



# 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: 10

SAYI / ISSUE : 3

YIL / YEAR : 2020

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

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



EBS CO



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: 10 Sayı/Issue: 3 Yıl/Year: 2020  
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. Ferkan SİPAHI*

*Prof. Dr. Mehmet MERDAN*

*Prof. Dr. Salim Serkan NAS*

*Prof. Dr. Necati ÇELİK*

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*

*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. Fatih DÖNER*

*Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU*

*Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Dr. Öğr. Üyesi Bülent AKAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ*

*Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL*

*Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA*

*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*

*Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER*

*Dr. Öğr. Üyesi Melih OKCU*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*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 / 2020**

*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.*



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 Üni.  
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi  
Prof. Dr. Charyar Ashyralyyev-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. Özlem ÇAVDAR-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 ELAZZOUI-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 GÖKÇEÖĞLU-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 Üni.  
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane 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. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.  
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. OWOLABI-Federal Uni. of Technology  
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Sunil PROHIT- 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 Üni.  
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. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Fatih DÖNER-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. 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-Gümüşhane 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 Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET-Gümüşhane Üniversitesi  
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-Atatürk 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

- Kadir GÜNDOĞAN Dilan K. ÖZTÜRK **Nanopartikül Takviyeli Polimer Matrisli r-PET Geri Dönüşüm İpliklerinin Mikroyapı, Termal, Mekanik ve Antistatik Özelliklerinin İncelenmesi** **526**  
*Investigation of Microstructure, Thermal, Mechanical and Antistatic Properties of Nanoparticle Reinforced Polymer Matrix r-PET Fiber Yarns*
- Seher G. MAYUK **Yeni Yapılacak Bina Temellerinde Gerekli Su Yalıtım Önlemlerinin Belirlenmesi ve Denetimine Yönelik Bir Öneri** **535**  
*A Proposal for the Determination and Control of the Required Waterproofing Measures in the Foundations of New Buildings*
- Murat ÇOLAK **OPTICast Yazılımı ile Döküm Endüstrisinde Kalıplama Tasarımı Optimizasyonu Uygulaması** **545**  
*Application of Moulding Design Optimization in Casting Industry with OPTICast Software*
- Özkan ÖZBEK Ali KILIÇ Ömer Yavuz BOZKURT **Development of Filament Winding Machine for Producing Round Shapes with Different Fiber Reinforcements** **552**  
*Farklı Elyaf Takviyeleri ile İçi Oyuk Şekiller Üretmek İçin Elyaf Sarma Makinesi Geliştirmesi*
- Gökhan KARS Meltem D. KARS İhsan OBALI Ayça EMSEN Ufuk GÜNDÜZ **Investigation of Antioxidant and Cytotoxic Effects of Biotechnologically Produced Carotenoids from *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001** **559**  
*Rhodobacter sphaeroides O.U.001'den Biyoteknolojik Olarak Üretilen Karotenoidlerin Antioksidan ve Sitotoksik Etkilerinin Araştırılması*
- Selçuk ALEMDAĞ Mustafa KANIK **Atık Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği** **569**  
*Evaluation of Engineering Properties of Rock Masses in Waste Dam Site: The Example of Gumushane*
- Fatma Sevinç KURNAZ **Some Regression Methods Based on Principal Components** **581**  
*Temel Bileşenlere Dayalı Bazı Regresyon Yöntemleri*
- Adil UMAZ Kader UMAZ **İki Farklı Lokasyona ait Altın Otonun (*Helichrysum arenarium*) Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırılması** **592**  
*Determination and Comparison of Volatile Compounds of Gold Grass (*Helichrysum arenarium*) from Two Different Locations*
- Sertaç GÖKTAŞ **Sınır Koşulunda Öz Parametre Bulunduran Bir Sturm-Liouville Operatörü İçin Ters Nodal Problem** **601**  
*Inverse Nodal Problem for A Sturm-Liouville Operator with Eigenparameter in the Boundary Condition*
- Olçay EKŞİ Neslihan YAVUZ **Kalıp Tasarımının Isıl Şekillendirilmiş Ambalajın Kalınlık Dağılımı Üzerine Etkisi** **610**  
*The Effect of Plug Design on Thickness Distribution of Thermoformed Package*
- Salih TERZİOĞLU Arzu E. BOZKURT **The Weed Flora of Turkish Tea Plantations** **621**  
*Türkiye'nin Çay Bahçelerindeki Yabancı Bitki Florası*
- Sema KAZAN **On the Characterizations of Convolution Manifolds Obtained by Helix Hypersurfaces** **631**  
*Helis Hiperyüzeyleri Tarafından Elde Edilen Konvolüsyon Manifoldların Karakterizasyonları Üzerine*
- Ferhan Ş. ERDURAN **Sabit Fuzzy Nokta Teoremleri** **641**  
*Fixed Fuzzy Point Theorems*
- Nurdan Y. KOÇER Yaprak A. ÖZDEMİR Fikri GÖKPINAR **Sıralı Küme Örnekleme ile İki Yığın Ortalaması Farkı İçin Bootstrap Güven Aralıklarının İncelenmesi** **651**  
*Examination of Bootstrap Confidence Intervals for The Difference Between Two Population Means with Ranked Set Sampling*



