, 25 ve 29 nolu örneklerin kür sonrası LL değerlerinde meydana gelen azalma oranı %19.13 ile %30.97 oranında değişmektedir.

Sadece silis dumanı, asidik tuf veya bazik tufün katkı malzemesi kullanılması durumunda (7, 10 ve 21 nolu örnekler) kilin LL değerlerindeki azalma sınırlı olmaktadır. Benzer durum silis dumanı ile asidik ve bazik tuflerin birlikte kullanıldığı 25 ve 29 nolu örnekler içinde geçerlidir. Bu sonuçlar, silis dumanının puzolanik özelliğinin kireç ve uçucu küle göre daha az olduğunu göstermektedir. Silis dumanının asidik ve bazik tufler ile birlikte kullanılması durumunda ise LL değerlerinde daha fazla bir azalma olmasına karşın, diğer örneklerdeki azalma oranı ile karşılaştırıldığında bu oranın çok yetersiz olduğunu söylemek mümkündür.

LL değerinde en fazla azalmanın (%62.13) belirlendiği 36 nolu örnekte katkı malzemesi olarak %10 asidik tuf ve %10 uçucu kül kullanılmıştır. Sadece sönmüş kireç ve uçucu külün kullanıldığı örneklerde (2 ve 31 nolu örnekler) LL değerlerindeki azalma oranı %50 civarında iken, hem doğal hem de yapay puzolanların kullanıldığı örneklerde (11, 17, 36 ve 40 nolu örnekler) bu oran % 60'lar civarındadır. Bu sonuç, iki tip katkı malzemesinin birlikte kullanılması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Mikro yapı zeminlerin mühendislik davranışını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Collins, 1984; Terrei vd., 1984; Push, 1979; Mitchell, 1993; Türköz, 2009) farklı katkı malzemelerinin kullanıldığı stabilizasyon sonrasında, kilin dokusal olarak değiştiği belirlenmiştir. En önemli değişim ise stabilizasyon sonrasında meydana gelen topaklanma sonucunda tane boyundaki büyümedir. Böylece, kil iri taneli malzeme gibi davranmaya başlamakta, boşluk oranı artmakta, optimum su içeriği artarken, kuru yoğunluğu azalmakta, serbest basınç dayanımı (UCS) ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) ise artış göstermektedir (Jawad vd., 2014).

Bu çalışmada, katkılı örneklerin dokusunda meydana gelen değişimleri de görebilmek amacıyla, SEM çalışmaları yapılmıştır. Farklı katkı malzemeleri kullanılarak stabilize edilen örnekler 28 günlük kür sonrası SEM çalışmaları ile incelenmiş ve elde edilen görüntüler katkısız kile ait görüntü ile karşılaştırılarak dokuda

meydana gelen değişimler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

SEM; minerallerin morfoloji, boyut, şekil ve birbirleriyle olan ilişkileri olarak tanımlanan dokunun en iyi şekilde incelenbildiği yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra katot ışınları tüpünün ekrana aktarılmasıyla elde edilir. Algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmekte ve böylece görüntü elde edilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen görüntüler Şekil 1 ve 2'de verilmiş ve stabilizasyon sonucunda kilde meydana gelen dokusal değişimler irdelenmiştir.

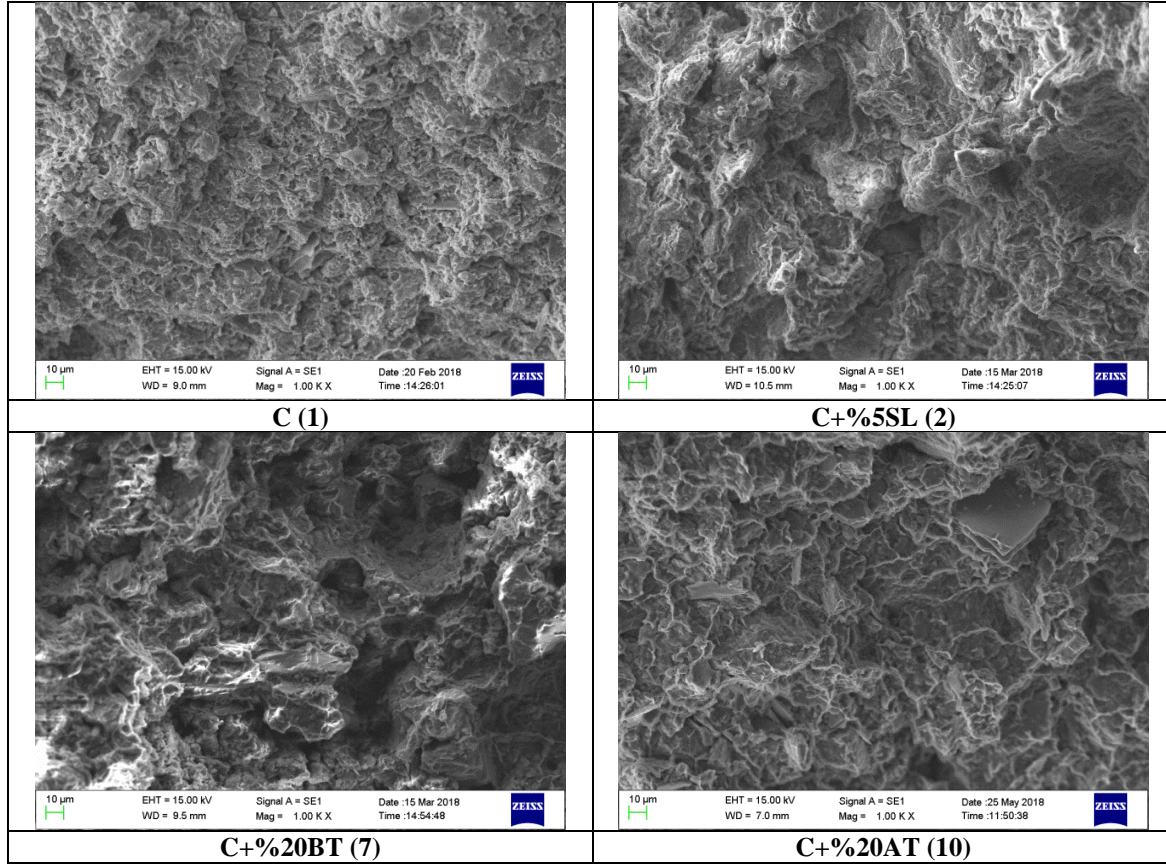
Katkılı örneklerden SEM çalışmaları ile elde edilen görüntüler katkısız kilin görüntüsü ile karşılaştırıldığında; LL değerinde en fazla azalma oranının belirlendiği 2, 11, 17, 31, 36 ve 40 nolu örneklerde, tanelerin katkısız kile oranla daha iri ve taneler arasındaki boşlukların ise daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Bu dokusal değişimin nedeni stabilizasyon sonrasında gelişen topaklanma olayıdır. LL değerlerinde meydana gelen azalma oranı %19.13-30.97 arasında olan 7, 10, 21, 25 ve 29 nolu örneklerde katkısız kile ait görüntüler ile karşılaştırıldığında; danelerin daha plakamsı özellikte ve taneler arası boşlukların daha az olduğu görülmektedir.

Bu görüntüler, LL değerlerinde meydana gelen azalmanın doğrudan topaklanma ile ilişkili olduğunu, topaklanmanın iyi gelişmesi sonucu tane boyunun büyüdüğünü ve böylece kil daha iri taneli örneğin silt gibi davrandığını ve LL değerini azaldığını göstermektedir.

### 3. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi kısaca sıralamak mümkündür.

- Stabilizasyonda farklı tür ve oranlarda kullanılan katkı malzemelerinin etkisiyle, kilin LL değerlerinde önemli azalmalar, PL değerlerinde ise önemsenemeyecek kadar az artışlar gerçekleşmiştir. Artan katkı oranı kilin plasitistesini düşürmekte ve non-plastik özellik kazanmasına yol açmaktadır.

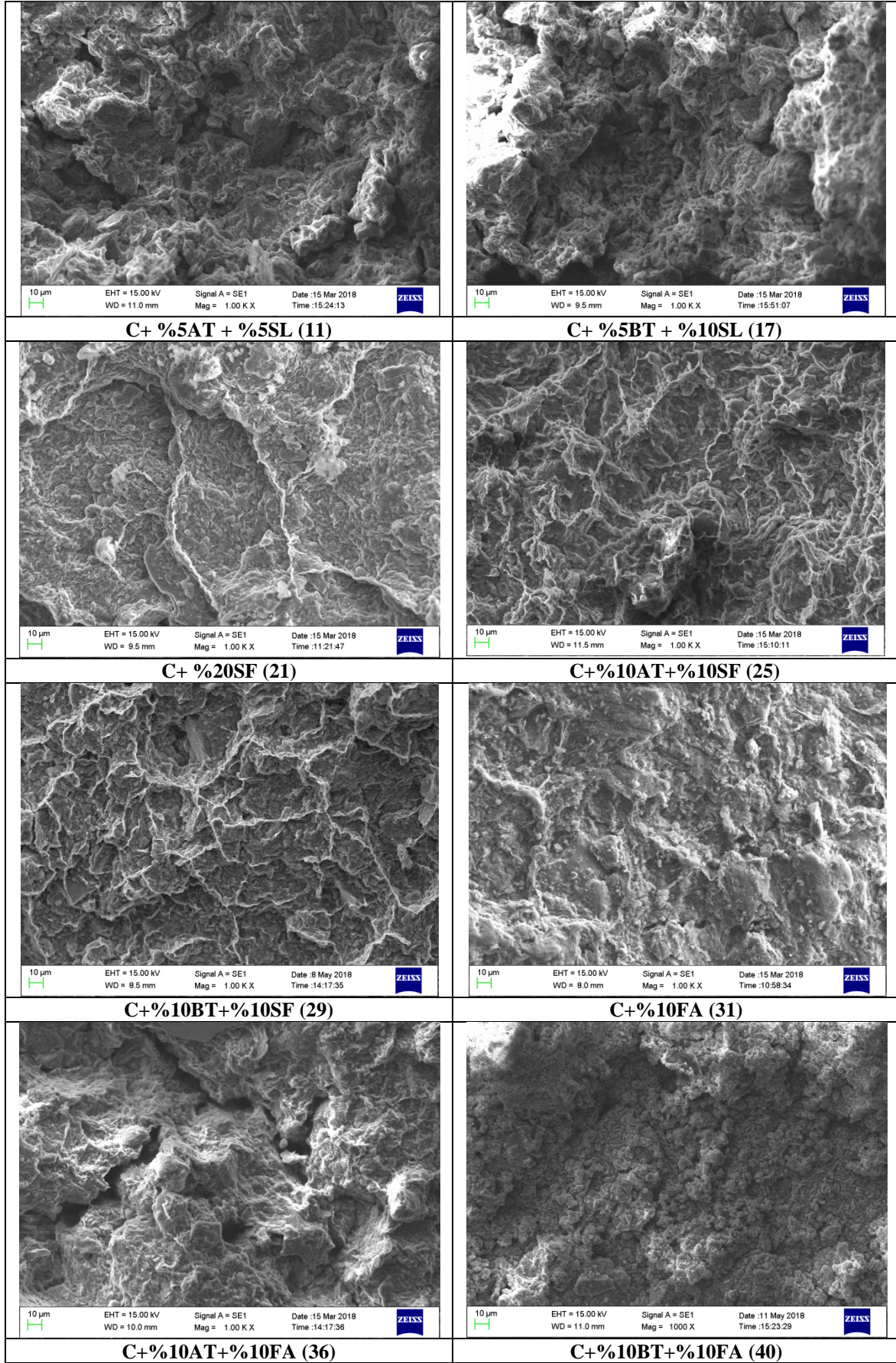


Şekil 1. 1, 2, 7 ve 10 nolu örneklere ait SEM görüntüleri

- 28 günlük kür sonrasında belirlenen LL değerlerine göre katkısız kilin LL değeri %5.33 oranında azalma göstermiştir. Katkılı killerin kür öncesi LL değerlerindeki azalma ise %14.20-60.55 oranında iken, azalma oranı kür sonrasında %19.13 ile %62.13 arasında gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar kür süresinin stabilizasyonda önemli bir etken olduğunu göstermektedir.
- Sadece sönmüş kireç ve uçucu külün kullanıldığı örnekler ile bunların asidik ve bazik karakterli tüfler ile birlikte kullanıldığı örneklerin kür sonrası LL değerlerindeki azalma oranı %52.66 ile %62.13 arasında gerçekleşmiştir. Katkı malzemesi olarak sadece silis dumanı, asidik tüf veya bazik tüfün kullanılması durumunda (7, 10 ve 21 nolu örnekler) kür sonrası LL değerlerindeki azalma %19.13-28.99 oranındadır. Silis dumanı ile bazik ve asidik tüflerin birlikte kullanıldığı örneklerde (25 ve 29 nolu örnekler) ise kür sonrası LL değerlerindeki azalma oranı %28.99-30.97 olarak belirlenmiştir. Bu değerler killerin stabilizasyonunda kireç ve uçucu külün silis dumanına göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Silis dumanının asidik ve bazik tüfler ile birlikte kullanılması

durumunda kür sonrası LL değerlerinde meydana gelen azalma oranında çok az bir artış görülmüştür. Ancak, diğer örneklerdeki azalma oranı ile karşılaştırıldığında bu azalma miktarı çok yetersizdir. Bu sonuçlar kireç ve uçucu kül ile birlikte asidik ve bazik tüfün de katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda başarılı bir stabilizasyonun gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Böylece çevreye olan olumsuz etkileri olan kireç ve uçucu külün stabilizasyonda kullanımını da azalmış olacaktır.

- Kür sonrası LL değerinde en fazla azalma oranının belirlendiği 2, 11, 17, 31, 36 ve 40 nolu örneklerde yapılan SEM çalışmalarında tanelerin katkısız kile oranla daha iri ve taneler arasındaki boşlukların ise daha fazla olduğu görülmüştür. Kür sonrası LL değerlerindeki azalmanın sınırlı olduğu örneklerde ise tanelerarası boşlukların daha az ve tanelerin daha plakamsı özellikte olduğu belirlenmiştir.
- Stabilizasyon sonucunda kilde meydana gelen bu dokusal değişim nedeni; katkı ve kür sonrasında kilde meydana gelen, kilin daha iri taneli bir zemin gibi davranmasına ve LL değerinin azalmasına yol açan topaklanmadır.



Şekil 2. 11, 17, 21, 25, 29, 31, 36 ve 40 nolu örneklere ait SEM görüntüleri

## Kaynaklar

- Ajalloeian, R., Matinmanesh, H., Abtahi, S., Rowshanzamir, M., 2013. Effect of polyvinyl acetate grout injection on geotechnical properties of fine sand, *Geomechanics and Geoengineering*, 8(2), 86–96.
- Aksoy, H.S., Yılmaz, M., Akarsu, E.E., 2008. Killi Bir Zeminin Tunçbilek Uçucu Külü Kullanılarak Stabilizasyonu, *Doğu Anadolu Bölgeleri Araştırmaları*.
- Alhassan, M., 2008. Permeability of lateritic soil treated with lime and rice husk ash. *Assumption Univ., J. Thailand*, 12(2): 115-120.
- Al-Khanbashi, A. and Abdalla, S., 2006. Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24(6), 1603–1625.
- Al-Rawas, A.A., Hugo, A.W. and Al-Sami, H., 2005. Effect of lime, cement and artificial pozzolan on the swelling potential of an expansive soil from Oman”, *Building & Environment*, 40, Elsevier, 267-281.
- Anagnostopoulos, C. and Papaliangas, T., 2012. Experimental investigation of epoxy resin and sand mixes, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(7), 841–849.
- Anagnostopoulos, C., Kandiliotis, P., Lola M., Karavatos S., 2013. Effect of epoxy resin mixtures on the physical and mechanical properties of sand, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(17), 3478–3490.
- Asgari, M. R., Dezfuli, A. Baghebanzadeh, Bayat, M., 2015. Experimental Study on Stabilization of a Low Plasticity Clayey Soil With Cement/Lime, *Arabian Journal of Geosciences* 8(3), 1439-1452.
- ASTM, 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, (ASTM D698- 12e2). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2017. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, (ASTM D4318-17e1). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Attoh-Okine, N.O., 1995. Lime treatment of laterite soils and gravels-revisited. *Constr. Build. Mater.*, 9(5): 283-287.
- Azadegan, O., Jafari, S.H. and Li, J., 2012. Compaction characteristics and mechanical properties of lime/cement treated granular soils. *Electron. J. Geotech. Eng.*, 17: 2275-2284.
- Bell, F., 1996. Lime stabilization of clay minerals and soils. *Eng. Geol.*, 42(4): 223-237.
- Boardman, D.I., Glendinning, S. and Rogers, C.D.F. 2001. “Development of stabilization and solidification in lime-clay mixes”, *Geotechnique*, 51(6), 533-543.
- Braga Reis, M.O., 1981. Formation of expansive calcium sulphoaluminate by the action of the sulphate ion on weathered granites in a calcium hydroxide-saturated medium. *Cement Concrete Res.*, 11(4): 541-547.
- Broms, B. and Boman P., 1977. Stabilization of Soil with Lime-soil Columns. *Design Handbook*, 2nd Edn., Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Bulut, Ü., 2007. Perlitin Puzolanik Aktivitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 162s.
- Chong, S.Y. and Kassim, K.A., 2014. Consolidation characteristics of lime column and Geotextile Encapsulated Lime Column (GELC) stabilized pontian marine clay. *Electron. J. Geotech. Eng.*, 19A: 129-141.
- Chu, S.C. and Kao, H.S., 1993. A Study of Engineering Properties of A Clay Modified By Fly Ash and Slag, *Fly Ash for Soil Improvement*, Geotechnical Special Publication, No:36, s. 89-100, Ed.:Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- Collins, K., 1984. “Characterization of expansive soil microfabric.” In *Proceedings of the 5th International Conference on Expansive Soils*, Adelaide, South Australia, pp. 37- 41.
- Cuisinier, O., Auriol, J-C., Le Borgne, T. and Deneele, D., 2011. “Microstructure and hydraulic conductivity of a compacted lime-treated soil”, *Eng. Geol.*, 123(3), 187-193.
- Dempsey, B.J. and Thompson, M.R., 1968. Durability Properties of Lime-soil Mixtures. *Highway Research Record No. 235*, National Research Council, Washington D.C.
- El-Rawi, N.M. and Awad A.A.A., 1981. Permeability of lime stabilized soils. *T. Eng. J.*, 107(1): 25-35.
- Fındık, S., 2005. Karayolu esnek üstyapıları alttemel tabakasının stabilizasyonunda hafif agregaların kullanılabilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, Isparta.
- Geiman, C.M., 2005. Stabilization of soft clay subgrades in Virginia phase I laboratory study.