Mubin KOYUNCU Yusuf TUNÇTÜRK	<b>Determination of Some Quality Parameters of White Cheeses Produced from Different Animal Milks During Storage</b> <i>Farklı Hayvan Sütlerinden Üretilen Beyaz Peynirlerin Depolama Süresince Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi</i>	<b>662</b>
Müslün Sara TUNÇ Ayhan ÜNLÜ	<b>Farklı Çamur Yaşlarında Anaerobik/Aerobik/Anoksik Ardıışık Kesikli Reaktörde Nutrient Giderimi</b> <i>Nutrient Removal in Anaerobic/Aerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactor at Different Sludge Ages</i>	<b>675</b>
Dilek ÜNLÜER Yasemin ÜNVER Ersan BEKTAŞ Şahin DİREKEL Muhammet KARAMAN Halide S. KARAMAN	<b>Synthesis, Biological Activities and Molecular Docking Studies of New Schiff Bases Derivatives</b> <i>Yeni Schiff Bazlı Bileşiklerin Sentezi, Biyolojik Aktivite ve Moleküler Docking Çalışmaları</i>	<b>681</b>
Sefa YALVAÇ	<b>Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Kabuk Deformasyonu Belirleme Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması</b> <i>Investigating the Potential of Precise Point Positioning in Crustal Deformation Studies</i>	<b>695</b>
Berkant KONAKOĞLU	<b>Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile Jeodezik Elipsoidal Koordinatların (<math>\phi, \lambda, h</math>) 3 Boyutlu Global Kartezyen Koordinatlara (X, Y, Z) Dönüşümü</b> <i>Transformation of Geodetic Ellipsoidal Coordinates (<math>\phi, \lambda, h</math>) to 3 Dimensional Global Cartesian Coordinates (X, Y, Z) with Multi-layer Perceptron Artificial Neural Network</i>	<b>702</b>
Aliye Ayça SUPÇİLLER Muhammet Enis BULAK	<b>Mobil Uygulamaların Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi</b> <i>Performance Evaluation of Mobile Applications with Data Envelopment Analysis</i>	<b>711</b>
Osman KOMUT Serpil SANTO	<b>Change of Income from Forest Products based on Geographical Location of Enterprises and some Marketing Variables</b> <i>Orman Ürünlerinden Sağlanan Gelirlerin İşletmelerin Coğrafi Konumu ve Bazı Pazar Değişkenlerine Göre Değişimi</i>	<b>724</b>
Altuğ KARABEY Yunus ÖZKAN Bahadır SAYINCI Faruk YEŞİLDAL	<b>Pestisit Uygulamaları İçin Optimize Edilmiş Koşullarda Sprey Karakteristiklerinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Spray Characteristics in Optimized Conditions for Pesticide Applications</i>	<b>733</b>
Ömer CIHAN Majid JAVADZADEHKALKHORAN Osman Akın KUTLAR	<b>Improvement of the Electronic Control Unit for Ignition and Injection in a Wankel Engine</b> <i>Bir Wankel Motorda Ateşleme ve Püskürtme Üniteleri İçin Elektronik Kontrol Ünitesinin Geliştirilmesi</i>	<b>742</b>
Gonca ÇELİKTEN Ertan SÜREK	<b>Genelleştirilmiş Burgers–Fisher Denkleminin Açık Logaritmik Sonlu Fark Yöntemi ile Sayısal Çözümü</b> <i>Numerical Solution of the Generalized Burgers – Fisher Equation with Explicit Logarithmic Finite Difference Method</i>	<b>752</b>
Hüseyin KARAKAYA Fatma Sezer ÖZTÜRK Murat YILMAZTEKİN	<b>Taze ve Olgunlaştırılmış Taşköprü Sarımsağından (<i>Allium sativum</i> L.) Farklı Çözücüler Kullanılarak Elde Edilen Ekstraktların Antimikrobiyal Aktivitelerinin Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Antimicrobial Activities of Taşköprü Raw and Aged Garlic (<i>Allium sativum</i> L.) Extracts Obtained by Using Different Solvents</i>	<b>762</b>
Hüseyin Avni ES	<b>Gri Tahmin Modelleri ile Toplam Enerji Talep Tahmini: Türkiye Örneği</b> <i>Forecasting Total Energy Demand with Grey Prediction Models: The Case of Turkey</i>	<b>771</b>
Mahmut Can ŞENEL	<b>Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen Saf Al ve Al-B<sub>4</sub>C, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Mechanical and Microstructure Properties of Al-B<sub>4</sub>C and Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Compositated Fabricated by Powder Metallurgy Method</i>	<b>783</b>
Mithat YANIKÖREN Selim TEZGEL Bilal USANMAZ Ömer GÜNDOĞDU	<b>Taşıt Titreşimlerinin Sürücü Konforuna Etkisi: Yarım Araba ve Sürücü Modeli</b> <i>Effect of Vehicle Vibrations on the Driver Comfort: Half Car and Driver Model</i>	<b>796</b>
Şenol BAYRAKTAR Ali Paşa HEKİMOĞLU	<b>Optimization of Thrust Force and Surface Roughness Using Response Surface Methodology (RSM) in Drilling of Al-30Zn Alloy</b> <i>Al-30Zn Alaşımının Delinmesinde Yüzey Cevap Metodu (YCM) Kullanarak İlerleme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu</i>	<b>804</b>

Nihan GÜNGÖR	<b>BG-Volterra Integral Equations and Relationship with BG-Differential Equations</b> <i>BG-Volterra İntegral Denklemleri ve BG-Diferansiyel Denklemlerle İlişkisi</i>	<b>814</b>
Faruk YEŞİLDAL Kadir GELİŞ	<b>Gümüşhane İklim Şartlarında Farklı Malzemeler İçin Yalıtım Kalınlıklarının TS 825 Kapsamında Değerlendirmesi</b> <i>Evaluation of Insulation Thicknesses For Different Materials Under Climatic Conditions of Gümüşhane Within the Scope TS 825</i>	<b>830</b>
Abdullah Talha KABAKUŞ	<b>A Performance Comparison of Java Cache Memory Implementations</b> <i>Java Ön Bellek Gerçekleştirmelerinin Bir Performans Karşılaştırması</i>	<b>844</b>

---

# Nanopartikül Takviyeli Polimer Matrisli r-PET Geri Dönüşüm İpliklerinin Mikroyapı, Termal, Mekanik ve Antistatik Özelliklerinin İncelenmesi

## Investigation of Microstructure, Thermal, Mechanical and Antistatic Properties of Nanoparticle Reinforced Polymer Matrix r-PET Fiber Yarns

Kadir GÜNDOĞAN\*<sup>1,a</sup>, Dilan KÖKSAL ÖZTÜRK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, 64200, Uşak

<sup>2</sup>Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 64200, Uşak

• Geliş tarihi / Received: 04.07.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 15.04.2020

### Öz

Son yıllarda nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, polimer esaslı nanokompozitlerin üretimi ve kullanımı artmış, aynı zamanda bu kompozitlerin diğer alanlara uygulanabilirliği de önemli ölçüde gelişmiştir. Bu alanlardan biri de tekstildir. Tekstil uygulamalarında kullanılan polimer matrisli nanokompozitler sayesinde dayanımı daha yüksek, fonksiyonel, yüksek mukavemetli, antibakteriyel ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş ürünler üretmek mümkün hale gelmiştir. Tekstilde kullanım amaçlı üretilen geri dönüşüm polimer matrisli nanokompozitler ise gün geçtikçe değerlendirilen diğer bir konudur. Günümüzde birçok firma atık PET polimerlerinden nanokompozitler üreterek çevreye katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada tekstilde kullanılan nanopartikül takviyeleriyle zenginleştirilmiş geri dönüşüm PET matrisli nanokompozitlerinin mekanik, mikroyapı, termal ve antistatik özellikleri incelenmiştir. Eriyikte birleştirme yöntemiyle üretilen 120 nm kalınlığındaki filamentlere takviye malzemesi olarak ZnO, karbon nanotüp (CNT) ve TiO<sub>2</sub> kullanılmıştır. Eklenen nanopartiküller ağırlıkça %0.1, %0.3 ve %0.5 oranındadır. Yapılan deneyler ve analizler sonucunda kompozitlere eklenen takviye malzemelerinin kompozitlerin mekanik, termal ve antistatik özelliklerini iyileştirdikleri görülmüştür. Kompozit malzemelere yapılan mukavemet testlerinde CNT takviyeli numunelerin sonuçlarıyla takviye verilmemiş PET polimerinin mukavemet değeri kıyaslandığında ortalama %15 artış meydana geldiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Eriyikte Birleştirme, Geri Dönüştürülmüş PET, Karbon Nanotüp, Polimer Matrisli Nanokompozit, Titanyum Dioksit