- M.A. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Gilazghi, S., Huang, J., Rezaeimalek, S., Bin-Shafique, S., 2016. Stabilizing sulfate-rich high plasticity clay with moisture activated polymerization, *Engineering Geology*, 211, 171–178.
- Goodarzi, A. R., Goodarzi, Sh., Akbari, H. R., 2015. Assessing Geo-Mechanical and Micro-Structural Performance of Modified Expansive Clayey Soil by Silica Fume as Industrial Waste, *Iranian Journal of Science And Technology-Transactions of Civil Engineering*, 39 (C2), 333-350.
- Harichane, K., Ghrici, M., Khebizi, W. and Missoum, H., 2011. “Effet de la combinaison de la chaux et de la pouzzolane naturelle sur la durabilité des sols argileux“, *Proceedings of 29th meeting of AUGC-Tlemcen, Algeria*, 29-31 mai, 2, 65-75.
- Harris, P., Holdt, P., Sebesta, S., 2006. Recommendations for Stabilization of High-Sulfate Soils in Texas, *Federal Highway Administration, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, FHWA/TX-06/0-4240-3*.
- Hilf, J., 1991. Compacted fill, in: H. Fang (Ed.), *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York, ABD.
- Hossain, K. M. A., Mol, L., 2011. Some Engineering Properties of Stabilized Clayey Soils Incorporating Natural Pozzolans and Industrial Wastes, *Construction and Building Materials*, 25(8), 3495-3501.
- Hunter, D., 1988. Lime-induced heave in sulfate-bearing clay soils. *J. Geotech. Eng.*, 114(2): 150-167.
- Imbabi, M., Carrigan, C., McKenna, S., 2012. Trends and developments in green cement and concrete technology”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194–216.
- Jawad, I.T., Taha, M.R., Majeed, Z.H., and Khan, T.A., 2014. Soil Stabilization Using Lime: Advantages, Disadvantages and Proposing a Potential Alternative, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 8(4): 510-520.
- Kalkan, E. and Akbulut, S., 2004. “The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners”, *Eng. Geol.*, 73(1-2), 145-156.
- Katz, L., Rauch, A., Liljestrang, H., Harmon, J., Shaw, K., Albers, H., 2001. Mechanisms of soil stabilization with liquid ionic stabilizer, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1757, 50–57.
- Kavlak, Y., 2008. Isparta Gelincik pomzasının karayolu esnek üstyapıları taban zemini stabilizasyonunda kullanımını, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, Isparta.
- Keskin, S.N., Çimen, Ö., 1997. Killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde pomza kullanımının araştırılması, *I. Isparta Pomza Sempozyumu*, 97-101.
- Khattab, S.A.A., Al-Juari, K.A.K. and Al-Kiki, I., 2008. Strength, durability and hydraulic properties of clayey soil stabilized with lime and industrial waste lime. *Al-Rafidain Eng.*, 16(1): 102-116.
- Kinuthia, J.M., Wild, S. and Jones G.I., 1999. Effects of monovalent and divalent metal sulphates on consistency and compaction of lime-stabilised kaolinite. *Appl. Clay Sci.*, 14(1-3): 27-45.
- Li, X.J., 2014. Shrinkage Cracking of Soils and Cementitiously-Stabilized Soils: Mechanisms and Modeling, Ph.D. thesis, Washington State University, ABD.
- Lin, B., Cerato, Amy B., Madden, Andrew S., Madden, Megan E Elwood., 2013. Effect of Fly Ash on the Behavior of Expansive Soils: Microscopic Analysis, *Environmental Engineering Geoscience*, 19(1), 85-94.
- Little, D., 1995. Stabilization of Pavement Subgrades Base Courses with Lime, *Lime Association of Texas*, ABD.
- Little, D.N., 1992. Comparison of in-situ resilient moduli of aggregate base courses with and without low percentages of lime stabilization, *ASTM Special Technical Publication*, 1135, 8–22.
- Little, D.N., Scullion, T., Kota, P.B.V.S. and Bhuiyan, J., 1995. Guidelines for mixture design and thickness design for stabilized bases and subgrades. *Texas A and M University, Austin, Texas*.
- Locat, J., Berube, M.A. and Choquette, M., 1990. Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: Shear strength development. *Can. Geotech. J.*, 27(3): 294-304.
- Locat, J., Trembaly, H. and Leroueil S., 1996. Mechanical and hydraulic behaviour of a soft inorganic clay treated with lime. *Can. Geotech. J.*, 33(4): 654-669.

- Mahamedi, A. and Khemissa, M., 2013. "Cement stabilization of compacted expansive clay", *Online j. Sci. Technol.*, 3(1), 33-38.
- Mallela, J., Harold Von Quintus, P., Smith, K.L. and Consultants, E., 2004. Consideration of Limestabilized Layers in Mechanistic-empirical Pavement Design. The National Lime Association, Arlington, Virginia, USA.
- McCallister, L.D. and Petry, T.M., 1992. Leach tests on lime-treated clays. *Geotech. Test. J.*, 15(2).
- Milburn, J.P. and Parsons, R., 2004. Performance of soil stabilization agents. Report KU-01-8, Kansas Department of Transportation, Topeka, KS.
- Mitchell, J.K., 1986. Practical problems from surprising soil behavior. *J. Geotech. Eng-ASCE*, 112(3): 255-289.
- Mitchell, J.K., 1993. *Fundamentals of Soil Behavior*, 2nd edn. Wiley, New York.
- Mohammed, A. and Vipulanandan, C., 2013. Compressive and tensile behavior of polymer treated sulfate contaminated CL Soil, *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(1), 71-83.
- Naeini, S., Ghorbanalizadeh, M., 2010. Effect of wet and dry conditions on strength of silty sand soils stabilized with epoxy resin polymer, *Journal of Applied Sciences*, 10(22), 2839–2846.
- Naeini, S., Naderinia, B., Izadi, E., 2012. Unconfined compressive strength of clayey soils stabilized with waterborne polymer, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(6), 943–949.
- Nair, S. and Little, D., 2011. Mechanisms of distress associated with sulfate-induced heaving in limetreated soils. *Transp. Res. Record: J. Trans. Res. Board*, 2212(1): 82-90.
- Nalbantoglu, Z. and Tuncer, E.R., 2001. Compressibility and hydraulic conductivity of a chemically treated expansive clay. *Can. Geotech. J.*, 38(1): 154-160.
- Newman, K., Tingle, J., 2004. Emulsion polymers for soil stabilization, *Airport Technology Transfer Conference*, Atlantic City, New Jersey, ABD.
- Okucu, A., 1998. Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Balıkesir, 1-54s.
- Onitsuka, K., Modmoltin, C. and Kouno, M., 2001. Investigation on microstructure and strength of lime and cement stabilized ariake clay. *Rep. Fac. Sci. Eng. Saga Univ.*, 30(1): 49-63.
- Puppala, A.J., Ramakrishna, A.M., Hoyos, L.R., 2003. Resilient moduli of treated clays from repeated load triaxial test, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1821, 68-74.
- Push, R., 1979. "Unfrozen water as a function of clay microstructure", *Engineering Geology*, Vol. 13, pp. 157-162.
- Rajasekaran, G. and Rao, S.N., 1997. The microstructure of lime-stabilized marine clay. *Ocean Eng.*, 24(9): 867-878.
- Rajasekaran, G. and Rao, S.N., 2002. Compressibility behaviour of lime-treated marine clay. *Ocean Eng.*, 29(5): 545-559.
- Ramadas, T., Kumar, N.D. and Yesuratnam, G., 2011. Geotechnical characteristics of three expansive soils treated with lime and flyash. *Int. J. Earth Sci. Eng.*, 4: 46-49.
- Rao, S.M. and Shivananda, P., 2005. Compressibility behaviour of lime-stabilized clay. *Geotech. Geolog. Eng.*, 23(3): 309-319.
- Rauch, A., Harmon, J., Katz, L., Liljestrang, H., 2002. Measured effects of liquid soil stabilizers on engineering properties of clay, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1787, 33–41.
- Santoni, R., Tingle, J., Webster, S., 2002. Stabilization of silty sand with Nontraditional additives, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1787, 61-70.
- Sebesta, S., 2005. Use of microcracking to reduce shrinkage cracking in cementtreated bases, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1936, 3–11.
- Sherwood, P., 1994. *Soil Stabilization with Cement and Lime*, Stationary office, London, UK.
- Sridharan, A., Sivapullaiah, P. and Ramesh, H., 1995. Consolidation behaviour of lime treated sulphate soils. *Proceeding of the International Symposium on Comprssion and Consolidation of Clayey Soils*, pp: 183-188.
- Tedesco, D.V., 2006. Hydro-mechanical behaviour of lime-stabilised soils. Ph.D. Thesis, University of Cassino. Cassino, Italy.
- Terrei, R., Epps J., Barenberg, E., Mitchell, J. and Thompson M., 1984. *Soil stabilization in pavement structures-a user's manual*. Vol. 2, Moisture design consideration. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Thompson, M. and Dempsey, B., 1969. Autogenous healing of lime-soil mixtures. *Highway Res. Record*, 263: 1-7.

- Thompson, M.R., 1969. Engineering properties of limesoil mixtures. *J. Mater., JMLSA*, 4(4): 968-969.
- Tremblay, H., Leroueil, S. and Locat, J., 2001. Mechanical improvement and vertical yield stress prediction of clayey soils from eastern Canada treated with lime or cement. *Can. Geotech. J.*, 38(3): 567-579.
- Türköz, M., 2009. Sıkıştırılmış Şişen Killerin Mikroyapısal Değişiminde Şişme-Büzülme Çevrimin Etkisi, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, Vol: XXII, No:1.
- Voottipruex, P. and Jamsawang, P., 2014. "Characteristics of expansive soils improved with cement and fly ash in Northern Thailand", *Geomechanics and Engineering An Int'l Journal*, 6 (5), 437-453.
- Wang, D., Abriak, N.E., Zentar, R., Chen, W., 2013. Effect of Lime Treatment on Geotechnical Properties of Dunkirk Sediments in France, *Road Materials and Pavement Design*, 14(3), 485-503.
- Wild, S., Kinuthia, J., Robinson, R. and Humphreys, I., 1996. Effects of ground granulated blast furnace slag (GGBS) on the strength and swelling properties of lime-stabilized kaolinite in the presence of sulphates. *Clay Miner.*, 31(3): 423-433.
- Yang, G., Liu, H., Lv, P. and Zhang B., 2012. Geogrid-reinforced lime-treated cohesive soil retaining wall: Case study and implications. *Geotext. Geomembranes*, 35(0): 112-118.
- Zandieh, A., Yasrobi, S., 2010. Study of factors affecting the compressive strength of sandy soil stabilized with polymer, *Geotechnical and Geological Engineering*, 28(2), 139-145.



## Atıklardan Siyanürün Geri Kazanımı: SART Prosesi

### *Recovery of Cyanide from Effluents: SART Process*

Elif YILMAZ<sup>\*a</sup>, Ersin Y. YAZICI<sup>b</sup>, Oktay CELEP<sup>c</sup>, Hacı DEVECİ<sup>d</sup>

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61100, Trabzon*

• Geliş tarihi / Received: 09.08.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 13.12.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 19.12.2018

#### Öz

Dünya’da bakır içeriği yüksek altın cevherlerinden altın üretimi giderek artmaktadır. Bakır minerallerinin siyanür çözeltilerinde yüksek oranlarda çözünmesi nedeniyle bu tür cevherlerden altın kazanımında teknik ve ekonomik zorluklar yaşanmaktadır. Bakır içeriği %0.5’ten yüksek cevherlerden geleneksel siyanür liçi ile altın kazanımı genellikle ekonomik değildir. Yüksek altın kazanımlarına ulaşmak için liç işleminin yüksek siyanür konsantrasyonlarında (CN:Cu>4) yapılması gerekmektedir. Bu durum, hem reaktif maliyetini artırmakta hem de daha fazla siyanür kullanımıyla ilgili olarak çevresel riskin artmasına neden olmaktadır. SART prosesi özellikle bakır içeren altın cevherlerinin yoğun siyanür liçi sonrası atıklardan siyanürün geri kazanımı için geliştirilmiş bir prosestir. Dünya’da ve ülkemizde farklı tesislerde endüstriyel olarak uygulanmaktadır. Prosesin temeli, liç çözeltisinden bakırın asidik koşullarda (pH 4-5) sülfür (Na<sub>2</sub>S) ilavesiyle Cu<sub>2</sub>S halinde çöktürülmesi ve böylece siyanürün serbest hale getirilerek geri kazanımına dayanmaktadır. Elde edilen Cu<sub>2</sub>S yan ürün olarak satılmaktadır. Prosesin performansı sülfür ilavesi, çöktürme süresi, bakır çökeleğinin tikinlerde bekleme süresi vd. koşullara bağlıdır. Yüksek saflıkta bir Cu<sub>2</sub>S çökeleği elde etmek için sülfür ilavesinin hassas bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, SART prosesinin kimyasal esasları ve performansını etkileyen parametreler detaylı olarak irdelenmiştir. Prosesin ilk yatırım ve işletme maliyetleri ışığında genel bir ekonomik analizi de sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:**Bakır İçeren Altın Cevherleri, Siyanür Liçi, Siyanür Geri Kazanımı, SART Prosesi

#### Abstract

Gold production from copper-rich gold ores is increasing at worldwide. Owing to the high dissolution of copper minerals in cyanide solutions, technical and economic difficulties have been faced in treatment of those ores. Gold extraction from ores that contain >0.5% Cu is often uneconomic by traditional cyanide leaching. High cyanide concentrations (CN:Cu>4) should be maintained to achieve high gold extractions. This, in turn, leads to an increase in reagent consumptions and environmental risk due to higher use cyanide. SART process was developed in particular for recovery of cyanide from the effluents of intensive cyanidation of Au-Cu ores. The process is applied worldwide and in Turkey at industrial scale. It is based on precipitation of copper in the form of Cu<sub>2</sub>S from leach solutions under acidic conditions (pH 4-5) by addition of sulphide (as Na<sub>2</sub>S) leading to the release of free cyanide prior to its recovery. Cu<sub>2</sub>S is sold as a by-product. The performance of the process is dependent on the addition of sulphur, precipitation period, retention of copper precipitates in the thickener and other parameters. Addition of sulphur should be strictly controlled to obtain a high purity Cu<sub>2</sub>S precipitate. In this study, chemical principles and factors affecting the performance of SART process are discussed in detail. A general economic analysis of the process in view of capital and operating costs is also presented.

**Keywords:**Copper-gold Ores, Cyanide Leaching, Cyanide Recovery, SART Process

<sup>\*a</sup> Elif YILMAZ; elifkoc@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 36 40; orcid.org/0000-0001-8789-0007

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-8711-0784

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-9024-4196

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0003-4105-0912

## 1. Giriş

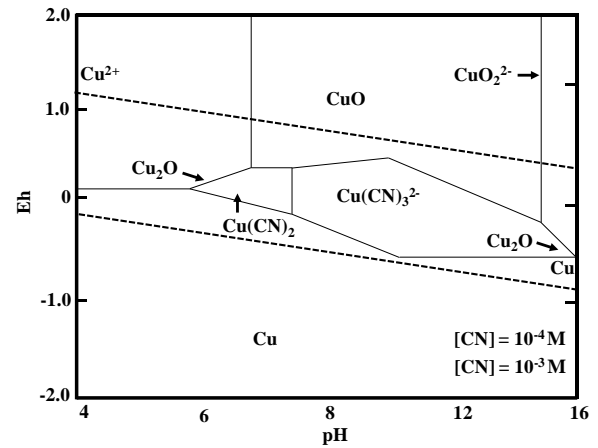
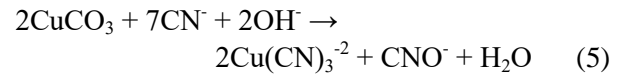
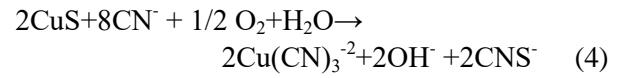
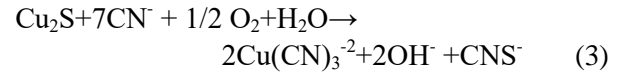
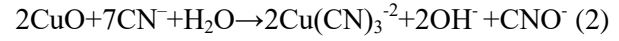
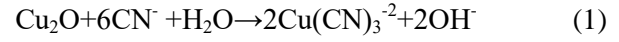
Siyanür liçi, seçimli bir yöntem değildir. Altın ve gümüşün yanı sıra altın cevherlerinde bulunan bazı mineraller de çözünerek siyanür ve oksijen sarfiyatını artırmaktadır (Fleming, 1992; La Brooy vd., 1994; Marsden ve House, 2006). Özellikle son yıllarda, Dünya’da ve ülkemizde, bakır içeriği yüksek cevherlerden altın kazanımı artmaktadır. Bakır minerallerinin siyanür çözeltilerindeki yüksek çözünürlüğü reaktif tüketimini artırmakta ve başta altın kazanımına olumsuz etkisi olmak üzere birçok teknik sorunlara neden olmaktadır (Sceresini ve Breuer, 2016). Yüksek siyanür tüketimi nedeniyle bu tür cevherler için uygun siyanür geri kazanım yöntemlerinin kullanılması teknik ve ekonomik açıdan bir zorunluluktur (Fleming, 2011). Siyanürün geri kazanımı amacıyla geliştirilen aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi (IX), solvent ekstraksiyon (SX), elektro-kazanım (EW) ve AVR gibi yöntemler/prosesler bulunmaktadır (Dai vd., 2012; Xie vd., 2013; Yılmaz vd., 2018). Bununla beraber, yüksek konsantrasyonda bakır içeren çözeltilerden siyanürün geri kazanımında karşılaşılan teknik zorluklar nedeniyle endüstriyel ölçekte uygulanan yöntemler sınırlıdır. SART prosesi (Sulphidisation, Acidification, Recycling and Thickening), bakır içeriği yüksek siyanür çözeltilerinden siyanürün geri kazanımını ve bakırın da yan ürün olarak elde edilmesini sağlayan endüstriyel bir proses olarak Dünya’da ve ülkemizdeki bazı tesislerde uygulanmaktadır (Botz vd., 2011; Adams, 2013; Estay, 2018).

Bu çalışmada, bakır minerallerin siyanür çözeltilerindeki davranışı ve bakır varlığının liç prosesinde oluşturduğu teknik sorunlar irdelenmiştir. SART prosesinin tarihi gelişimi ve temelleri detaylı olarak tartışılmıştır. Endüstriyel ölçekli SART tesislerinin özellikleri ve teknik performansları sunulmuştur. Ayrıca, prosesin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini etkileyen parametreler irdelenmiştir.

## 2. Bakır Minerallerinin Siyanür Çözeltilerinde Davranışı ve Altın Kazanımına Etkileri

Özellikle oksitli/karbonatlı ve ikincil sülfürlü bakır mineralleri siyanür çözeltilerinde yüksek oranlarda çözünmektedirler (Tablo 2) (Sceresini ve Breuer, 2016). Bazı bakır minerallerinin siyanür ortamında çözünmesi (1)-(5) no’lu tepkimeler ile gösterilebilir (Parga, 2011; Sceresini ve Breuer, 2016). Görüldüğü gibi, 1 mol bakır mineralinin çözünmesi için 3-8 mol CN<sup>-</sup> tüketilmektedir (1)-(5). Düşük siyanür

konsantrasyonlarında bakır, CuCN (K<sub>sp</sub>=3×10<sup>-20</sup>) halinde çökmektedir. Ortamda yeterli seviyede siyanür bulunduğu ise Cu(CN)<sub>n</sub><sup>1-n</sup> (2≤n≤4) şeklinde kompleksler oluşturarak çözünmektedir (1)-(5) (Dai vd., 2012). Bakır-siyanür çözeltilerinde (Cu-CN-H<sub>2</sub>O) bakır bileşiklerinin kararlı olduğu koşullar Şekil 1’deki Pourbaix (Eh-pH) diyagramında görülmektedir (Dai vd., 2012).



Şekil 1. Cu-CN-H<sub>2</sub>O sistemi için Eh-pH diyagramı (Sceresini ve Breuer, 2016)

Liç aşamasında bakırın çözünürlüğü, bakır minerallerinin türü ve siyanür konsantrasyonuna bağlı olduğu kadar cevherin tane boyutu, bakır tenörü, uygulanan liç yöntemi ve liç süresi gibi birçok parametreye bağlıdır. Örneğin, Tablo 1’de görüldüğü gibi, yığın liçi uygulanan farklı altın cevherlerinden çözünen bakır oranı (14-39%) cevherin özellikleri ve tane boyutuna göre değişmektedir (Estay, 2018).

Siyanür liçinde tipik reaktif tüketimleri cevherin mineralojik yapısı ve bileşimine bağlı olarak 0.25-2 kg NaCN/ton cevher arasında değişmektedir (Marsden ve House, 2006). Ancak, bakır içeriği yüksek cevherlerde siyanür tüketimi cevherdeki her %1 Cu için yaklaşık 30 kg/ton NaCN’dır

(Muir, 2011). Eğer, cevherde sülfürlü bakır mineralleri de bulunuyor ise tüketim 51.5 kg/ton'a kadar ulaşabilir (Sceresini, 2005). Buna göre, %1 Cu içeren bir altın cevherinin siyanür tüketimi normal koşullarla kıyaslandığında 26-206 kat (51.5 kg/ton'a karşı 0.25-2 kg/ton) daha yüksektir. Bu nedenle, cevherlerden siyanür liçi ile altın kazanımının ekonomik olabilmesi için cevherin bakır içeriğinin %0.5'den düşük olması gerekmektedir (Muir vd., 1991; Dai vd., 2012). Bas vd. (2015) yaptıkları bir araştırmada, %1.1 Cu içeren bir altın cevherinin (Mastra/Gümüştane) tipik koşullarda yapılan siyanür liçinde (1.5 g/L NaCN, 24 sa.), nispeten yüksek siyanür tüketimine (18 kg/ton) rağmen çok düşük (%6.7) altın kazanımı elde etmişlerdir (Şekil 2). Aynı liç süresinde bakırın önemli oranda (>%24 Cu)

çözündüğünü belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar, yüksek altın kazanımlarına (>%97) ulaşabilmek için yüksek siyanür konsantrasyonlarında (>5 g/L NaCN) çalışılması gerektiğini bildirmişlerdir.

**Tablo 1.** Yığın liçinde Au ve Cu kazanımları (Estay, 2018)

Parametre	Proje 1	Proje 2	Proje 3	Proje 4
Tane Boyutu (mm)	% 80-25.40	% 80-19.05	% 100-9.53	% 80-12.70
Au Tenörü (g/t)	0.4	0.67	1.51	0.61
Cu Tenörü (%)	0.05	0.07	0.07	0.04
Au Verimi (%)	65	55-70	65	81
Cu Verimi (%)	20	14	39	30
Atıkta Cu (%)	0.040	0.058	0.042	0.028

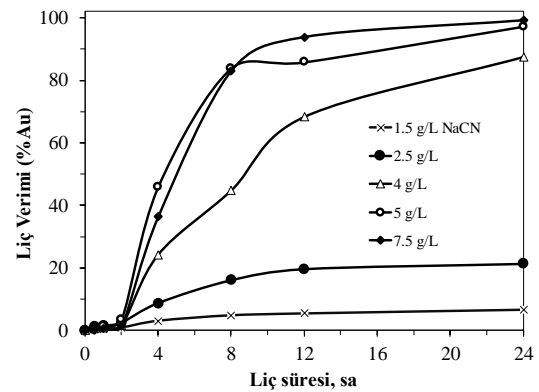
**Tablo 2.** Siyanür çözeltilerinde bakır minerallerinin çözünürlükleri (Tane boyutu: -150 µm; Cevherdeki bakır minerali içeriği: %0.183-0.267; Başlangıç NaCN kons.: %0.10; Sıvı/katı oranı: 10/1; Süre: 24 saat) (Sceresini ve Breuer, 2016)

Mineraller	Formülleri	24 saatte <sup>a</sup> çözünen toplam Cu (%)		6 saatte <sup>b</sup> oda sıcaklığında çözünme	
		23°C	45°C	g NaCN/g Cu	% Cu
Azurit	2CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	94.5	100	3.62	91.8
Malakit	2CuCO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	90.2	100	4.48	99.7
Kalkozin	Cu <sub>2</sub> S	90.2	100	2.76	92.6
Kovellin	CuS	-	-	5.15	95.6
Bakır	Cu	90.0	100	-	-
Kuprit	Cu <sub>2</sub> O	85.5	100	4.94	96.6
Bornit	FeS.2Cu <sub>2</sub> S.CuS	70.0	100	5.13	96.0
Enarjit	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	65.8	75.1	-	-
Tetrahedrit	(Cu,Fe,Ag,Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	21.9	43.7	-	-
Krikozol	CuSiO <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	11.8	15.7	-	-
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	5.6	8.2	2.79	5.8

<sup>a</sup> Hedley ve Tabachnick (1958)

<sup>b</sup> Lower ve Booth (1965) (Siyanür tüketimleri, birim bakır için harcanan NaCN miktarı olarak verilmiştir)

Çözeltideki bakır, sadece liç aşamasında değil altının çözeltiden kazanımı aşamasında da teknik zorluklara neden olmaktadır. Yüklü liç çözeltisinden altının kazanımı sırasında bakır da aktif karbonlara adsorplandığından dolayı altının adsorpsiyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bakırın aktif karbona adsorpsiyonu, çözelti koşullarına bağlı olarak bakır-siyanür türlerinin dağılımı ve bu türlerin aktif karbonlara adsorpsiyon eğilimi ile yakından ilişkilidir. Bakır-siyanür komplekslerinin aktif karbona adsorpsiyon eğilim sırası  $Cu(CN)_2^- > Cu(CN)_3^{-2} > Cu(CN)_4^{-3}$  şeklindedir (Adams vd., 2008; Fleming, 2011).



**Şekil 2.** Bakır içeren (%1.1 Cu) altın cevherinden altın kazanımına siyanür konsantrasyonunun etkisi (Bas vd., 2015)

Siyanür konsantrasyonu ve pH arttıkça  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$  ve  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{-3}$  türleri daha baskın hale geleceği için (Şekil 1), seçimli bir altın kazanımı için adsorpsiyon işleminin yüksek siyanür konsantrasyonu ( $\text{CN}:\text{Cu}>4$ ) ve pH koşullarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Fleming 2011; Dai vd., 2012). Ancak, adsorpsiyon işleminin yüksek siyanür konsantrasyonunda gerçekleştirilse dahi karbona adsorbe olan bakır miktarı altına eşit ve hatta daha yüksek olduğu bildirilmiştir (van Deventer vd., 2014).

Yüklü liç çözeltilerinden altın kazanımında çinko sementasyonu (Merrill-Crowe prosesi) uygulandığı durumda,  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$  kompleksi altın ile birlikte çökme eğiliminde olduğu için hem çinko tüketimini artırmakta hem de altının saflığını azaltmaktadır (Adams vd., 2008; González vd., 2013). Altının elektro-kazanım aşamasında, çözeltide (tipik olarak 200-1000 mg/L Au) bakır konsantrasyonu yüksek ise, altından daha elektronegatif olmasına rağmen altın ile birlikte katotta toplanabilmektedir. Bakır dışında civa, kurşun ve gümüş gibi metaller altından önce katotta indirgenerek akım verimini ve katot saflığını olumsuz etkileyebilmektedir (Habashi, 1999; Dai vd., 2012). Katotun bakır vd. metaller ile kirlenmesine bağlı olarak külçe altın saflığı da azalmaktadır (Fleming, 2010). Bakır içeren cevherlerinden altın kazanımında karşılaşılan teknik zorluklar nedeniyle bu tür cevherler için farklı prosesler önerilmektedir. Bakır ilk aşamada uzaklaştırmak için flotasyon (Bulatovic, 1997; Forrest vd., 2001), asit/alkali çözeltiler ile liç (Bas vd., 2012a; Yazici vd., 2015) veya Sceresini prosesi uygulanabilir. Farklı araştırmacılar, siyanür liçi öncesi ön havalandırma (Kondos vd., 1995; Bas vd., 2012a; Deschênes vd., 2012) veya kurşun nitrat ilavesinin (Deschênes ve Prud'homme, 1997; Deschênes vd., 2012) etkilerini de test etmişlerdir. Bakırlı cevherlerde daha etkin altın kazanımları sağlayan tiyosülfat, amonyaklı siyanür gibi alternatif liç sistemleri de uygulanabilir (Muir ve Aylmore, 2005; Bas vd., 2011, 2015; Sceresini ve Breuer, 2016; Ahlatcı, 2016). Son yıllarda yaygınlaşan endüstriyel bir yöntem de, yüksek siyanür konsantrasyonlarında ( $\text{CN}:\text{Cu}>4$ ) liç işlemi gerçekleştirildikten sonra çözeltiden siyanürün (ve yan ürün olarak bakırın) SART prosesi ile geri kazanılmasıdır (Dai vd., 2012; Fleming ve Melashvili, 2016). Siyanürün geri kazanımı reaktif kullanımının azaltılması, atık barajlarının daha düşük kapasitede yapılmasını ve atık çözeltilerin daha az toksik bileşen içermesine bağlı olarak potansiyel çevresel riskleri azaltmasını

sağlaması nedeniyle önemli teknik ve ekonomik avantajlar sunmaktadır (Fleming, 2016).

### 3. SART Prosesi

Bakır içeriği yüksek siyanür çözeltilerinden siyanürün ve bakırın geri kazanılması için geliştirilmiştir (Fleming, 2010; Estay vd., 2012; Cuenca vd., 2012). SART prosesi, yığın liçinden elde edilen yüklü liç çözeltilerine (kolon içinde karbon (CIC) öncesi) veya tank/yığın liçini takiben adsorpsiyon sonrası (CIL/CIP/CIC) devresi sonundaki boş çözeltilere uygulanabilmektedir (Ford vd., 2008; Baker vd., 2017). Yığın liçi sonrası katı sıvı ayırımına gerek duyulmadığı için çözelti doğrudan SART tesisine beslenebilir. SART prosesi adsorpsiyon öncesi uygulandığında çözeltideki bakırın karbona adsorbe olmasının önüne geçilmekte ve böylece yüklü karbondan altının sıyırılması öncesinde bakırın sıyırılmasına ihtiyaç kalmamaktadır (SGS, 2008).

#### 3.1. Tarihsel Gelişimi

SART prosenin geçmişten günümüze kadar gelişimi Tablo 3'te özetlenmiştir. SART prosesi, 1990'lı yıllarda SGS Lakefield Research (Kanada) tarafından geliştirilmiş ve pilot çapta yapılan testlerden (Lobo-Marte projesi) elde edilen ilk araştırma sonuçları MacPhail vd. (1998) tarafından yayımlanmıştır (Fleming ve Melashvili, 2016). Proses, endüstriyel ölçekte ilk kez Telfer altın madeninde (Avustralya) uygulanmıştır (Ford vd., 2008). Daha sonraki yıllarda (2006-2013) farklı ülkelerde SART tesisleri faaliyete geçmiştir (Tablo 3). SART prosesi nispeten yeni bir teknoloji olmasına bağlı olarak endüstriyel ölçekli SART tesisi sayısı henüz 10'un altındadır (Baker vd., 2017; Estay, 2018).

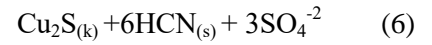
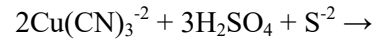
#### 3.2. SART Prosesinin Kimyasal Esasları

Proses esas olarak sülfürleştirme (sulphidisation), asitleştirme (acidification), geri kazanım (recycling) ve koyulaştırma (thickening) aşamalarından oluşmaktadır. Prosesin temel adımlarını gösteren bir akım şeması Şekil 3'te sunulmuştur. Sülfürleştirme aşamasında siyanür çözeltilisine  $\text{Na}_2\text{S}$  veya genellikle  $\text{NaHS}$  ilave edilmektedir. Hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) gazı da sülfür kaynağı olarak kullanılabilir. Hidrojen sülfürün ( $\text{H}_2\text{S}$ ), biyolojik süreçler ile elementel sülfürden veya sülfattan indirgenerek üretilmesi de mümkündür (Lawrence ve Lopez, 2011).