### Abstract

In recent years, polymer matrix nanocomposites production and usage ratio is increased and therewithal the applicability of these composites to other areas has also improved significantly. Textile industry is one of these areas. With the used of polymer matrix nanocomposites in textile applications, it become possible to produced improved products with high strength, functional, antibacterial and good mechanical properties. Textile recycling yarns get popular day by day. Lots of textile company producing recycled PET fiber yarns and this is contributed to the environment. In this study recycled PET polymer was used as a matrix and enriched nanoparticles to investigate mechanic, microstructure and thermal properties. Melting method was used for producing of nanocomposite multifilament yarns. Filament thickness was 120 nm and TiO<sub>2</sub>, ZnO and CNT was used as a reinforcement to ratio %0.1, %0.3, %0.5 respectively. After analysis and experiments, it was seen clearly reinforcements was affected positively the mechanical, microstructure and thermal properties of r-PET nanocomposites. According to the result of tensile strength tests, it was seen that CNT reinforcement increased tensile strength of r-PET polymer about %15.

**Keywords:** Melt Mixing, Recycled PET, Carbon Nanotube, Polymer Matrix Nanocomposite, Titanium Dioxide

\*a Kadir GÜNDOĞAN; kadir.gundogan@usak.edu.tr, Tel: (507) 777 18 79, orcid.org/0000-0001-6742-3110

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-6735-5506

## 1. Giriş

Günümüzde değişen çevre koşulları ve ekonomik zorluklar dünya genelinde atıkların geri kazanımı ile ilgili fikir arayışlarına neden olmuştur. Bunun yanı sıra atık geri kazanımı ile ilgili var olan teknolojilerde geliştirilmeye başlanmıştır. Bu atıklardan doğada en uzun süre bozulmadan kalanlarından biri polietilen terafatolat (PET) plastiğidir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de gömülerek yakılarak veya depolanarak bertaraf edilen PET atıkları doğada yüzyıllar boyu varlığını sürdürmektedir (Telli vd., 2012).

Polimerler yapıları itibarıyla geri dönüşüme en elverişli malzemelerdir. Bu maddelerin çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek geri dönüşümlerinden elde edilen ikincil hammaddelerin birçok alanda kullanımı mümkündür. Ayrıca plastiklerin geri dönüşüm teknolojilerinde yaşanan gelişmeler de geri dönüşüm oranını arttırmakta ve bu da birçok endüstri için yeni hammadde kaynağının ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Dünya çapında yapılan araştırmalara göre PET plastiği geri dönüşüm için en uygun olan malzemelerden biridir (Awad ve Khalaf, 2016). PET polimerinin yaşamsal döngüsü incelendiğinde tüketimi en yüksek olan polimerlerin başında gelir. Bu polimer kolayca geri dönüştürülerek diğer polimerlere göre daha az özellik kaybıyla kendine daha fazla kullanım alanı bulan yeni bir hammadde olmaktadır.

PET polimerinin tekstil endüstrisinde kullanımı ise günümüzde giderek artmaktadır. Geri dönüşüm işleminden sonra eriyikten lif çekme yöntemiyle elde edilen r-PET liflerinin çevre dostu olması ve diğer liflere oranla üretiminde daha az maliyet getirmesi tekstil alanına katkı sağlayacak uygulamalarda kullanılmasına zemin hazırlamaktadır. İşleme alınan PET plastiğinden elde edilen liflerin kalitesi geçtiği kimyasal temizlemeden sonra önemli ölçüde artar. Aynı zamanda r-PET daha az oluşum enerjisi gerektirmesi ve az miktarda karbon salınımıyla diğer lifler arasında öne çıkmaktadır. Bütün bu özellikler bir araya geldiğinde r-PET polimeri tekstil endüstrisi için tercih edilebilir bir hammadde haline gelebilir. Bu çalışmada üstün özelliklerinden ve çevre dostu olmasından dolayı r-PET polimeri tercih edilmiştir. Geridönüşüm yoluyla elde edilen r-PET ve diğer kullanıma uygun polimerlerden ikincil hammadde elde edilmesi; hem endüstrinin hammadde ihtiyacını

azaltmakta, hem doğal kaynakların tükenmesi azalmakta hem de ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Tekstil ve diğer endüstrilerde kullanılan polimer matrisli kompozitlerin üretim prosesleriyle nanoteknoloji ilgilenir. Nanoteknoloji nanoboyuta sahip yapılarla ve bu yapılara uygulanan proseslerle ilgilenen disiplinlerarası bir teknolojidir (Harry vd., 1996). Bu çalışmada r-PET polimeri matris malzemesi olarak kullanılmış, üretilen kompozite mekanik ve antistatik özellikler kazandırılmak için takviye malzemeleri eklenmiştir. Nano boyutta eklenen bu malzemeler sayesinde kompozit malzemelerin toplam yüzey alanları genişlemiş, böylece eklenen nano partiküllerin etkisi ile konvansiyonel malzemelere kıyasla çok daha başarılı olmuştur. Genellikle polimer maddelerin belirli özellikleri ile liflerin performanslarını birleştiren kompozit üretim çalışmalarında düşük yoğunluk oranlarında eklenen takviye malzemeleri olsa bile malzemenin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinde bariz artışlar meydana getirmektedir. Bu çalışmada da takviye malzemeleri düşük oranda eklenerek, kompozitin özelliklerinde belirgin iyileşmeler olması beklenmiştir.