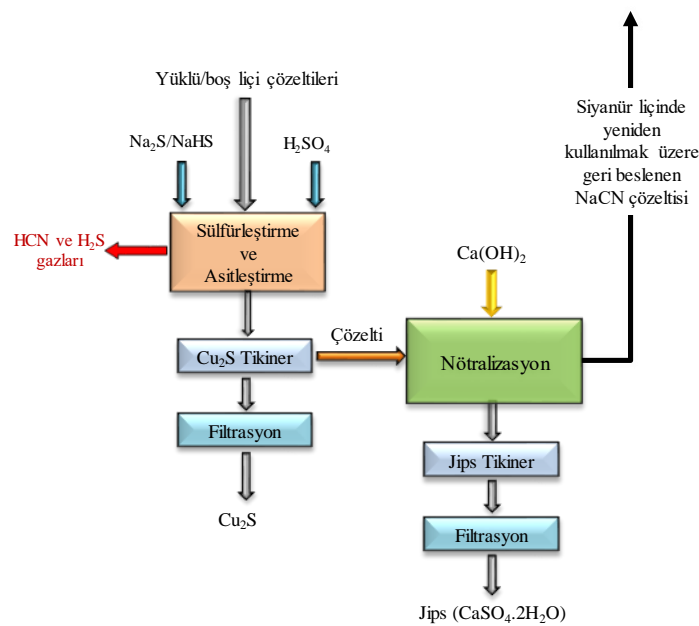
**Tablo 3.** SART prosesinin tarihsel gelişimi (Estay, 2018)

Yıl	Prosesin Gelişimi
1986	Potter vd. (1986) SART Prosesinin temelini oluşturan MNR Prosesini patentini almıştır.
1998	MacPhail vd. (1998) Lobo-Marte projesinin pilot tesisi hakkında SART Prosesi ile ilgili ilk araştırma sonuçlarını yayınlamışlardır.
2001	Barter vd. (2001) Telfer SART Prosesinin pilot tesisi ve yapılan test çalışmaları ile ilgili ilk makaleyi yayınlamışlardır.
2006	İlk endüstriyel SART tesisi (60 m <sup>3</sup> /sa kapasite) (Telfer/Avustralya) devreye alınmıştır.
2008	Luvia de Oro SART Tesisi Meksika'da devreye alınmıştır. Tesiste biyo-sülfür kullanılmıştır.
2008	1400 m <sup>3</sup> /sa kapasiteli Yanacocha SART Tesisi Peru'da devreye alınmıştır.
2009	140 m <sup>3</sup> /sa kapasiteli Gedabek (Azerbaycan) SART Tesisi devreye alınmıştır.
2010	Türkiye'de 120 m <sup>3</sup> /sa kapasiteli Mastra SART Tesisi faaliyete başlamıştır.
2012	Maricunga 'da (Şili) 750 m <sup>3</sup> /sa kapasiteli en büyük ikinci SART Tesisi devreye alınmıştır.
2013	Türkiye'deki ikinci SART Tesisi olan Çöpler SART Tesisi (380 m <sup>3</sup> /sa) devreye alınmıştır.

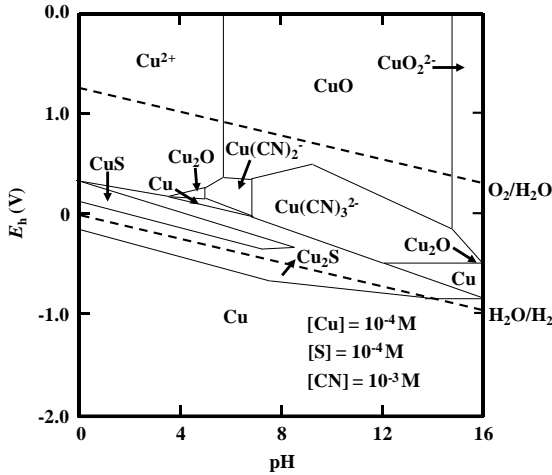
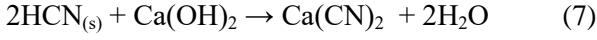
Sülfür ilavesinin ardından çözelti, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilavesiyle asitleştirilerek pH 4-5'te bakırın Cu<sub>2</sub>S (sentetik kalkozin) formunda (logK=34.60) (Zhang vd., 1997) çökmesi (6) sağlanmaktadır. Cu-S-CN-H<sub>2</sub>O sisteminde bakır bileşiklerinin kararlı olduğu Eh-pH bölgeleri Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 5'te Cu-S-CN sistemi için bakır bileşiklerinin pH 'ya göre dağılımı ve asidik koşullarda (<pH 7) Cu<sub>2</sub>S'nin oluşumu görülmektedir. Asitleştirme aşamasında oluşan HCN ve H<sub>2</sub>S gazlarından kaynaklanabilecek çevresel sorunları engellemek amacıyla asitleştirme işlemi sızdırmaz kapalı tanklarda yapılmaktadır ve oluşan gazlar nötralize edilmek üzere gaz yıkama sistemine (pH 10-11) aktarılmaktadır (Ford vd., 2008).



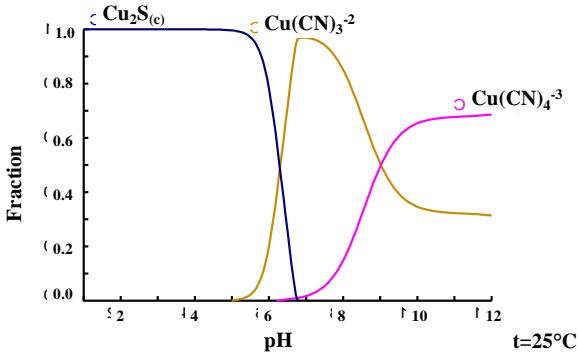
Asitleştirme işlemi sonrası Cu<sub>2</sub>S çökelekleri katı/sıvı ayırımı (tikinerleme + filtrasyon) yapılarak asidik çözeltiden ayrılır. SART prosesinde, doğrudan filtrasyon yerine önce tikinerlerde koyulaştırma işlemi ile çökelek katı oranı %10-15'e artırılarak filtrasyon için gerekli pulp hacmi önemli ölçüde azaltılır (Sceresini ve Breuer, 2016). Bu filtrasyon tesisi, yüksek ilk yatırım giderlerinin azaltılması bakımından önemlidir.

**Şekil 3.** SART prosesinin genel akım şeması (Nodwell vd., 2012'den değiştirilerek)

Katı/sıvı ayırımı sonrasında kireç ilavesi ile çözelti pH'sı 10.5-11'e yükseltilir. Kireç tüketimi (tipik 0.5-0.9 kg Ca(OH)<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) çözeltideki sülfat ve karbonat iyonlarına bağlı olarak değişmektedir (Estay, 2018). Bu sırada oluşan HCN alkali çözelti içinde absorbe edilerek Ca(CN)<sub>2</sub> formunda siyanür geri kazanılmaktadır (7) (Şekil 3) (Fleming, 2011; Estay vd., 2012; Xie vd., 2013).



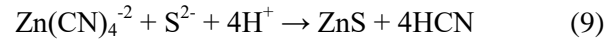
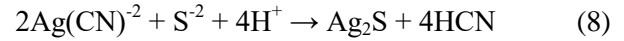
Şekil 4. Cu-S-CN-H<sub>2</sub>O sisteminde bakır için Eh-pH diyagramı (Marsden ve House, 2006)



Şekil 5. Cu-S-CN sisteminde pH'ya bağlı olarak bakır türlerinin değişimi (Cu=16 mM (1 g/L); CN: 79 mM (3.9 g/L); CN:Cu (molar)=5; [HS<sup>-</sup>]=32 mM; 25°C) (Medusa, 2009)

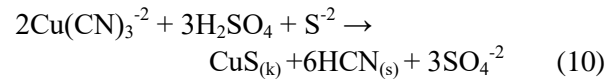
SART prosesini etkileyen temel parametreler NaHS konsantrasyonu (S:Cu oranı), pH, siyanür konsantrasyonu (CN:Cu oranı) ve süredir. Etkin bir çöktürme işlemi için sülfür ilavesinin uygun miktarda yapılması gerekmektedir. Çözeltide bulunan bakır dışındaki diğer metallerin de konsantrasyonuna bağlı olarak genelde NaHS ilavesi stokiyometrik ihtiyacın üzerinde (%110-120) seçilmektedir (Ford vd., 2008). Örneğin, Telfer SART tesisinde sülfür dozajı stokiyometrik oranın %116-138'i (pH 4.5), Yanacocha (Peru) tesisinde %120-140'ı (pH 4.0-4.5), Gedabek

(Azerbaycan) tesisinde %120'si (pH 5.5) ve Mastra (Türkiye) tesisinde %115'i (pH 4.0-5.0) olarak ilave edilmektedir (Estay, 2018). Aşırı sülfür ilavesi sülfür tüketimini artırmaktadır (Estay vd., 2013). Ayrıca, aşırı sülfür ilavesi nedeniyle çöktürme aşamasında bakır ile beraber çinko ve gümüş gibi metaller de sülfür bileşikleri (Ag<sub>2</sub>S veya ZnS) halinde çökerek Cu<sub>2</sub>S çökeleğinin saflığını azaltmakta, gümüş kaybına neden olmaktadır (8) ve (9) (Marsden ve House, 2006; Xie vd., 2013; Estay, 2018). Dreisinger vd. (2008) SART prosesinde yüklü siyanür liçi çözeltisinden bakır ile beraber molibdenin Mo<sub>2</sub>S olarak çökmesine bağlı olarak çökelekte ≈%1 oranında molibden tespit etmiştir. Benzer şekilde, arsenik de sülfür bileşiği halinde (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) bakır ile beraber çökmektedir (Lopez vd., 2014).



Çinko, alkali siyanür çözeltilerinde de ZnS olarak çöktürülebilir. Bundan dolayı, çinko içeriği yüksek siyanür çözeltilerinden çinkonun uzaklaştırılması için Velardena prosesi geliştirilmiştir (Marsden ve House, 2006). Yeni yapılan bir çalışmada (Koc vd., 2016), Na<sub>2</sub>S ilave edilen alkali siyanür çözeltilerinden (pH 11.5) çinko/gümüşün altından seçimli olarak (≥96%) çöktürülebildiği ve aynı koşullarda bakırın sınırlı (≤%11) olarak çöktüğü bildirilmiştir.

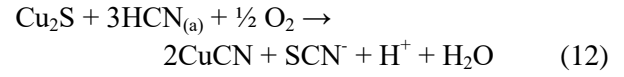
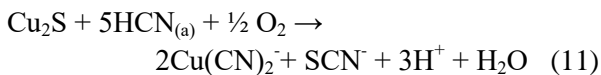
Çöktürme sırasında meydana gelen yan tepkimeler, reaktif (sülfür, siyanür) sarfiyatının artmasına ve Cu<sub>2</sub>S çökeleğinin saflığının azalmasına neden olmaktadır. Teorik olarak saf Cu<sub>2</sub>S çökeleği %79.9 Cu içermesine karşın SART prosesinde elde edilen çökeleğin bakır içeriği ortalama %65'dir (Estay vd., 2013). Bakırın Cu<sub>2</sub>S formunda çöktürülmesi istenir; ancak, proses koşullarına (çözelti kimyası, sülfür dozajı, pH vd.) bağlı olarak CuS (kovellin) (logK=22.20; Zhang vd., (1997) de oluşabilir (10) (Estay vd., 2013).



Aşırı sülfür ilavesine (ve diğer çöktürme koşullarına) bağlı olarak yüklü liç çözeltisinden altın kayıpları olabilmektedir (Botz vd., 2015; Fleming ve Melashvili 2016). Dreisinger vd. (2008), bir Cu-Au cevherinin yüklü liç çözeltisinden SART prosesiyle elde ettikleri bakır çökeleğinde 3-13 g/t Au tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada (Botz vd., 2011), çöktürme aşamasında altının bir kısmının, muhtemelen

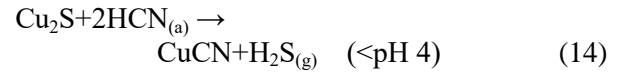
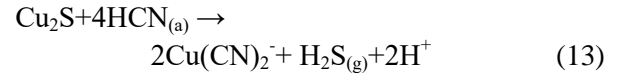
çökeleğe adsorbe olarak katı kısımda kaybedildiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, çözeltideki altın konsantrasyonunda bir düşüş gözlemlemiş ve çökeleğin altın içeriğini 7-36 g/t Au olarak belirlemişlerdir. Botz vd. (2015), bir SART tesisinde (Yanacocha/Peru) çöktürme aşamasında altın ve gümüş kaybının sırasıyla %1.6 ve %98.7 olduğunu belirtmiştir. Ford vd. (2008) tarafından Şili'deki (Maricunga) bir SART tesisine yönelik yapılan testlerde, yüklü çözeltideki altının az bir kısmının (<%0.5) bakır sülfür çökeleğinde kaybedildiği belirtilmiştir. Çökeleğin Au içeriği 3-7 g/t olarak belirlenmiştir. Aynı araştırmacılar (Ford vd., 2008), jips çökeleğinde de çok düşük seviyede (0.1 g/t) altın tespit etmişlerdir. Bazı araştırmacıların bulgularının aksine, Meksika'daki bir yıgın liçi tesisinde, adsorpsiyon aşaması öncesi SART uygulanmış ve altın kaybının çok düşük olduğu (Cu<sub>2</sub>S kekinin gözenek suyunda <%0.1) bildirilmiştir (Baker vd., 2017). Bununla beraber, ergitme tesislerine gönderilen bakır sülfür çökeleğindeki altın için ilave ödeme yapılmaktadır.

Çöktürme aşamasında karşılaşılan altın kayıpları ve üretilen bakır çökeleğinin düşük saflığı vd. teknik sorunlar nedeniyle, çöktürmeye etki eden sülfür dozajı, siyanür konsantrasyonu, pH vd. parametreler hassas bir şekilde kontrol edilmelidir. Simons ve Breuer (2013a), SART prosesinde S:Cu oranı (0.4-0.6), CN:Cu oranı (3-5) ve pH'nın (4-5.5) siyanür geri kazanımına (ve bakırın çökmesine) etkilerini araştırmışlar ve uygun koşullarda yüksek (>%95) siyanür ve bakır kazanımına ulaşmışlardır. Araştırmacılar, test ettikleri koşullarda (pH 4-5.5) pH'nın önemli bir etkisi olmadığını bulmuşlardır. Aynı çalışmada, S:Cu oranının prosesi etkileyen en önemli parametre olduğu belirlenmiştir. S:Cu oranının stokiyometrik orandan (S:Cu=0.50) yüksek (S:Cu=0.55-0.60) seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun nedenini, asitleştirme sırasında sülfürün bir kısmının tiyosülfat ve tiyosiyanata oksitlenerek tüketilmesine bağlamışlardır. Araştırmacılar, ayrıca, Cu<sub>2</sub>S yüzeylerinin katalitik etkisiyle de sülfürün oksitlenebileceğini ileri sürmüşlerdir. Sülfürün dışında, Cu<sub>2</sub>S de oksijen varlığında oksitlenerek bakır-siyanür ve tiyosiyanat (SCN<sup>-</sup>) gibi bileşiklere dönüşerek (11)-(12) sülfür tüketimini artırabilmektedir (Simons ve Breuer, 2013a). Bakırın CuCN halinde çökmesi de bakır çökeleğinin saflığını ve niteliğini olumsuz yönde etkilediği için istenmeyen bir durumdur.

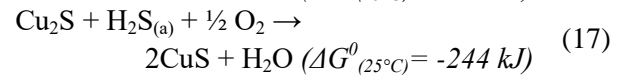
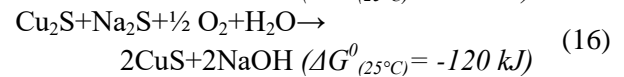
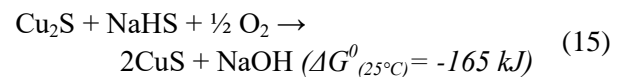


Sıcaklığın (4-20°C) SART prosesini önemli ölçüde etkilemediği bildirilmiştir (Ford vd., 2008). Çöktürme süresi de SART performansını belirleyen önemli parametrelerden biridir. Sülfür ilavesi sonrasında bakır kısa sürelerde (10-15 dk.) çökmektedir (Ford vd., 2008; Simons ve Breuer, 2013a,b). Ancak, çok uzun sürelerde, çöken bakır çözünmeye başlayabilmektedir (CuS formuna geçmektedir) (Simons ve Breuer, 2013a ve b). Simons ve Breuer (2013a), bakırın çok kısa sürede (<10 dk.) çökmesini takiben çözeltideki konsantrasyonunun artmaya başladığını (yani çözüldüğünü) tespit etmiştir. Bu artışı, uzun çöktürme sürelerinde Cu<sub>2</sub>S'nin çözünmesi ve/veya oksitlenerek CuS haline dönüşmesine bağlamışlardır.

Cu<sub>2</sub>S'nin bakır siyanür kompleksi halinde çözünmesi (13) no'lu tepkimede gösterilmiştir. Yüksek asidik koşullarda (<pH 4) CuCN oluşmaktadır (14) (Şekil 5). Bu tepkimeler (13) ve (14) sonucunda H<sub>2</sub>S gazı açığa çıkmaktadır (Simons ve Breuer, 2013a). Bakırın çözünmesi, Cu<sub>2</sub>S ürün miktarının azalmasına ve geri kazanılan çözeltideki bakırın artışına bağlı olarak tesis performansını olumsuz etkilemektedir.

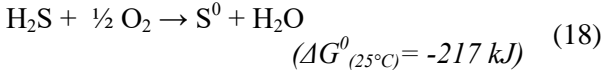


Cu<sub>2</sub>S'nin sülfür iyonları ve oksijen varlığında CuS'ye dönüşmesi (bakırın Cu(I)'den Cu(II)'ye oksitlenmesi) (15)-(17) no'lu tepkimeler ile gösterilebilir (Simons ve Breuer, 2013a; Fleming ve Melashvili, 2016). Sülfür, asidik (<pH 6) çözeltelerde H<sub>2</sub>S halinde bulunduğu için SART prosesi koşullarında (pH 3-5) (17) no'lu tepkime baskın olacaktır (Fleming ve Melashvili, 2016).



Sülfürün bir kısmı da hidrojen sülfürün (H<sub>2</sub>S) doğrudan oksijen ile tepkimesi sonucunda elementel sülfür (18), tiyosülfat ve politiyonatlara dönüşerek Cu<sub>2</sub>S ile beraber katıda toplanabilmektedir (Fleming ve Melashvili, 2016).

Bu durum, katıdaki S:Cu oranının yükselmesine ve dolayısıyla bakır içeriğinin düşmesine neden olabilmektedir.



Fleming ve Melashvili (2016), yukarıdaki tepkimenin (17)  $\text{Cu}_2\text{S}$ 'nin  $\text{CuS}$ 'e dönüşme tepkimelerine (15)-(17) göre termodinamik olarak daha istemli olduğunu belirterek bakır çökeleğindeki S:Cu oranı artışının buna (15)-(17) bağlanabileceğini ifade etmişlerdir. S:Cu oranları açısından,  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{S}^0$ 'den oluşan bir  $\text{Cu}_2\text{S}$  çökeleğinin  $\text{CuS}$ 'den (S:Cu $\approx$ 1) kimyasal olarak farklı olduğunu belirlemek zordur. Ayrıca,  $\text{Cu}_2\text{S}$ 'nin  $\text{CuS}$ 'e dönüşmesi sırasında bakırın Cu(I)'den Cu(II)'ye oksitlendiği genel bir kabul olmasına rağmen, Goh vd. (2006) tarafından yapılan bir karakterizasyon çalışmasında kovellin mineralindeki (CuS) bakırın, kabul edilen aksine Cu(II) formunda değil Cu(I) formunda olduğu ileri sürülmüştür. Araştırmacılar,  $\text{CuS}$ 'nin aslında  $\text{Cu}_2\text{S}_2$  halinde (Cu(I) ve 2 sülfür atomu (biri  $\text{S}^{2-}$  diğeri  $\text{S}^0$ )) olduğunu ifade etmişlerdir. Fleming ve Melashvili (2016), bakır çökeleğindeki S:Cu oranı artışının  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$  ve  $\text{S}_2^-$  türlerinin metal sülfürlere ( $\text{Cu}_2\text{S}$  gibi) yüksek adsorpsiyon eğilimi ile de ilişkilendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Çökeleğin S:Cu oranının teorik olarak olması gereken 1:2 ( $\text{Cu}_2\text{S}$  için) orandan yüksek olması ve 1:1'e yaklaşması yukarıda tartışılan birçok farklı neden(ler)e ( $\text{Cu}_2\text{S}$ 'in  $\text{CuS}$ 'ye dönüşümü,  $\text{S}^{2-}$ 'nin  $\text{S}^0$ 'a dönüşümü,  $\text{Cu}_2\text{S}$  yüzeyine sülfür adsorpsiyonu) bağlanabilir. Bununla beraber, bu reaksiyonlar yavaştır ve aşırı sülfür (S:Cu > 0:5-1) ve oksijen varlığında gerçekleşmektedir. Çökelekteki yüksek S:Cu probleminin, sülfür ilavesinin hassas kontrol edilmediği, yarı-sürekli çalışan ve dolayısıyla çökeleğin oksijene uzun süre maruz kaldığı SART tesislerinde yaşandığı bildirilmiştir (Fleming ve Melashvili, 2016).

Aşırı sülfür ilavesinin neden olduğu başka bir teknik sorun da, bakır çökeleklerinin ince boyutlu olması ve buna bağlı olarak tikinerde daha zor çökmesidir (Fleming ve Melashvili, 2016). Çökmenin zorlaşması, metal sülfür bileşiklerine ( $\text{Cu}_2\text{S}$  gibi) çözeltideki serbest sülfür türlerinin ( $\text{HS}^-$  ve  $\text{S}_2^-$ ) adsorbe olarak tane yüzeyini negatif hale getirmesi ve bunun sonucunda da tanelerin birbirini itmesine bağlanabilir (Mokone vd., 2010; Fleming ve Melashvili, 2016). Düşük pH koşulları ( $\text{H}^+$  iyonlarının artması) negatif yüzey yükünü dengeleyerek çökme hızının artmasını sağlamaktadır. Fleming ve Melashvili (2016)

stokiyometrik S:Cu oranında (0.5) ve S:Cu=1'de çöktürme testleri yaparak bakır çökeleklerinin/topaklarının tane boyutlarını incelemiştir. Stokiyometrik orandaki testte elde edilen ürünün tane boyutunun, S:Cu $\approx$ 1 oranında elde edilen ürünün boyutuna göre çok daha iri (bazıları >1 mm) olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, aşırı sülfür ilavesinin oluşturduğu teknik sorunlar nedeniyle S:Cu oranının stokiyometrik oranı (0.50) aşmaması gerektiğini ileri sürmüştür.

SART tesislerinde,  $\text{Cu}_2\text{S}$  kristal oluşumunu/büyümesini ve dolayısıyla tikinerleme işlemini hızlandırmak amacıyla çökelek içeren çözeltinin bir kısmı reaktöre geri beslenmekte yani aşılama yapılmaktadır. Genel kabulün aksine, Fleming ve Melashvili (2016) SART prosesinde uygulanan aşılama işleminin çökeleklerin büyümesine olumlu bir katkısının olmadığını deneysel olarak ortaya koymuştur.

Tikinerleme aşamasında, tanelerin topaklanması ve böylece çökme süresinin hızlandırılması, berrak bir üst akım temini, katı oranı yüksek ve kolay filtre edilebilir bir alt akım elde edilmesi amacıyla flokülant ilave edilmektedir. Flokülant ilavesinin önemli bir avantajı, alt akımdaki katı yoğunluğunun artmasına ve filtrasyon özelliklerinin (filtrasyon hızı ve filtre keki nem oranı) iyileşmesine bağlı olarak daha küçük bir filtrasyon ünitesini yeterli kılmasıdır. Bu da yatırım maliyetini olumlu etkileyen bir faktördür. Flokülant kullanılmaması 2 önemli dezavantaj içermektedir (Fleming ve Melashvili, 2016):

- i) Çökme hızının yavaşlamasına bağlı olarak daha yüksek bir tikiner gerekli olacağı için yatırım maliyeti artar,
- ii) Üst akıma kaçan ince boyutlu  $\text{Cu}_2\text{S}$  taneleri alkali siyanür çözeltisinde çözünür; ancak, bu da proste (liç+SART) asit, baz ve sülfür tüketimini artırır.

Flokülant kullanımının bilinen avantajlarına rağmen, SGS tarafından yapılan bir pilot tesis çalışmasında, flokülant kullanılmadığı durumda daha yüksek katı oranında (%40-50'ye karşı %10-15) ve daha kolay filtre edilebilen bir alt akım elde edilmiştir (Fleming ve Melashvili, 2016). Ayrıca, ilginç bir şekilde, Fleming ve Melashvili (2016)'nin yaptığı bir çalışmada, flokülant ilavesinin çökeleklerin tane boyutuna önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur. Fleming ve Melashvili (2016), flokülant ilave edildiğinde endüstriyel SART tesislerinde filtrasyon



aşamasında önemli teknik zorluklar yaşandığı için flokülant kullanılmamasını önermektedirler.

Fleming ve Melashvili (2016), SART prosesinde iyi kalitede ve kolay K/S ayırımı yapılabilen bir  $\text{Cu}_2\text{S}$  çökeleği elde edebilmek için aşağıdaki koşulların sağlanması gerektiğini ifade etmiştir:

- Çözeltilinin bakır içeriği çok yüksek olsa bile aşırı sülfür ilavesinden kaçınılmalı (S:Cu oranı 0.50'yi aşmamalı),
- Çökme süresi pH 3-5'ta mümkün olduğunca kısa tutulmalı,
- Sülfür ilavesi düşük dozajlar şeklinde yapılmalı

- Oksijen ile teması mümkün olduğunca engellenmeli,
- Koyulaştırma aşamasında flokülant kullanılmamalı,
- SART prosesi kesikli veya yarı-kesikli değil, sürekli çalıştırılmalıdır.

SART tesislerinde dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da bakır sülfür çökeleklerinin yanma eğilimidir. Bazı SART tesislerinde depolama alanlarındaki bakır sülfürlerin kendiliğinden yanmaya başladıkları bildirilmiştir (Estay vd., 2013). Bu nedenle, bakır sülfür çökeleklerinin depolandığı alanlar yanma riskini azaltacak şekilde seçilmelidir. Tablo 4'de SART prosesinin avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

**Tablo 4.** SART Prosesinin avantaj ve dezavantajları (Mudder ve Botz, 2001; Fleming, 2003; Breuer vd., 2005; Ritcey, 2005; Deveci vd., 2006; Marsden ve House, 2006; SGS, 2009; Botz vd., 2011; Fleming, 2011; Dai vd., 2012; SGS, 2013; Xie vd., 2013 ; Estay vd., 2013; Simons ve Breuer, 2013a; Sceresini ve Breuer, 2016; Baker vd., 2017)

Avantajlar	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Siyanür bozundurma maliyetleri önemli ölçüde azalmakta</li> <li>✓ Bakır içeren çözeltiler için uygun</li> <li>✓ Bakır <math>\text{Cu}_2\text{S}</math> halinde yan ürün olarak kazanılmakta</li> <li>✓ Daha yüksek saflıkta altın külçesi eldesi edilmekte</li> <li>✓ Aktif karbona adsorbe olan bakır miktarının azalması (eğer adsorpsiyon öncesi uygulanıyorsa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nispeten yeni bir teknoloji, endüstriyel ve kesiksiz çalışan tesis sayısı sınırlı</li> <li>- Maliyet, işletilebilirlik ve metalürjik performansı hakkında bilgi/tecrübe eksikliği var</li> <li>- İşletme maliyeti yüksek</li> <li>- Kontrolü zor</li> <li>- Çöktürme aşamasında altın/gümüş kayıpları mümkün (çökelekte <math>\leq 36</math> g/t Au)</li> <li>- Berrak çözeltilere uygulanabilir (K/S ayırımı gerekli)</li> <li>- AVR prosesinde olduğu gibi, geri kazanılan siyanürü daha konsantre hale getirmemektedir</li> <li>- Çinko vd. metaller de çökerek <math>\text{Na}_2\text{S}/\text{NaHS}</math> tüketimini artırır</li> <li>- <math>\text{Na}_2\text{S}/\text{NaHS}</math> ilavesi hassas kontrol gerektirir</li> <li>- Zararlı HCN ve <math>\text{H}_2\text{S}</math> gazları oluşumu</li> <li>- Yüksek asit (&gt;pH 10.5'dan pH 4-5'e) ve baz tüketimi (nötralizasyon aşaması)</li> <li>- Asitleştirme kapalı-sızdırmaz tanklarda gerçekleştirilmeli</li> <li>- Bakır sülfürün kendiliğinden yanması söz konusu olabilir</li> </ul>

### 3.3. Endüstriyel Uygulamalar

Dünya'daki bazı endüstriyel SART tesisleri Tablo 5'de sunulmuştur. SART prosesinin uygulanmasına yönelik bazı proje çalışmaları Casino (Kanada), Caspiche (Şili), Lobo-Marte (Şili) ve Luiiri (Zambiya) tesislerinde devam etmektedir (Estay, 2018). SART tesislerinde (Tablo 5) tipik siyanür geri kazanım verimleri >%65 ve bakır kazanım verimleri >%80'tir (Cuenca vd., 2012; Adams, 2013). Mevcut SART tesislerinin bir kısmı maden sahasına uzak ve küçük tesislerdir. Büyük çoğunluğu ise sürekli (continuous) çalışmamaktadır. Bu nedenlere bağlı olarak, SART prosesinin gerçek maliyeti, işletilebilirliği ve metalürjik performansı hakkında bilgi ve tecrübe eksikliği bulunmaktadır (Baker vd., 2017).

SART prosesinin endüstriyel olarak ilk kez uygulandığı yer olan Telfer madeninde, 1998 ve 2001 yılları arasında tesiste işlenen cevherin bakır tenörünün 128 g/ton'dan 1418 g/ton'a yükselmesi ile birlikte tesiste bazı teknik zorluklar ile karşılaşmıştır. Kabul edilebilir altın kazanımlarına ulaşmak için liç işleminde (CIL) siyanür konsantrasyonunun yükseltilmesi, atık barajına gönderilen siyanür seviyesinin ve dolayısıyla hem siyanür bozundurma hem de yeni siyanür alımı maliyetinin artmasına neden olmuştur. Teknik zorlukları aşmak ve özellikle yükselen maliyetleri azaltmak amacıyla farklı seçenekler değerlendirilmiş ve SART prosesinin uygulanmasına karar verilmiştir (Barter vd., 2001).

Yığın liçi uygulanan Peru'daki Yanacocha SART tesisine ait akım şeması Şekil 8'de sunulmuştur. Yüklü liç çözeltisi (5-35 mg/L Ag) doğrudan SART prosesine gönderilmektedir (Tablo 5) (Estay, 2018). SART tesisinden çıkan bakır uzaklaştırılmış yüklü liç çözeltisi, altın kazanımı için aktif karbon kolonlarına (CIC) gönderilmektedir. Yığın liçi uygulanan Maricunga (Şili) tesisinin akım şeması Şekil 7'de gösterilmiştir (Adams, 2013). SART tesisinde geri kazanılan siyanür çözeltisi yeniden yığın liçine beslenmektedir (Şekil 7). Benzer bir yığın liçi tesisi Lluvia de Oro'da (Meksika) bulunmaktadır. Bu tesise 2008 yılında, ADR devresi çıkışı boş çözeltinin beslendiği bir SART tesisi entegre edilmiştir (Baker vd., 2017).

Bakırın yanı sıra çinko içeriği yüksek cevherler için de SART/Velardena prosesinin uygulanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Kanada'lı bir firma tarafından çinko içeriği yüksek bir gümüş cevherine (73.4 g/t Ag, %2.79 Zn) (Sierra Mojada Projesi, Coahuila/Meksika) yönelik bir proje yürütülmektedir (Barry,

2013a,b,c ve 2018). Metalurjik testlerde, cevherdeki çinko minerallerinin siyanürde çözünürlüğünün yüksek olduğu belirlenmiştir. Kurulması planlanan tesisin [kırma/öğütme]-[VAT liçi]-[Merril Crowe prosesi]-[SART prosesi]-[Pb flotasyonu] süreçlerini içermesi, yüksek çinko içerikli (%63-64) bir çinko sülfür çökeleğinin elde edilmesi öngörülmüştür (Şekil 6) (Barry, 2013a). Ön metalurjik testlerde %75-80 gümüş kazanımına ulaşılmıştır. SART prosesine yönelik ön testlerde yüksek (>%98) siyanür geri kazanımına ve %40-50 çinko kazanımına ulaşılmıştır (Barry, 2013a,c).

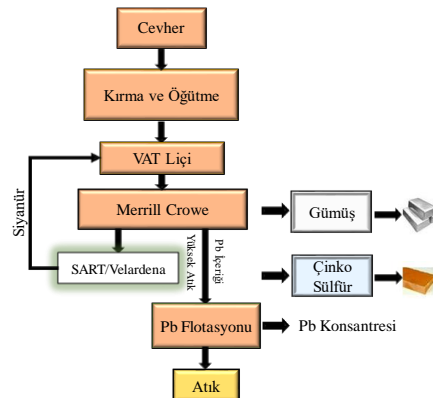
Ülkemizde bakır içeriği yüksek cevherlerden altın üretimi artmaktadır (Yılmaz vd., 2018). Bu tür cevherlerden altın kazanımı sırasında teknik ve ekonomik zorluklarla karşılaşmaktadır (Corrans ve Kyle, 2000; Fleming, 2011). Bu nedenle, bakırın olumsuz etkilerini kontrol etmek amacıyla bazı tesislere SART prosesi kurulmuştur (Botz vd., 2011; Nodwell vd., 2012). Mastra altın madenine ait akım şeması Şekil 9'da sunulmuştur.