Kompozit yapılarda takviye malzemesini seçerken, mukavemet, yorulma değeri, ısıl özellikler ve çekme direnci gibi kompozitte olması istenen özellikler göz önünde bulundurulur. Lifler arasında gerilim transferi sağlamak, takviye ve matris ara yüzeyin etkileşiminin iyi olması, liflerin korozyondan korunması kompozit malzeme seçiminde önemli olan diğer unsurlardır. Bu çalışmada TiO<sub>2</sub>, karbon nanotüp ve ZnO kullanılmıştır. Bu takviyelerin seçiminde kompozit malzemeye kazandırılmak ve test edilmek istenen özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Literatür çalışmaları incelendiğinde bu takviye malzemelerinin kullanıldığı kompozit malzemelerin özelliklerinde belirgin iyileşmeler olduğu görülmüştür (Simsek vd., 2007). Titanyum dioksit kararlı yapısı, toksik olmaması ve güçlü oksitleyici etkisiyle antibakteriyel, antistatik özellik kazandırılmak istenen kompozit malzemelerde kullanılır (Wang vd., 2015). Bu çalışmada ise özellikle antistatik özelliğinin tayini için kullanılmıştır. Ayrıca TiO<sub>2</sub> güçlü bir fotokatalitik katalizördür (Erem ve Özcan, 2015).

Çinko oksit elektriksel özelliklerinden dolayı tekstil uygulamalarında ve bu çalışmada tercih edilen başka bir takviye malzemesidir. Antistatik özelliğiyle bilinen bu malzeme üretilen kompozitlere mekanik dayanım da kazandırmıştır.



Bir diğer takviye malzemesi olan karbon nanotüp üstün dayanımı ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, elektrik ve ısı iletkenliği yüksek olan bir malzemedir. Az miktarda kullanıldıkları takviye oranlarında bile malzemelerin özelliklerine yüksek katkıda bulunurlar (Simsek vd., 2007; Gigaz vd., 2017). Burada karbon nanotüp mukavemet, antistatik özellik için kullanılmıştır. Diğer malzemelere göre iyileştirme etkisi çok fazla olmasına karşın yüksek maliyeti karbon nanotüplerin en belirgin dezavantajıdır.

Bu çalışmada üretilen polimer matrisli nanokompozitlerde yöntem olarak takviye malzemeleri lif içerisine üretim aşamasında eklenmiştir. Bu yöntemin avantajı partiküllerin yüksek yüzey enerjileri ile liflere bağlanarak etkisini arttırmasıdır. Bu sayede takviye malzemeleri etkisini göstererek polimer matris ara yüzeyinde yüksek etkileşimden dolayı kompozitin mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Ayrıca diğer bir avantajı ise polimer matrisli kompozitlerde bu yöntemle üretilen çok fonksiyonlu tekstil ürünleri fonksiyonlarını uzun süre korumasıdır.

Lif matrisli polimer nanokompozitlerin eklenen çeşitli takviye elemanlarıyla istenen özelliklerde malzemeler geliştirip tekstil alanında kolaylıkla uygulanabilmesi yenilikçi birçok ürün geliştirmede ve var olan üretim problemlerini azaltmakta büyük avantajdır. Diğer yandan polimerlerin geri dönüşüme imkân vermesi ve dönüşümden elde edilen malzemenin ikincil hammadde olarak endüstride tekrar kullanılabilmesi önemlidir. Gerek ekonomik koşullar gerek çevre koşulları geri dönüşüm kompozit malzemeler üretiminin ve yapılan çalışmaların artmasında önemli rol oynamıştır. Bütün bu bilgiler ışığında r-PET polimeri gerek geri dönüşüm oranının yüksek olması gerek işleme kolaylığı ile bu çalışmada çeşitli takviye malzemeleriyle zenginleştirilerek kompozitler elde edilmiş ve çeşitli deneylerle takviye malzemelerinin etkileri incelenmiştir.

Son olarak literatür çalışmaları incelendiğinde, polimer matrisli nanokompozitlerin üretimi ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla ilgili varolan bir çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde polimer matris olarak r-PET kullanılan çalışmaların sayısı kısıtlıdır. Bu çalışmada r-PET polimeri tercih edilerek ve olumlu sonuçlar alınarak var olan literatür çalışmalarına eklenmesi ve gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere temel oluşturması hedeflenmiştir.

## 2. Nanoteknoloji ve Tekstil Alanındaki Uygulamaları

Nanomalzemelerin tekstil alanında uygulamaları son yıllarda giderek artış kazanmıştır. Nanoteknoloji ve nanomalzemeler uygun koşullarda ve miktarlarda kullanılarak tekstil ürünlerine çeşitli fonksiyonların kazandırır ve bu ürünler diğer ürünlere göre daha işlevsel özelliğe sahiptir. Bu işlevsel özelliklerden bazıları, su iticilik, antimikrobiyal özellik, antistatik ve mekanik ve termal dirençtir. Bütün bu özellikler nanotakviyeler sayesinde ürünlere kazandırılabilir. Bütün bu özellikler kazandırılabilir.

Tekstil ürünleri ve özellikle tekstil ipliklerinde üretim esnasında birtakım problemler oluşmaktadır. İpliklerin mukavemet, çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri, elektriklenme problemleri nanopartiküller sayesinde azalabilir. Yapılan literatür çalışmaları bu olumlu katkıları desteklemektedir (Altay ve Sarıkanat, 2019).

Filament çekim nanokompozitlerde en çok kullanılan takviye malzemeleri gümüş oksit, karbon nano tüp, grafen, TiO<sub>2</sub> dir. Bu malzemelerin her biri oluşan kompozit malzemeye farklı bir özellik kazandırmaktadır. Bazı çalışmalarda UV koruması için tekstil ürünlerinin yüzeyleri polimer nanokompozit malzemelerle kaplanmıştır (Selamet vd., 2013). ZnO, A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> UV koruması için en çok tercih edilen nanopartiküllerdir. Bu nanotaneçikler zararlı UV ışınlarını emerek ya da yansıtarak koruma sağlanmaktadır. İletken tekstil iplikleri üretmek için iletken nanokompozitler kaplama ya da lif olarak kullanılmaktadır. Grafit, karbon, gümüş, nikel ve altın gibi iletken nanotaneçikler geri dönüştürülmüş PET polimerinden üretilen liflerle beraber kullanılarak iletken nanokompozitler üretilmektedir.

İpliklere antibakteriyel özellik kazandırmak içinse uygulamalarda en çok TiO<sub>2</sub>, Ag, ZnO, Cu, Ga, Au, karbon nanotüpler ve nano kil en çok tercih edilen antimikrobiyal özelliği olan nanopartiküllerdir. Antimikrobiyal nanotaneçiklerin polimer matrislere karıştırılması sonu elde edilen lif veya filmler şeklinde kullanılarak kompozitler üretilmektedir.