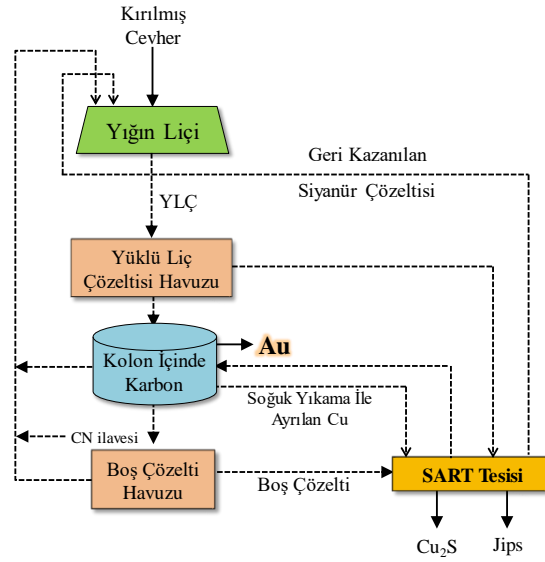
**Tablo 5.** Dünya'daki SART tesisleri ve teknik detayları (YLÇ: Yüklü liç çözeltisi) (Cuenca vd., 2012 ve Estay, 2018'den derlenerek)

Tesis	Telfer (Avustralya)	Yanacocha (Peru)	Lluvia de Oro (Meksika)	Gedabek (Azerbaycan)	Mastra (Türkiye)	Maricunga (Şili)	Çöpler (Türkiye)
Başlangıç	2006	2008	2008	2009	2010	2012	2013
Liç türü	Tank liçi+ CIL	Yığın liçi <sup>b</sup>	Yığın liçi	Yığın liçi	Tank liçi+ CIP/CIC	Yığın liçi	Yığın liçi
SART besleme kaynağı	YLÇ	YLÇ	Boş çözelti	YLÇ	Boş çözelti	YLÇ	Boş çözelti
Kapasite (m <sup>3</sup> /h)	60	1400	340	140	120	750	380
WAD CN (mg/L)	-	-	350	-	800	-	-
Cu (mg/L)	1000	1000	150	800	1500	450	400
CN geri kazanım (%)	-	65	95	-	80	94	-
Cu Kazanımı (%)	90	70-99	90	90-95	90	90	94
Hedef Cu (mg/L) <sup>a</sup>	<70	<<20	15	-	15	-	24
Cu üretimi (ton/gün)	0.9	20	1	2.5	4	9.0	3.4
Çökeleğin Cu Tenörü (%)	70	6-50	65	55-60	55-65	70	68-74
Kaynak	(Estay, 2008; Estay vd., 2012; Simons ve Breuer, 2013b)	(Cuenca vd., 2012; Estay, 2018)	(Lawrence ve Lopez, 2011; Estay vd., 2012)	(Estay vd., 2012)	(Lawrence ve Lopez, 2011; Estay vd., 2012; BQE Water, 2017a)	(Estay vd., 2012; BQE-Water, 2017b)	(Alacer Gold, 2013, 2014)

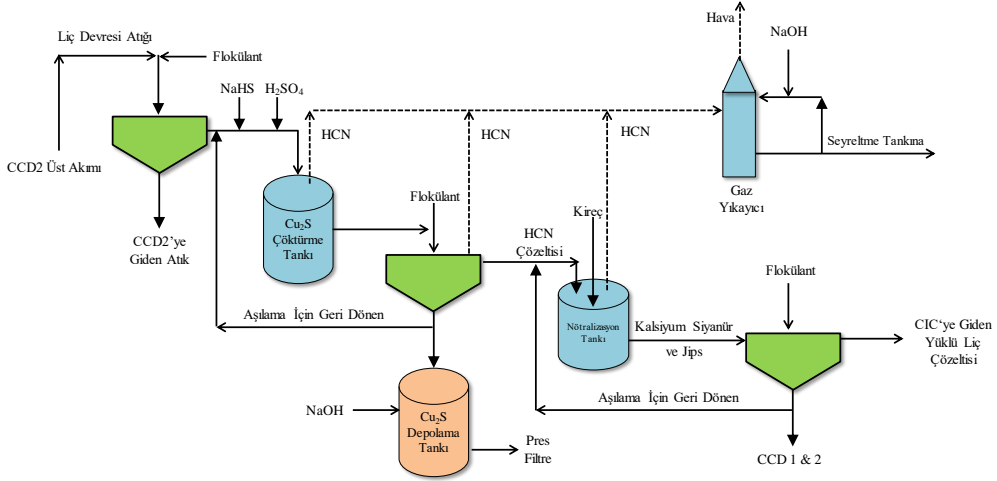
<sup>a</sup> SART çıkışındaki çözeltide hedeflenen bakır konsantrasyonu

**Şekil 6.** Sierra Mojada Ag-Zn cevheri (Coahuila/Meksika) için önerilen akım şeması (Barry, 2013a'den değiştirilerek)

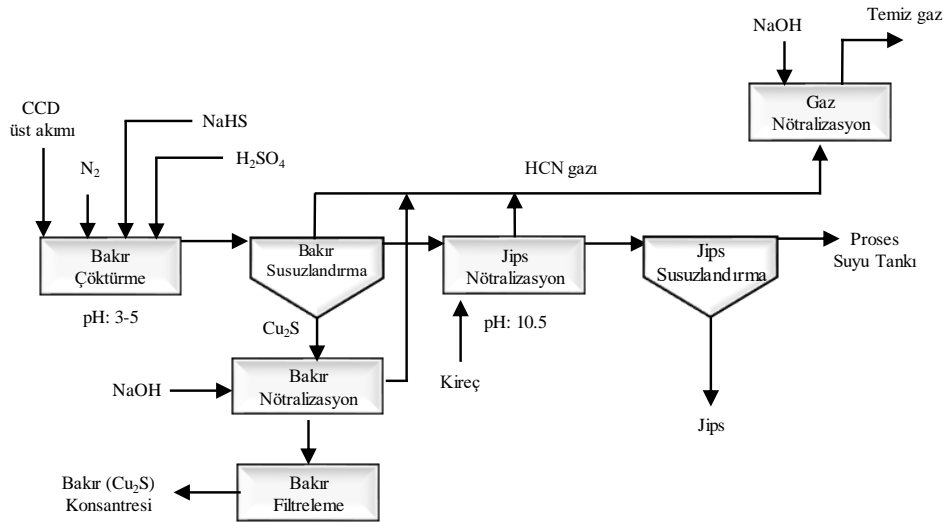




Şekil 7. Maricunga tesisi (Şili) SART prosesi akım şeması (Adams, 2013)



Şekil 8. Yanacocha tesisi (Peru) SART prosesi akım şeması (Adams, 2013)



Şekil 9. Mastra altın madeninin SART prosesi akım şeması (Koza Altın İşletmeleri, 2011)

### 3.4. Proses Ekonomisi

Siyanürün geri kazanılması, özellikle bakır içeriği yüksek cevherler için ekonomik bir zorunluluktur. Tablo 6’da sunulan bir ekonomik değerlendirilmede, bakır içeriği yüksek altın cevherleri işleyen tesislerde siyanür bozundurma yerine geri kazanım proseslerinin (SART gibi) uygulanmasının ekonomik açıdan daha avantajlı olduğunu açıkça görülmektedir (SGS, 2013). Bakırın yan ürün olarak satılması işletme için ek bir gelir getirmektedir (Tablo 6). SART prosesinin sağladığı ekonomik avantajlara (Tablo 6) bağlı olarak, SART tesisleri, ilk yatırım maliyetlerini birkaç yıl içinde finanse etmektedir. Örneğin, 750 m<sup>3</sup>/saat kapasite ile çalışan ve 380 mg/L Cu içeren çözümlü işleyen bir SART tesisinin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresinin 1.5-2 yıl olacağı tahmin edilmiştir (Fleming, 2003; Ford vd., 2008). İlk yatırım maliyetine yönelik yapılan bir analize göre, Cu<sub>2</sub>S tikineri %39, jips tikineri %19 ve Cu<sub>2</sub>S çöktürme reaktörü %15 ile en önemli gider paylarını oluşturmaktadır (Stewart ve Kappes, 2012).

SART tesisinin yatırım maliyetini etkileyen önemli parametrelerden birisi de tesisin kurulacağı alanın maden sahasına uzaklığıdır. Eğer jips tikineri alt akışı susuzlandırmaya tabi tutulmaz ise yatırım ve işletme maliyetleri önemli ölçüde azaltılmış olmaktadır. SART jips atığı, yığın liçinde tabana serilerek (capping) ve CIP/CIL devresi öncesi besleme ile harmanlanarak kullanılabilir (Baker vd., 2017).

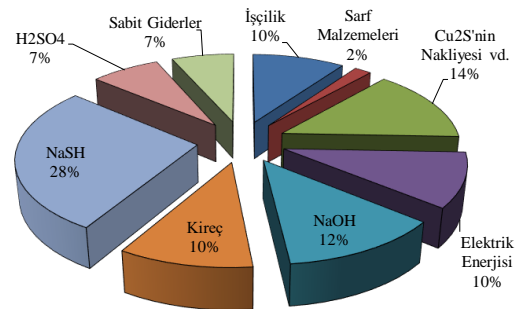
**Tablo 6.** Bir Au-Cu cevheri işleyen tesis için siyanür bozundurma ve geri kazanım maliyetlerinin karşılaştırılması (Siyanür tüketimi: 1 kg/ton NaCN; Çözünen bakır: 0.4 kg/ton) (2005 Fiyatlarına Göre) (SGS, 2013)

Bozundurma	Maliyet (\$)	Geri Kazanım	Maliyet (\$)
Yeni Siyanür	1.50	İşletme	0.60
Bozundurma	1.00	İlk Yatırım	0.30
<b>Toplam</b>	<b>2.50</b>	Ara Toplam	0.90
		Cu Kazancı	0.40
		<b>Net Kâr (\$/t)</b>	<b>0.50</b>

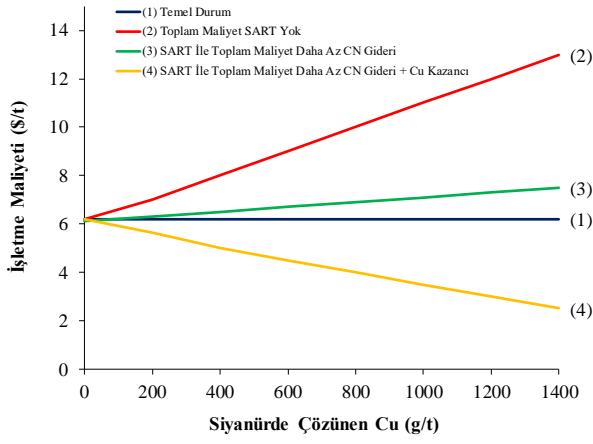
SART prosesinin işletme maliyetini önemli seviyede etkileyen parametrelerden birisi de cevherdeki “siyanürde çözünen bakır (CN-çöz

Cu)” miktarıdır (Fleming, 2011). Şekil 11’de, yığın liçi uygulaması için, cevherin CN-çöz Cu içeriğine bağlı olarak işletme maliyetinin farklı durumlar için değişimi görülmektedir. Temel durum (6 \$/t) ((1) no’lu), cevherin CN-çöz Cu içeriğinden bağımsız olarak madencilik, kırma, liç, aktif karbon adsorpsiyonu, sıyırma, çevresel ve genel yönetim giderlerinden oluşmaktadır. Toplam maliyet, temel durum ve CN-çöz Cu ile artan bir maliyet bileşenini kapsamaktadır. SART prosesi uygulanmadığı durumda ((2) no’lu) CN-çöz Cu içeriği arttıkça işletme maliyeti de artarak 14 \$/t’a ulaşmaktadır. Dolayısıyla, CN-çöz Cu içeriği yüksek (>500 g/t) olan düşük tenörlü bir altın cevherinin SART uygulanmadan ekonomik olarak işletilmesi mümkün görünmemektedir. Diğer taraftan, SART prosesinin kullanılması durumunda ((3) no’lu), bakır (Cu<sub>2</sub>S) yan ürün olarak satılmasa bile işletme maliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bakırın yan ürün olarak satıldığı durumda ((4) no’lu) ise işletme kâra geçmektedir (Fleming, 2011).

SART tesislerinin işletme maliyeti reaktif (asit, baz), nakliye, enerji vd. kalemlerden oluşmaktadır. Bir SART tesisine ait laboratuvar/pilot ölçekli testlere dayanılarak işletme giderlerinin dağılımı belirlenmiştir (Şekil 10) (Ford vd., 2008). Buna göre, işletme giderlerinde en büyük payı %28 ile NaSH maliyeti oluşturmaktadır. Baz (NaOH ve kireç) ve asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) giderlerinin toplam payı da %29’dur (Ford vd., 2008). Benzer şekilde, başka bir çalışmada, işletme giderleri arasında en yüksek payı (%27) çöktürme aşamasında kullanılan NaSH almaktadır (Stewart ve Kappes, 2012). Yine aynı çalışmada, işletmenin asitleştirme ve nötralizasyon işlemleri %40’lık bir paya sahiptir.



**Şekil 10.** SART tesisi işletme giderleri dağılımı (Ford vd., 2008)



**Şekil 11.** Cevherin siyanürde çözünen bakır içeriğine (g/t) bağlı olarak bir yığın liçi tesisinin işletme maliyetinin değişimi (Fleming, 2011'den değiştirilerek)

#### 4. Sonuçlar

Bakır içeriği yüksek cevherlerden (>%0.5 Cu) ekonomik altın kazanımlarına ulaşabilmek için liç işleminin yüksek siyanür konsantrasyonlarında (CN:Cu>4) gerçekleştirilmesi ve takiben liç çözümlisinden siyanürün geri kazanılması (ve bakırın yan ürün olarak eldesi) amacıyla SART prosesinin kullanılması endüstriyel olarak uygulanan seçeneklerden birisidir. SART prosesinin kimyası basit görünmesine karşın yüksek siyanür (ve bakır) geri kazanımı için sülfür dozajı, çöktürme süresi, bakır çökeleği (Cu<sub>2</sub>S) tikininde bekleme süresi vd. birçok parametrenin uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Endüstriyel SART tesislerinde, uygun koşullarda yüksek siyanür geri kazanımlarına (>%80) ulaşılmaktadır. Teknik ve ekonomik açıdan yüksek bir siyanür geri kazanım performansı elde etmek için, çöktürme işleminde S:Cu oranının stokiyometrik oranda (0.5) veya %10-20 fazlası olması, çökme süresinin mümkün olduğunca kısa tutulması, oksijen ile çökeleğin temasın kesilmesi ve prosesin sürekli çalıştırılması önerilmektedir.

Aksi takdirde, bakır, CuS ve CuCN formlarında çökebilir veya bakır-siyanür kompleksleri halinde çözünerek bakır çökeleğinin saflığı düşer ve reaktif sarfiyatı artar. Henüz Dünya'daki SART tesisi sayısı 10'un altındadır ve bir kısmı maden sahasına uzak ve kesikli çalışan küçük tesisler olduğu için prosesin maliyet, işletilebilirliği ve metalürjik performansı hakkında daha net bilgi

elde edebilmek için daha fazla sayıda ve kesintisiz çalışan SART tesisinin kurulmasına ihtiyaç vardır. Cevherin siyanürde çözünen bakır içeriği arttıkça SART prosesinin ekonomik getirisi de yükselmektedir. SART prosesi ilk yatırım maliyetinin geri dönüşü yaklaşık 1.5-2 yıldır. SART prosesi, Au-Cu cevherlerinden siyanür (ve yan ürün olarak bakır) geri kazanımı için önemli teknik ve ekonomik avantajlar sunmasına rağmen, endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan bazı teknik sorunlar, proses hakkında daha ileri düzeyde bilgi/tecrübeye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

#### Teşekkür

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) 213M492 no'lu proje kapsamında sağladığı desteklerden dolayı teşekkür ederiz. Bu makalenin ilk ve daha dar kapsamlı hali Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nda (ISME 2017) sunulmuştur.

#### Kaynaklar

- Adams, M. D., 2013. Impact of recycling cyanide and its reaction products on upstream unit operations, *Minerals Engineering*, 53, 241-255.
- Adams, M., Lawrence, R., Bratty, M., 2008. Biogenic sulphide for cyanide recycle and copper recovery in gold-copper ore processing, *Minerals Engineering*, 21/6, 509-517.
- Ahlatcı, F., 2016. Bakır ve pirit içeriği yüksek cevher ve konsantrelerden tiyosülfat liçi ile altın/gümüş kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, s.89.
- Alacer Gold, 2013. Çöpler gold mine-site visit presentation, (<https://www.asx.com.au/asxpdf/20130912/pdf/42j9t1t291px52.pdf>) (Erişim Tarihi: 02.01.2017).
- Alacer Gold, 2014. Alacer Gold commissions chemical facility with SART plant, (<https://www.prnewswire.com/news-releases/alacer-gold-commissions-chemical-facility-with-sart-plant-285832511.html>), (Erişim Tarihi: 01.02.2017).
- Baker, B., Rodriques, F., Littlejohn, P., 2017. SART implementation at gold mines in Latin America, The Conference of Metallurgists (COM), Ağustos 27-30, Paper No: 9489, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 8.

- Barry, T., 2013a. Silver Bull announces updated metallurgical test results on the silver mineralization at The Sierra Mojada Project, Coahuila, Mexico, Silver Bull Resources Inc., News Release, Temmuz, 1, (<http://www.silverbullresources.com/s/news.asp?ReportID=590659>).
- Barry, T., 2013b. Silver Bull completes positive preliminary economic assessment for The Sierra Mojada Project, Coahuila, Mexico, Silver Bull Resources Inc., News Release, Ekim, 1, (<http://www.silverbullresources.com/s/news.asp?ReportID=606026>).
- Barry, T., 2013c. Silver Bull CEO Tim Barry discusses Sierra Mojada PEA. In: Humphreys T (Hrsg.) (<http://www.mining.com/web/silver-bull-ceo-tim-barry-discusses-sierra-mojada-pea/>).
- Barry, T., 2018. Silver Bull Intersects 10 Meters of Sulphide Mineralization Grading 347g/t Silver, 20.7% Zinc, 1.35% Lead & 1.25% Copper, on the Sierra Mojada Project, Coahuila, Mexico (<https://globenewswire.com/news-release/2018/03/14/1422158/0/en/Silver-Bull-Intersects-10-Meters-of-Sulphide-Mineralization-Grading-347g-t-Silver-20-7-Zinc-1-35-Lead-1-25-Copper-on-the-Sierra-Mojada-Project-Coahuila-Mexico.html>).
- Barter, J., Lane, G., Mitchell, D., Kelson, R., Dunne, R., Trang, C., Dreisinger, D., 2001. Cyanide management by SART, Cyanide Soc. Ind. Econ. Asp., 549–562.
- Bas, A. D., Koc, E., Yazici, E. Y., Deveci, H., 2015. Treatment of copper-rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment and ammoniacal cyanide leaching, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 25, 597-607.
- Bas, A.D., Ozdemir, E., Yazici, E.Y., Celep, O., Deveci, H., 2011. Ammoniacal thiosulphate leaching of a copper-rich gold ore, The 15th Int. Conference on Environmental and Mineral Processing (EaMP), 83-90.
- Bas, A.D., Yazici, E.Y., Deveci, H., 2012. Treatment of a copper-rich gold ore by ammonia assisted cyanide leaching, XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC), New Delhi, Hindistan, 24-28 Eylül, 356–365.
- Botz, M., Guzman, G., Sevilla, L., 2015. Campaign testing the Yanacocha SART plant with high-copper feed solution, SME Annual Meeting, Şubat 15-18, Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Denver, CO.
- Botz, M., Kaczmarek, A., Orser, S., 2011. Managing copper in leach solution at the Çöpler gold mine: laboratory testing and process design, Minerals & Metallurgical Processing, 28, 133-138.
- BQE Water, 2017a. Mastra Mine, Koza Gold, ([www.bqewater.com](http://www.bqewater.com)).
- BQE Water, 2017b. Maricunga Mine, Kinross Gold, ([www.bqewater.com](http://www.bqewater.com)).
- Breuer, P.L., Jeffrey, M.I., Dai, X., 2005. Leaching and recovery of copper during the cyanidation of copper containing gold ores, in: treatment of gold ores - First Int. Symp., 44. Annual Conference of Metallurgists of CIM. Alberta, Canada, Editörler: Deschenes, G., Hodounin, D., Lorenzen, L., 279–293.
- Bulatovic, S. M., 1997. Flotation behaviour of gold during processing of porphyry copper-gold ores and refractory gold-bearing sulphides, Minerals Engineering, 10, 895-908.
- Corrans, I.J., Kyle, J.H., 2000. An overview of unit operations and processes used for treating gold and copper ores, Editör: Adams, M.D., Proc. of the Oretest Colloquium 99, 10 Kasım, Oretest Pty Ltd, Perth, Avustralya, 3–16.
- Cuenca, H. E., Febre P. C., House, F. A., ARCADIS, 2012. The SART process: an attractive technology to recover copper and cyanide from gold mining, 2° International Workshop, 12-13 Nisan 2012, Santiago-Şili.
- Dai, X., Simons, A., Breuer, P., 2012. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores, Minerals Engineering, 25, 1-13.
- Deschênes, G. ve Prud'homme, P. J. H., 1997. Cyanidation of a copper-gold ore, International Journal of Mineral Processing, 50, 127-141.
- Deschênes, G., Guo, H., Xia, C., Pratt, A., Fulton, M., Choi, Y., Price, J., 2012. A study of the effect of djurliete, bornite and chalcopyrite during the dissolution of gold with a solution of ammonia-cyanide, Minerals, 2, 459-472.
- Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Alp, I., Uslu, T., 2006. Removal of cyanide from aqueous solutions by plain and metal-impregnated granular activated carbons, Int. J. Miner. Process, 79, 198–208.
- Dreisinger, D., Vaughan, J., Lu, J., Wassink, B., West-Sells, P., 2008. Treatment of the Carmack's copper-gold ore by acid leaching and cyanide Leaching with SART recovery of copper and cyanide from barren cyanide solution, In: C.A.
- Estay, H., 2018. Designing the SART process – A review, Hydrometallurgy, 176, 147–165.
- Estay, H., Carvajal, P., Arriagada, F., 2012. The SART Process: an attractive technology to recover

- copper and cyanide from gold mining, M2R2 Workshop, Expomin 2012, Nisan, Santiago, Şili, ([http://www.expomin.cl/marketing/pdf/2012/presentation\\_arcadis.pdf](http://www.expomin.cl/marketing/pdf/2012/presentation_arcadis.pdf)) (Erişim Tarihi: 01.02.2017).
- Estay, H., Carvajal, P., González, K., Vásquez, V., 2013. A theoretical study of SART precipitate generation: Operational and safety impacts, Editörler: F., Valenzuela, C., Young (Hrsg.), 5th In. Seminar on Process Hydrometallurgy (Hydroprocess), Temmuz, 10-12, Gecamin, Santiago, Şili, 153-160.
- Fleming, C. A. ve Melashvili, M., 2016. A re-examination of the sacred cows in the SART process, 48th Annual Canadian Mineral Processors Conference, Ottawa, Ontario, 187-205.
- Fleming, C. A., 2016. Cyanide recovery, Gold Ore Processing, 2nd Edition, Chapter 36, Editör: Adams, M. D., Elsevier.
- Fleming, C.A., 1992. Hydrometallurgy of precious metals recovery, Hydrometallurgy, 30, 127-162.
- Fleming, C.A., 2003. The economic and environmental case for recovering cyanide from gold plant tailings, SGS Minerals Services, Technical Paper #2003-02.
- Fleming, C.A., 2010. Cyanide management in the gold industry, SGS Minerals Services, Technical Paper #2010-04.
- Fleming, C.A., 2011. Dealing with cyanide-soluble copper in the gold mining industry, Fray International Symposium on Metals and Materials Processing in a Clean Environment, 27 Kasım-01 Aralık, Meksika, 173-190.
- Ford, K., Fleming, C., Henderson, R., 2008. Application of the SART process to heap leaching of gold-copper ores at Maricunga, Chile. In: 40th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Ocak 22-24.
- Forrest, K., Yan, D., Dunne, R., 2001. Optimisation of gold recovery by selective gold flotation for copper-gold-pyrite ores, Minerals Engineering, 14, 227-241.
- Goh, S. W., Buckley, A. N., Lamb, R. N., 2006. Copper(II) sulfide?, Minerals Engineering, 19, 204-208.
- González, O. A., Alonso, F. N., Velasco C. J., Salas, A. U., 2013. Copper cyanide removal by precipitation with quaternary ammonium salts, Minerals Engineering, 42, 43-49.
- Habashi, F., 1999. Amalgam and electrometallurgy, 4, 1st, Metallurgie Extractive Quebec.
- Koc, E., Ahlatcı, F., Kuzu, M., Yazıcı, E.Y., Celep, O., Deveci, H., 2016. Recovery of silver from cyanide leach solutions of a pyritic gold concentrate by sodium sulphide precipitation, Proceedings of XV. International Mineral Processing Symposium and Exhibition (IMPS) (Editörler: Çelik, M.S., Bulut, G., Karakaş, F., Güven, O., Baştürkçü, H., Tarsus, Z.), 19-21 Ekim, İstanbul, Türkiye, 823-834.
- Kondos, P. D., Deschênes, G., Morrison, R. M., 1995. Process optimization studies in gold cyanidation, Hydrometallurgy, 39, 235-250.
- Koza Altın İşletmeleri Tesis Bilgilendirme Sunumu, 15 Kasım 2011.
- Kuyucak, N. ve Akcil, A., 2013. Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes, Minerals Engineering, 50-51, 13-29.
- La Brooy, S.R., Linge, H.G., Walker, G.S., 1994. Review of gold extraction from ores, Mineral Engineering, 7, 1213-1241.
- Lawrence, R. W. ve Lopez, O., 2011. Improving the economics of gold-copper ore projects using SART technology.
- Lopez, O., Petrovic, N., Krashenina, S., 2014. Copper and cyanide recovery from barren leach solution at the gold processing plant, XXVII. International Mineral Processing Congress (IMPC 2014), Santiago, Şili, 11.
- MacPhail, P.K., Fleming, C., Sarbutt, K., 1998. Cyanide recovery by the SART Process for the Lobo-Marte Project, Şili, Randol Gold and Silver Forum, Denver.
- Marsden, J. ve House, I., 2006. The chemistry of gold extraction, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA.
- Medusa, 2009. Software for Chemical Equilibrium Diagrams, 32 bit version, Royal Institute of Technology, İsveç.
- Mokone, T. P., van Hille, R. P., Lewis, A. E., 2010. Effect of solution chemistry on particle characteristics during metal sulfide precipitation, Journal of Colloid and Interface Science, 351, 10-18.
- Mudder, T. I. ve Botz, M. M., 2001b. The cyanide monograph, Mining Journal Books Ltd., London, 605.
- Mudder, T. I. ve Botz, M.M., 2001a. The chemistry and treatment of cyanidation wastes, Mining Journal Books Ltd, London, 393.

- Muir, D. M. ve Aylmore, M. G., 2005. Thiosulfate as an alternative lixiviant to cyanide for gold ores. Editörler: Adams, M. D. ve Wills, B. A., *Developments in Mineral Processing*, Elsevier, 541-560.
- Muir, D. M., La Brooy, S. R., Fenton, K., 1991. Processing copper-gold ores with ammonia or ammonia-cyanide solutions, *World Gold 1991*, 21-25 Nisan, Cairns Qld., 145-150.
- Muir, D.M., 2011. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper-gold ores with ammonia-cyanide and new insights for plant control and operation, *Minerals Engineering*, 24, 576-582.
- Nodwell, M., Kratochvil, D., Lopez, O., 2012. Risk management and mitigation for the SART copper cyanide recovery process, *HYDROPROCESS 2012, 4th International Seminar on Process Hydrometallurgy*, 12-13 Temmuz, Santiago, Şili, 1-7.
- Parga, J. R., 2011. Copper and cyanide recovery in cyanidation effluents, *Advances in Chemical Engineering and Science*, 01, 191-197.
- Potter, G.M., Tucson, A., Bergmann, A., Haidlen, U., 1986. Process of recovering copper and of optionally recovering gold by leaching of oxide and sulfide-containing materials with water-soluble cyanides, *US Patent 4587110*, 6 Mayıs.
- Ritcey, G. M., 2005. Tailings management in gold plants, *Hydrometallurgy*, 78, 3-20.
- Sceresini, B. ve Breuer, P., 2016. Gold-copper ores, *Gold Ore Processing*, 2nd Edition, Chapter 43, Editör: Adams, M. D., Elsevier.
- Sceresini, B., 2005. Gold-copper ores, *Advances in Gold Ore Processing, Western Australia*, Chapter 32, Editörler: Adams, M. D. ve Wills, B. A., Elsevier.
- SGS, 2008. Application of the SART process to heap leaching of gold-copper ores at Maricunga, Chile, *SGS Minerals Services Technical Paper 2008-51*.
- SGS, 2009. Cyanide Recovery, Technical Paper, No. T3 SGS 019, *SGS Minerals Services*.
- SGS, 2013. Cyanide recovery, *SGS Minerals Services - T3 SGS 019*, 11-2013.
- Simons, A. ve Breuer, P., 2013a. Fundamental investigations of SART for cyanide and copper Recovery, *CIM J*, 4 (3), 145-152 *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*.
- Simons, A. ve Breuer, P., 2013b. The impact of residence time on copper recovery in Telfer Gold Mine's cyanide recycling process. In: *World Gold 2013*, Brisbane, Queensland, Avustralya. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, Melbourne, 189-196, 26-29 Eylül.
- Stewart, M. ve Kappes, D., 2012. SART for copper control in cyanide heap leaching, *SAIMM*, 112, 1037-1043.
- Torre, M., Bachiller, D., Rendueles, M., Menéndez, C. O., Díaz, M., 2006. Cyanide recovery from gold extraction process waste effluents by ion exchange I. equilibrium and kinetics, *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 24, 99-117.
- Van Deventer, J., Bazhko, V., Yahorava, V., 2014. Comparison of gold-selective ion exchange resins and activated carbon for the recovery of gold from copper-gold leach liquors, *Gold-Precious Metals Conference (ALTA 2014)*, Perth, Avustralya, 17.
- Xie, F., Dreisinger, D., Doyle, F., 2013. A review on recovery of copper and cyanide from waste cyanide solutions, 34:6, 387-411.
- Yazıcı, E. Y., 2005. Atık sularındaki siyanürün hidrojen peroksit, aktif karbon adsorpsiyonu ve ses ötesi dalgalarla uzaklaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, 141 syf., *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon*.
- Yazıcı, E. Y., Ahlatcı, F., Koc, E., Celep, O., Deveci, H., 2015. Pre-treatment of a copper-rich gold ore for elimination of copper interference, 8th *European Metallurgical Conference (EMC)*, Düsseldorf, 601-613.
- Yılmaz, E., Yazıcı, E. Y., Celep, O., Deveci, H., 2019. Liç atıklarından siyanürün geri kazanımı yöntemleri, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 58(1), 53-71.
- Young, PRT, Anderson, C.G., Choi, Y. (Hrsg.), *Hydrometallurgy 2008: Proceedings of the 6th International Symposium*, Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc. (SME), 740-749.
- Zhang, Y., Fang, Z., Muhammed, M., 1997. On the solution chemistry of cyanidation of gold and silver bearing sulphide ores, A critical evaluation of thermodynamic calculations, *Hydrometallurgy*, 46, 251-269.



## 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir). Dergi **bilimsel ve hakemli** bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

## 2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili 2018'den itibaren olmak üzere Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda **üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir**.

## 3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili **tüm yazışmalarda** DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi **yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış** makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/gumusfenbil> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "**Gönderi Kontrol Listesi**"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "**Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu**" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "**Etik Kurul İzin Belgesi**"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

## 4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği bölüm editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30, tek bir kaynaktan ise %5 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili bölüm editörüne yönlendirilir.

Bölüm editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için bölüm editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletilir.

Değerlendirme sonucu kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu Form'un imzalanması ile yazarlar, makalenin "GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ" dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## 5. MAKALE TÜRLERİ

**Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:**

**5.1 Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. **Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40'ı aşmamalıdır.**

**5.2 Derlemeler:** Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. **Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır.** Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. **Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur.**

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

## 6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

• **Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları:** A4 formatında, en fazla 15 sayfa olmalıdır. Tüm kenarlardan 2 cm boşluk bırakılmalıdır.

• **Sayfa numaraları:** Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir. Sayfa numarası Times New Roman yazı tipinde ve 11 punto olmalıdır.

• **Satır numaraları:** Satır numaraları makalenin ilk sayfasından itibaren başlayarak ve “süreklili” olarak numaralandırılmalıdır (her sayfada yeniden başlat ve/veya her bölümde yeniden başlat özellikleri kullanılmamalıdır).

• **Satır boşlukları:** Bütün satır boşlukları Times New Roman karakterinde ve 11 punto olmalıdır.

• **Gövde Metni:** Ana metin “Times New Roman” karakterinde “11 punto” ile “iki yana yaslı” ve anahtar düzeyi “gövde metni” olarak ayarlanmalı, sağ ve sol satır girintisi olmamalı, metinden önceki ve sonraki aralık değerleri Onk olmalı ve satır aralık değeri tek (1) olarak yazılmalıdır. Noktalama işaretlerinden (nokta, virgöl, noktalı virgöl vb.) sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır. Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (ilk satır girintisi veya Tab tuşu kullanılmamalıdır).

• **Makale başlığı (Türkçe ve İngilizce):** Sayfa başından 1 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Türkçe başlık Times New Roman, 14 punto, koyu, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Türkçe başlıktan sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Daha sonra İngilizce başlık Times New Roman, 13 punto, italik, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Başlıklarda yer alan her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalı, otomatik başlık stilleri kullanılmamalıdır.

• **Yazar adı veya adları:** İngilizce başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, unvan belirtilmeden, Adın ilk harfi büyük olacak şekilde tüm harfleri ve soyadın tamamı büyük harfle yazılmalıdır. Birden fazla yazarlarda aralarına virgöl konularak, Times New Roman, 11 punto, kalın ve sayfaya ortalanarak yazılmalıdır. Sorumlu yazar isminde üst simge yıldız sembolü olmalıdır.

• **Yazarın/ların adresi/leri ve ORCID bilgisi:** Yazar adının hemen altına boşluk bırakılmadan, Times New Roman, 10 punto ve italik olarak yazılmalıdır. Adresleri aynı olan yazarlar için tek adres, farklı yazar adresleri alt alta boşluk bırakılmadan yazılmalıdır. Yayında yer alan tüm yazarların ORCID bilgileri mutlaka verilmelidir.

• **İletişim yazarının bilgileri:** Unvansız Ad soyad, e-mail adresi, telefon numarası (Tel: (xxx) xxx xx xx.) aralarına virgöl konularak 1. sayfanın altına dipnot olarak, (\*) sembolü ile belirtilmelidir, Times New Roman, 10 punto ile yazılmalıdır.