## 3. Materyal ve Method

Bu çalışmada kullanılan geri dönüşüm polietilen tereftalat (r-PET) Uşak Apeks Geri Dönüşüm San. Tic. A.Ş. den granül halinde alınmıştır. CNT,

TiO<sub>2</sub> ve ZnO nanopartikül takviyeleri ise Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Geri dönüşüm polietilen teraftalat polimerinden eriyikten çekim ile filament r-PET lifler üretilmiştir. Nanopartikül takviyeleri r-pet lifinin üretimi esnasında eklenerek kompozit malzeme şeklinde üretilmiştir. Bu üretilen malzemelerin

mikroyapı karakterizasyonu için FTIR analizi yapılmış, termal özelliklerinin incelenmesi için TGA analizi yapılmış ve eklenen nanopartikül takviyelerinin antistatik ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışma süresince kullanılan takviye malzemelerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan takviye malzemelerinin özellikleri (URL-1).

Takviye malzemesi	CAS number	Safılık değeri (%)	Partikül çapı (nm)	Molekül ağırlığı (gr/mol)	Erime noktası (°C)
Karbon nanotüp	308068-56-6	98	15-25	-	-
TiO <sub>2</sub>	12188-41-9	98	20-25	79.87	1843
ZnO	1314-13-2	97	20-30	81.40	1975

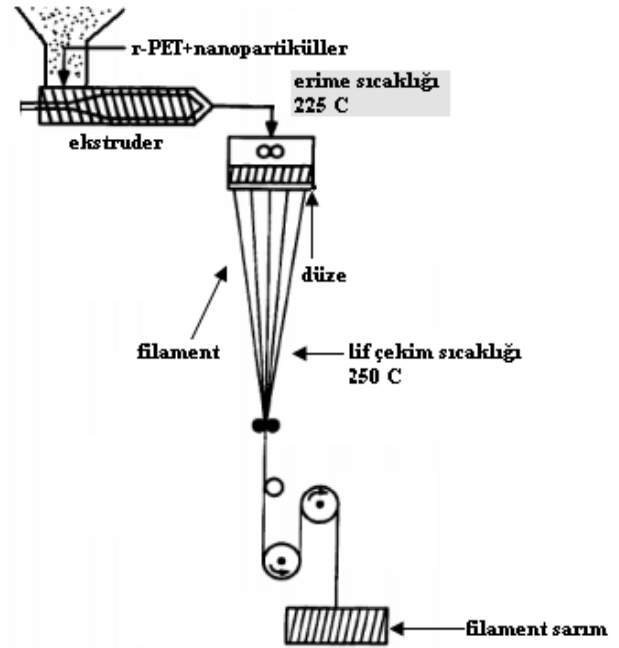
TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CNT takviyeleri r-PET filamentlerine %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarına eklenerek dokuz adet farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Bu malzemelere sırasıyla r-PET/0.1TiO<sub>2</sub>, r-PET/0.3TiO<sub>2</sub>, r-PET/0.5TiO<sub>2</sub>, r-PET/0.1ZnO, r-PET/0.3ZnO, r-PET/0.5ZnO, r-PET/0.1CNT, r-PET/0.3CNT, r-PET/0.5CNT kodları verilmiştir.

r-PET granülleri eriyikten filament çekimi için ilk olarak ekstrüzyona alınmıştır. Çalışma sıcaklığı 225 °C derece sıcaklığa ayarlanan ekstrüzyonda polimer eritilmiştir. Daha sonra eriyik haldeki polimere nanopartikül takviyeleri sırasıyla eklenir. Her bir takviye malzemesi için farklı oranlarda filament çekimi yapılmıştır. Son aşamada polimer ve nanotakviye karışımı basınç ile düzeler gönderilerek 250 °C derece çalışma sıcaklığında kompozit lif çekimi başlamıştır. Üretime ait şema Şekil 1' de görülmektedir (Kozanoğlu, 2006).

#### 4. Sonuç ve Tartışma

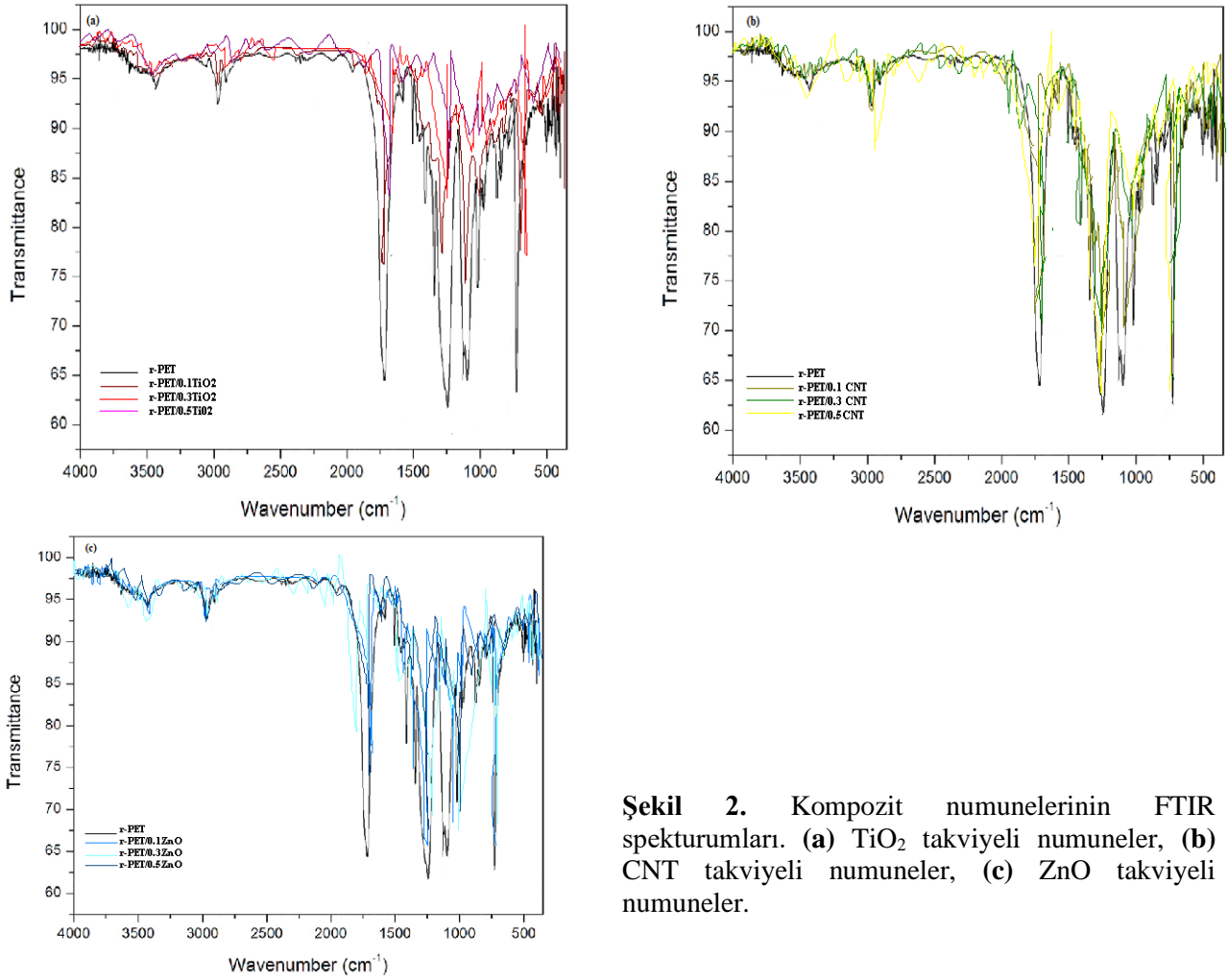
Bu çalışmada r-PET geri dönüşüm polimerinden üretilen kompozitlere eklenen takviye malzemelerinin kompozitlerin mekanik, antistatik ve ısıl özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Kompozitlerin mikro yapı analizleri için FTIR spektrumları yapılmıştır. Dokuz adet kompozit numunesine takviye malzemesine göre üçerli gruplar halinde FTIR analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. r-PET polimerinin FTIR sonucunda karakteristik olan C-O ve C-H pikleri gözlemlenmiştir. Kompozit numunelerin FTIR spektrumları Şekil 2'de görülmektedir.



**Şekil 1.** Kompozitlerin filament çekim ile üretiminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006).

ZnO/r-PET, TiO<sub>2</sub>/r-PET ve CNT/r-PET kompozitlerinin FTIR spektrumları incelendiğinde her üç grafiğinde birbirleriyle benzer olduğu r-PET polimerine ait karakteristik piklerin takviye malzemeli kompozitte de gözlemlendiği görülmüştür. r-PET kompozitlerine eklenen nano takviyeler, r-PET polimerinin karakteristik özelliklerine çok fazla etkide bulunmamıştır. %0.5 takviyeli kompozitler için FTIR spektrumu incelendiğinde ise piklerin diğer oranlardaki kompozitlere göre çok az da olsa azaldığı görülür (Şekil 2).



**Şekil 2.** Kompozit numunelerinin FTIR spektrumları. (a) TiO<sub>2</sub> takviyeli numuneler, (b) CNT takviyeli numuneler, (c) ZnO takviyeli numuneler.

Bunun sebebi ise nanomalzemelerin kompozit malzeme içerisindeki takviye oranının artmasıyla malzeme geçirgenliğinin azalmasıdır. Ayrıca CNT siyah renge sahip olduğundan malzemenin geçirgenliğinin azalmasında diğer bir etkidir. Fakat her üç malzeme içinde geçirgenlik azalması farklı değildir. Bunun sebebi de takviye oranların en fazla %0,5 olmasıdır.

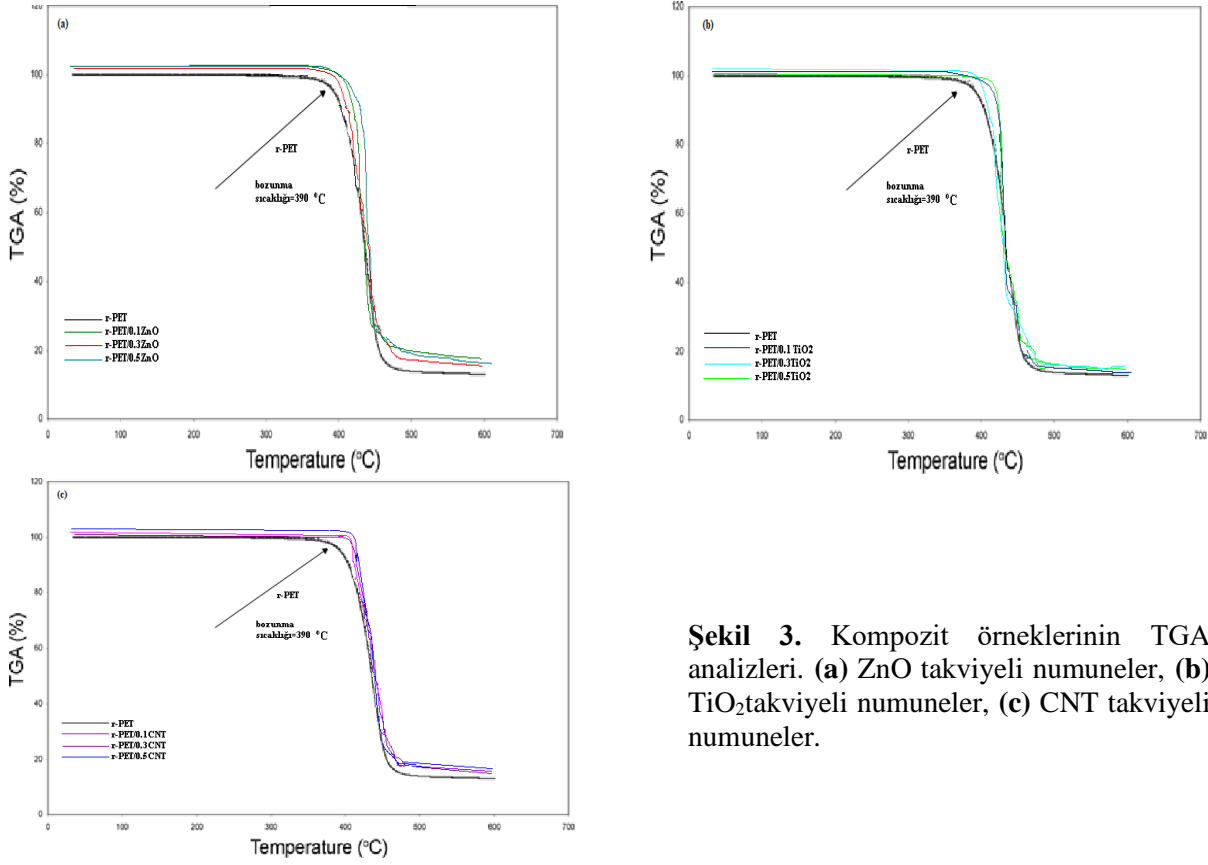
Kompozitlerin termal özelliklerinin incelenmesi için numunelere TGA analizleri yapılmıştır. Şekil 3’de üç ayrı grafik sunulmuştur. Bu grafikler r-PET/TiO<sub>2</sub>, r-PET/ZnO ve r-PET/CNT kompozitlerini belirtmektedir.