• **Türkçe Öz:** Adres/ler den 2 satır boşluk bırakıldıktan sonra, **Öz** kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu** ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Özetin gövde metni ise Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, iki yana yaslı, tek satır aralıklı ve girinti olmadan yazılmalıdır. Özet metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Öz başlığı ile özetin gövde metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **İngilizce Öz (Abstract):** Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, **Abstract**, kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu, italik**, tek satır aralıklı ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Abstract gövde metni Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, tek satır aralıklı ve italik olarak yazılmalıdır. Abstract metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Abstract kelimesi ile abstract metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **Anahtar kelimeler / Keywords:** “Anahtar kelimeler” Türkçe özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto ve tek satır aralıklı yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, “Anahtar kelimeler” yazısı **koyu**, verilen diğer kelimeler ise koyu olmadan yazılmalıdır. Her kelimenin ilk harfi büyük ve aralarına virgöl konularak verilmeli ve alfabetik sıralamaya uygun olarak sıralanmalıdır. “Keywords” kelimesi İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto, tek satır aralıklı, italik ve **koyu** yazılmalıdır.

İngilizce anahtar kelimeler (Keywords), Türkçe anahtar kelimelerde verilen sıralama dikkate alınarak yazılmalı, kelimeler koyu olmamalıdır.

• **Ana başlıklar:** Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır (1. Giriş 2. Amaç, Gereç ve Yöntem gibi). **Tüm başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto **koyu** ve her kelimenin ilk harfi büyük yazılmalıdır. Ana başlıklardan önce ve sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. **Alt başlıklar**, ana başlık numarasına uygun olarak numaralandırılmalıdır. **Tüm alt başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto, **koyu** ve **italik** olarak her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır (2.1. Malzeme 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması, gibi). Alt başlıklardan önce ve sonra tek satır boşluk bırakılmalıdır. Başlıkları yazarken otomatik başlık stili, madde işaretleri, çok düzeyli liste gibi biçimler kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.

• **Şekiller, Resimler ve Fotoğraflar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak, net ve okunaklı olmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Şekil no ve adları şeklin altında şeklin sol alt kenarına yaslanarak ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak verilmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra birer satır boşluk bırakılmalıdır. **Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır. Şekil yazılarında (metin içerisinde ve ilgili şekillerin altında) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Tablolar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Tablo no ve adları, tablonun sol üstünde tek satır boşluk ile sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra yine bir satır boşluk bırakılmalıdır. **Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır.** Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 11 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir. **Tablo yazılarında (metin içerisinde ve ilgili tabloda) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Denklemler:** Metin içerisine yazılacak denklemler, Word yazım programındaki denklem editörü veya MathType editörü ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı olarak parantez içerisinde sıra ile numara verilmelidir.

• **Semboller:** Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 11 punto ile **italik** yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül kullanılmalıdır.

• **Kaynaklar:** Kaynaklar tez içerisinde “**soyadı ve tarih sistemine**” göre yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynak eserin yazımının bir satırdan daha uzun olması halinde ikinci satır ve diğer satırlar, **değinilen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır). Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hizasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan ve altı çizili olarak yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

## 1- Metin içerisindeki referanslara atıfta bulunma

1.1. Cümle içerisinde atıf verilen yazar ismine değinildiği durumlarda yıl parantez içerisinde yazılmalıdır.

“Popüler bir çalışmada [Harvey \(1992\)](#) konu ile ilgili olarak .....”

“[David ve Clifford’a \(2003\)](#) göre ...”

“[Matthews ve Jones \(1997\)](#) yapmış oldukları çalışmalarda ...”

1.2. Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. Birden çok atıf verilmiş ise iki atıf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır.

“Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”

“Doğu Pontidler, ‘Kuzey Zon’ ve ‘Güney Zon’ olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

1.3. İki ve daha fazla atıf verilmiş ise sıralama yıl temel alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır.

“Eosen ve sonrası gelişmiş volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir (Adamia vd., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aslan, 2006; Aslan, 2010).”

1.4. Aynı yazarın birden fazla eserine atıf verilmiş ise, eserlerin yılı dikkate alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır.

“Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012a,b, 2013), Özdil Granitoyidi, Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2013, 2016) oluşturmaktadır.”

“Birkaç yazar tarafından tartışıldığı gibi (Smith, 1993, 2003; Brown, 1995; Smith ve Jones, 1997; Green, 2004)...”

1.5. Metin içerisinde yazarı belli olmayan internet kaynaklarına atıf yapılırken, büyük harflerle URL-sıra numarası (,), yıl şeklinde yazılmalıdır.

Örneğin: (URL-4, 2003), (URL 1 ve 2, 2003)

1.6. Kaynakların yazılması sırasında literatürde yaygın olarak bilinen periyodik dergilerin adları açık olarak yazılmalıdır.

Örneğin: *Mineralogy and Petrology*, *Journal of Geology and Mining Research*, *Journal of Food Engineering*, *Gondwana Research*.

## **2- Kaynaklar (Referanslar) Bölümünün Hazırlanması**

### **2.1. Ulusal ve Uluslararası Makaleler:**

Gücer, M.A., Arslan, M., Sherlock, S. ve Heaman, L.M., 2016. Permo-Carboniferous granitoids with Jurassic high temperature metamorphism in Central Pontides, Northern Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 110, 943-964.

Le Breton, N. ve Thompson, A.B., 1988. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 226-237.

Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E., 2017. Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7 (2), 236-267, doi: 10.17714/gumusfenbil.310263.

Kabul edilmiş ancak sayı almamış veya baskı aşamasındaki makaleler:

Çimen, O., Göncüoğlu, M.C., Simonetti, A. ve Sayıt, K., 2017. Whole rock geochemistry, Zircon U-Pb and Hf isotope systematics of the Çangaldağ Pluton: Evidences for Middle Jurassic Continental Arc Magmatism in the Central Pontides, Turkey. *Lithos*, doi: 10.1016/j.lithos.2017.06.020.

Hoffman, H.J. ve Masson, M., 1994. Archean stromatolites from Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 106 (baskıda).

## 2.2. Kitaplar:

Hem, J.D., 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters: USGS Professional Paper, 2254, US Gov. Print. Office, 263p.

Postel, S., 2000. Son Vaha, Su Sıkıntısıyla Karşı Karşıya, (çev: F. Şebnem Sözer), TUBİTAK-TEMA VAKFI yayınları, ISBN 975-403-188-6, Ankara, 218s.

Twiss, R.J., ve Moores, E.M., 1992. Structural geology: New York, W.H. Freeman and Company, 532 p.

Burchfiel, B.C., Hodges, K.V. ve Royden, L.H., 1992. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt: Geological Society of America, Special Paper, 269, 41p.

## 2.3. Tezler:

Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.

Tezcan, L., 1993. Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

## 2.4. Raporlar:

Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118.

Baran, I. ve Kasperek, M., 1989. Marine Turtles of Turkey; Status Survey 1988 and Recommendations for Conservation and Management: WWF Report, Heidelberg, 123p.

IAEA, 1992. Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes, Technical Reports Series No.331, IAEA Vienna, 781p.

Akartuna, M., 1953. Çaycuma-Devrek Yenice-Kozcağız Bölgesinin Jeolojisi Hakkında Rapor: MTA Rap. No. 2059 (yayımlanmamış), Ankara.

Altun, İ.E., Şengün, M., Keskin, H., Akçaören, F., Sevin, M., Deveciler, E. ve Akat, M.U., 1990. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

## 2.5. Editörlü Kitaplar:

Zuber, A., 1986. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (Eds.), Elsevier, Amsterdam. pp. 1-59.

Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.

Aydın, M., Demir, O., Özçelik, Y., Terzioğlu, N. ve Satır, M., 1995. A geological revision of Inebolu, Devrekani, Ağlı and Küre areas: new observations in Paleotethys-Neotethys sedimentary successions, in: Eler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.

Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies, in: Henderson, P. (Eds.), Rare earth element geochemistry. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, pp. 63-114.

Hippolyte, J.C., Müller, C., Kaymakçı, N., Sangu, E., 2010. Dating of the Black Sea basin: New Nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey), in: Stephenson, R.A., Kaymakci, N., Sosson, M., et al. (Eds). Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications 340, 113-136.

## **2.6. Bildiriler Kitabı:**

Sualtı Günleri-1999, Türkiye'de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akinoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

## **2.7. Bildiri Özeti:**

Tezcan, L., Gunay, G., Hotzl, H., Reichert, B. ve Solomon, K., 1997. Hydrogeology of the Kirkgozler Springs, Antalya, Turkey. International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Near East Technical University, Nicosia, North Cyprus. p.76.

Bayarı, C.S., Kurttaş, T. ve Tezcan, L., 1998b. Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar ve Üç Boyutlu Yerde Yoğunluk Ölçümleri. MTA Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildirileri, 2-6 Kasım 1998, Ankara, s.104-106.

Gücer, M.A. ve Aslan, Z., 2011. Evaluation of diagenesis and metamorphism relationship by using clay mineral indices in the Yoncayolu (Üzümlü, Erzincan) area. International European Clay Conference, Antalya, Book of abstracts, s. 281.

Akaryalı, E., Aydınçakır, E., Atay, U., Gücer, M.A. ve Türk, E., 2015. Mass change calculation of hydrothermal alteration in Kaletaş-Söğütağlı area (Gümüşhane, NE Turkey). The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS), Prague, Abstracts, p. 232.

## **2.8. Tam Metni Basılı Bildiriler:**

Hamarat, S., Ülkenli, H. ve Türe, G., 1998. Türkiye kıyıları Aydıncık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

## **2.9. Aktüel Dergi ve Gazete Haberi:**

Corliss, Richard, 1993. Sept. 13, Pacific Overtures. Time 142(11), 68-70.

Feder, Barnaby J, 1993. December 18, For Job Seekers, a Toll-Free Gift of Expert Advice. New York Times 30 (late ed.).

## **2.10. İnternet Kaynakları:**

Başaran, A., Yıldırım, N. ve Gülal, Z. (2000, 14 Ekim). Depreme karşı nasıl bir bina yapmalı?  
Cumhuriyet Bilim Teknik, <http://bilimteknik.cumhuriyet.com.tr/~w/b08.-html>.

OCMIP, 2000., Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project, IGBP, Global, Analysis,  
Interpretation And Modeling Task Force, <Http://www.lpsl.jussieu.-fr/OCMIP>.

URL-1, [www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster](http://www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster). 05 Ağustos 2011.





- YALÇIN N., ÇELİK E.; Çarpımsal Cauchy-Euler ve Legendre Diferansiyel Denklemi / *Multiplicative Cauchy-Euler and Legendre Differential Equation*.....373-382
- ÖZAY C.; In-Vitro Nitric Oxide Scavenging and Anti-Tyrosinase Activity of Two *Convolvulus L. Species* / *İki Convolvulus L. Türünün In-Vitro Nitrik Oksit Süpürme ve Anti-Tirozinaz Aktivitesi*.....383-387
- ÖZEN S.; Pileki Taşı'nın (İyidere, Rize) Geopolimer Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Araştırılması / *Investigation of the Potential of Pileki Stone (İyidere, Rize) for Geopolymer Cement Production*.....388-392
- EKİZ O U.; Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinde Etkili Gözlemlerin Belirlenmesine Yönelik Bir Yöntem / *A Method to Detect Influential Observations in Multiple Linear Regression Analysis*.....393-400
- ASCI DEMIROZ N., PUL E.; Crack Problem in Nested Thick Pipes / *İç İç Geçmiş Kalın Borularda Çatlak Problemi*.....401-414
- KARAAHMET Z., KINALIOĞLU K., AYDIN S.; Antioxidant and Antibacterial Potencies of *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale and *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. Lichens from Black Sea Region in Turkey / *Türkiye'de Karadeniz Bölgesi'ndeki Xanthoparmelia conspersa (Ehrh. ex Ach.) Hale and Dermatocarpon miniatum (L.) W. Mann. Likenlerinin Antioksidan ve Antibakteriyel Potansiyelleri*.....415-424
- DİHKAN M.; Uzaktan Algılanmış Görüntülerin SURF Özellik Verileri ve RANSAC Algoritması ile Otomatik Çakıştırılması / *Automatic Registration of Remotely Sensed Images by Using SURF Features and RANSAC Algorithm*.....425-432
- ALTUNTAŞ C.; Mevlana Türbesi Civarında Oluşan Kentsel Gelişim ve Değişimlerin Hava Fotogrametrisi Verilerinden Yararlanarak Görüntülenmesi / *Urban Growing and Change Visualization in Mevlana Region Using Spatial Data from Aerial Images*.....433-443
- TAŞKAYA S., GÜR A K.; Ramor 500 Zırh Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Tel İlerleme Hızının Kaynak Metalindeki Nüfuziyet Dengesinin İncelenmesi / *Investigation of The Equilibrium of Permeate in The Welding Speed of The Wire Feeding Speed in Joining Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method*.....444-453
- TEMİZEL İ., KURT A.; Geç Kretase Yaşlı Bozat (Giresun, KD Türkiye) Plütunu'nun Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri / *Petrographical, Geochemical and Perological Characteristics of Late Cretaceous aged Bozat (Giresun, NE Turkey) Pluton*.....454-472
- FİDANCI Y., KARABÖRK H.; İnsansız Hava Araçlarının Ormanlık Alanlardaki Karayolu Projelerinde Kullanımı / *Use of Unmanned Aerial Vehicles in Highway Projects in Forest Areas*.....473-485
- FİDANCI Y., ABBAK R A.; Yerel Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağlarının Farklı Nokta Yoğunluğundaki Performansı / *Performance of Artificial Neural Networks on Different Point Density in Local Geoid Determination*.....486-495
- AKÇAĞIL Ş.; Comparative Analysis of Exact Solutions for the Phi-four Equation / *Phi-four Denklemine Tam Çözümlerinin Karşılaştırmalı Analizi*.....496-500
- AKTAŞ İ.; On Partial Sums of Normalized Error Function / *Normalize Edilmiş Hata Fonksiyonunun Kısmi Toplamları Üzerine*.....501-504
- KARACA E.; BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Malzemesinin Fiziksel Özelliklerinin Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Kullanılarak İncelenmesi / *Investigation of Physical Properties of the BaRu<sub>2</sub>As<sub>2</sub> by Using Density Functional Theory*.....505-514
- ÖZENER O.; An Assessment of Real-World Driving Emissions and Fuel Consumption of a Diesel Bus with Using a Portable Emissions and Fuel Consumption Measurement System: İstanbul Bus Rapid Transit-Metrobus / *Portatif Emisyon ve Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi Kullanılarak Bir Dizel Otobüsün Gerçek Dünya Sürüş Emisyonları ve Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi: İstanbul Otobüs Hızlı Ulaşımı – Metrobus*.....515-525
- ŞAHİN B., ÇARKACI C.; Gümüşhane İli Kamu Binalarındaki Isı Yalıtımı Uygulamalarının İncelenmesi / *Examining Heat Insulation Applications on Public Buildings in Gümüşhane*.....526-535
- CANIM M.; Eski Dilde Kullanılan Sözcükler Arasındaki Anlamsal Yakınlıkların Doğal Dil İşleme Yöntemleriyle Tespiti / *Using NLP Methods for the Discovery of Semantic Similarities between Words in Old Turkish Language*.....536-546
- ÖZYURT E., YILMAZ M.; Düzlem İçi Eğilme Momenti Altındaki Elips Enkesitli T-birleşimlerinin Dayanımları / *Resistance of Elliptical Hollow Section T-joints Under In-plane Bending Moment*.....547-556

<b>YALILI KILIÇ M., YAHŞI S.;</b> Sürdürülebilir Enerji Kullanımının Yeşil Bir Ofise Uygulanması / <i>Application of Sustainable use of Energy to a Green Office</i> .....	<b>557-568</b>
<b>ÖZKAN G.;</b> Sera Şartlarında Yetiştirilen Çilekte ( <i>Fragaria x ananassa L.</i> ) Organik Gübre Uygulaması İle Bombus Arılarının ( <i>Bombus Terrestris</i> ) Kullanımının Meyvelerin Biyokimyasal İçerikleri Üzerine Etkileri / <i>The Effects of Using Organic Fertilizer and Bumblebees (Bombus Terrestris) on the Biochemical Contents of Fruits in Greenhouse-grown Strawberry (Fragaria x ananassa L.)</i> .....	<b>569-574</b>
<b>YALVAÇ S.;</b> Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Doğruluğunun Mikro-Geodezik Bir Ağda İncelenmesi / <i>Investigating Accuracy of Precise Point Positioning Method in a Micro-Geodetic Network</i> .....	<b>575-581</b>
<b>OSMANOĞLU İ.;</b> $C_q(X)$ Uzayının Sayılabilirlik Özellikleri Üzerine Bazı Sonuçlar / <i>Some Results on Countability Properties of <math>C_q(X)</math></i> .....	<b>582-587</b>
<b>ASLAN TOPÇUOĞLU Y., GÜROCAK Z.;</b> Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu ve Dokusal Değişimler: Bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışması / <i>The Stabilization of High Plasticity Clays and Textural Changes: A Scanning Electron Microscope (SEM) Study</i> .....	<b>588-599</b>
<b>YILMAZ E., YAZICI E Y., CELEP O., DEVECİ H.;</b> Atıklardan Siyanürün Geri Kazanımı: SART Prosesi / <i>Recovery of Cyanide from Effluents: SART Process</i> .....	<b>600-615</b>