TGA analizinde r-PET polimerinin karakteristik ısıl bozunma ve termal kararlılık eğrisi görülmektedir. Eğrilere bakıldığında her üç farklı takviye malzemesiyle farklı ağırlık oranlarında oluşturulan 9 adet kompozit örneği için TGA eğrileri r-PET eğrisine benzer çıkmıştır. Eklenen takviye malzemelerinin r-PET polimerinin bozunma sıcaklığına kayda değer bir etkisi olmadığı düşünülmüştür. Şekil 3’teki grafiklere bakıldığında CNT takviyeli kompozitlerde bozunma sıcaklık değerleri saf polimere göre bir

miktar yüksektir. Bunda CNT lerin bozunma sıcaklığının çok yüksek olmasının etkisi olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kompozit ipliğe eklenen takviye malzemelerinin polimerin kararlılığını artırması sonucu bozunma sıcaklıklarında yükselme görülmesinin diğer bir nedenidir.

Konuyla ilgili olarak Arslan (2011) yaptığı tez çalışmasında çok duvarlı karbon nanotüp/poli(laktik asit) kompozitlerini çözelti dökme yoluyla hazırlamıştır. Kompozitlerin termal analiz sonuçlarına göre karbon nanotüp takviyesiyle ilk bozunma sıcaklığı olan 328.91 °C’den 347 °C’ye kütlece %0.5 karbon nanotüp ilavesiyle artmıştır. Burada görüldüğü gibi karbon nanotüp takviyesi düşük ağırlık oranlarında bile kompozitlerin ısıl özelliklerine belirgin iyileştirmeler yapmaktadır. Karbon nanotüp katkısıyla ilgili benzer sonuçlar bu çalışmada da elde edilmiştir.

Kompozitlerin mikroyapı ve ısıl özelliklerinin tayinininden sonra mekanik testlere geçilmiştir. Tablo 2’de numunelere ait kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri görülmektedir.



**Şekil 3.** Kompozit örneklerinin TGA analizleri. (a) ZnO takviyeli numuneler, (b) TiO<sub>2</sub> takviyeli numuneler, (c) CNT takviyeli numuneler.

**Tablo 2.** Numunelerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri.

Malzeme	Kopma Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
r-PET	101.3	16.2
r-PET/0.1TiO <sub>2</sub>	106.7	14.3
r-PET/0.3TiO <sub>2</sub>	112.1	11.6
r-PET/0.5TiO <sub>2</sub>	117.5	9.8
r-PET/0.1ZnO	105.6	17.3
r-PET/0.3ZnO	109.7	19.8
r-PET/0.5ZnO	115.1	21.5
r-PET/0.1CNT	110.2	19.3
r-PET/0.3CNT	115.6	23.1
r-PET/0.5 CNT	121.8	27.3

Mekanik özellikler için yapılan mukavemet testi sonuçlarında takviye malzemesi verilmemiş r-PET polimerinin mukavemet değeri takviye malzemeli kompozitlere göre daha düşüktür. TiO<sub>2</sub> nanopartikül takviyeleri kompozitlerin kopma gerilim değerlerini gözle görülür bir biçimde arttırmıştır. Diğer yandan numunelerin kopma uzaması yüzde oranları artan TiO<sub>2</sub> takviyeleriyle azalma göstermiştir. Bunun sebebinin TiO<sub>2</sub> partiküllerinin yapısal olarak diğer takviyelere oranla daha tok ve sert olmasıdır. Kompozit

içerisindeki TiO<sub>2</sub> miktarı arttıkça malzemelerin kopma uzaması azalmıştır. Yani malzeme giderek boynuzumsu ve kırılğan bir hal almıştır.

ZnO takviyesi yapılan kompozitlerde kopma gerilimi ve kopma uzaması artış göstermiştir (Tablo 2). ZnO partikülleri esnek yapıda olduğu için malzemeye bir miktar esneklik kazandırarak yüzde uzaması arttırmıştır. CNT takviyeli numunelerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri incelendiğinde en yüksek değerleri aldığı görülür. CNT ile alakalı birçok literatür araştırmasında malzemenin üstün mekanik özelliklerinden bahsedilmiştir. Takviye olarak eklendiği kompozit malzemelerin mukavemet, kopma uzaması, young modülü gibi mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler olduğu görülmüştür (Gigaz vd., 2017).

Erem ve Ozcan (2013) yaptıkları bir çalışmada 0, 0.5, 1, 3 ve 5 % ağırlık oranlarında ZnO kullanmışlardır. Eriyikte birleştirme ile PP/ZnO kompozitleri elde edilmiştir. Sonuçlara göre ZnO ağırlık oranı arttıkça kompozit malzemenin mekanik ve ısıl özelliklerine olumlu etki yaptığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak ZnO partiküllerinin matris arayüzey etkileşiminin güçlü olmasını göstermişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada ZnO/r-PET kompozitlerinin mekanik



ve ısıl özelliklerinde r-PET'e göre iyileşme olmuştur.

Kompozitlere eklenen üç malzemenin numunelerin mukavemetine katkısı olumlu yönde olmuştur. Bu duruma CNT, TiO<sub>2</sub> ve ZnO partikül takviyelerinin matris içerisinde homojen dağılarak kompozit ipliğe uygulanan gerilimin malzemenin her yerine eşit dağılması sonucu direnci arttırmasının neden olduğu düşünülmektedir. Kompozitlerin elastisite modül değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kompozit malzemelerin elastisite modülü.

Malzeme	Elastisite modülü (GPa)
r-PET	93.7
r-PET/0.1TiO <sub>2</sub>	95.85
r-PET/0.3TiO <sub>2</sub>	101.52
r-PET/0.5TiO <sub>2</sub>	117.63
r-PET/0.1ZnO	97.59
r-PET/0.3ZnO	119.12
r-PET/0.5ZnO	130.36
r-PET/0.1CNT	112.55
r-PET/0.3CNT	132.87
r-PET/0.5 CNT	150.61

Tablo 3'e göre elastisite modülü maksimum değerini %0.5 oranında CNT takviyeli nanokompozit filamentinde almıştır. Karbon nanotüp eşsiz esneklik özelliğine sahiptir. Literatür çalışmaları incelendiğinde CNT takviyeli nanokompozitlerin yüzde uzamaları diğer numunelerle kıyaslandığında daha yüksek değerler almıştır (Gigaz vd., 2017). TiO<sub>2</sub> ve ZnO nanopartiküllerinin de r-PET polimer kompozitlerinin çekme özelliğini de olumlu etkilediği görülmüştür. ZnO yapı olarak TiO<sub>2</sub> den daha fazla esnek karakter gösterir. TiO<sub>2</sub> ise ZnO ve CNT takviyelerinden daha fazla sertlik değerine sahiptir. Bu yüzden kompozitlerin elastisite modülleri ölçüldüğünde en az olumlu etki TiO<sub>2</sub> kompozit numunelerinde görülmüştür.

Uzun vd. (2014) yapmış oldukları bir çalışmada ağırlıkça %0.5, %1, %2 ve %4 oranlarında TiO<sub>2</sub> takviyesiyle polipropilen kompozitler üretmiş ve vidalı ekstruder kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kompozit numunelerine TiO<sub>2</sub> ilavesi ile kompozitlerin mekanik özelliklerini olumlu olarak etkilemiştir fakat %0.5 oranında nano-TiO<sub>2</sub> ilavesi genellikle kompozitlerin özellikleri üzerinde olumsuz etkiye sebep olmuştur. Kompozitlerin Elastikiyet Modülleri

%0.5 nano-TiO<sub>2</sub> içeren kompozitlerde düştüğü bulunmuştur. %1 ve %2 oranında partikül içeren kompozitlerde elastikiyet modülü değişmezken, %4 partikül ilavesiyle kompozitlerin elastikiyet modülleri yükselmiştir. Ayrıca kompozitlerin; su alma, yoğunluk, çekme direnci, eğilme direnci, DTA, TGA özelliklerine bakıldığında nano-TiO<sub>2</sub> partiküllerin ilavesinin pozitif etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçları genel olarak yorumlandığında TiO<sub>2</sub> takviyeli kompozitlerin mekanik ve ısıl özelliklerinde literatürle benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Üretilen kompozit numunelerinin elektriksel direnç özellikleri elektrometre (Keithley 6517 B) ile ölçülmüştür. Ölçümlerin sonucunda elde edilen kompozitlerin yüzey dirençleri Tablo 4'te görülmektedir.

**Tablo 4.** Kompozit numunelerinin elektrik dirençleri

Malzeme	Elektrik direnci, R <sub>s</sub> (ohm)
r-PET	4.2*10 <sup>20</sup>
r-PET/0.1TiO <sub>2</sub>	1.24*10 <sup>20</sup>
r-PET/0.3TiO <sub>2</sub>	9.67*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.5TiO <sub>2</sub>	6.65*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.1ZnO	1.10*10 <sup>20</sup>
r-PET/0.3ZnO	8.76*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.5ZnO	5.59*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.1CNT	5.56*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.3CNT	2.16*10 <sup>19</sup>
r-PET/0.5 CNT	4.24*10 <sup>18</sup>

Antistatik özelliklerin incelenmesi için yapılan deneyler sonucu nanopartikül takviyelerinin kompozit malzemelerin antistatik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. PET polimeri en kuvvetli yalıtkanlar arasındadır. Dolayısıyla elektrik direnci çok yüksektir. Ancak tablodan da görüldüğü üzere takviye malzemeleriyle güçlendirilmiş kompozitlerin elektriksel özelliklerinde iyileşme görülmüştür. Özellikle CNT takviyeli kompozitlerde direnç iyileşmesi diğerlerine göre daha fazladır. CNT üstün elektriksel özelliklere sahiptir. Elektrik iletkenliğinin bu kadar yüksek olmasının nedeni yapısında bulunan fazla sayıda π-bağlarıdır (C=C bağı). Elektronlar bu bağlar sayesinde daha hızlı ve kolay iletilmektedir. ZnO veTiO<sub>2</sub> elektriksel özellikleri kuvvetli olan diğer iki metal oksittir. Bu malzemelerin eklendiği kompozit numunelerinde de r-PET polimerinin 10<sup>20</sup> ohm civarında olan elektrik direnci 10<sup>19</sup>-10<sup>18</sup> ohm düzeyine kadar iyileşmiştir.

Zhang vd. (2010) eriyikte birleştirme yöntemi ile PET/grafen nanokompozitleri hazırlamışlardır. Sonuçlara göre kompozit içerisindeki grafen oranı arttıkça PET/grafen nanokompozitinin iletkenliğinin hızla arttığını, nanokompozitin elektriksel iletkenliği %3'lük grafen eklenmesiyle 2.11 s/m seviyesine çıktığını rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada Agrawal vd. (2014) PET matrisli nanokompozitleri ZnO takviye malzemesi kullanarak üretmişlerdir. Numunelerin elektriksel ölçümleri sonucunda ZnO nanotaneçiklerin eklenmesiyle ve matris içerisindeki bileşiminin artırılmasıyla beraber PET polimerinin iletken hale geldiği görülmüştür. Burada r-PET polimerine eklenen TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CNT takviyelerinin elektriksel özelliklere olumlu katkıda bulunması beklenen bir sonuçtur. Her üç takviye için yapılan çalışmalar incelendiğinde matris fazında kullanılan farklı polimerlerle elde edilen kompozit malzemelerin elektriksel özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür (Simsek vd., 2007).

Bu çalışmada r-PET geri dönüşüm polimeri kullanılarak elde edilen nanopartikül takviyeli kompozit malzemelerin mekanik, mikroyapı ve termal özellikleri incelenmiştir. Geri dönüşüm işleminin kolay olması ve tekstil endüstrisine uygulanabilirliği matris olarak kullanılan r-PET polimeriyle alakalı çalışmaların artmasına neden olmuştur. TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CNT takviyeleri ise üstün mekanik, antistatik, termal özelliklere sahiptir. Eriyikte birleştirme yöntemiyle 120 nm kalınlığında filament çekim yöntemiyle üretilen nanokompozitlere yapılan testler sonucunda her üç takviye malzemesiyle farklı oranlarda üretilen kompozitlerin mekanik, termal ve antistatik özelliklerine etkileri olumlu yönde olmuştur. Yapılan bu çalışmada literatüre katkı sağlayacak sonuçlar elde edilmiştir.

## Kaynaklar

- Agrawal, H., Saraswat, K., ve Awasthi, K. 2014. ZnO Doping in PET Matrix Enhances Conductivity of PET-ZnO Nanocomposites. *Advanced Electrochemistry*, 1, 1-6.
- Altay, L. ve Sarıkanat, M., 2019. Karbon Lif Yüzey Modifikasyonunun Karbon Lif ve Karbon Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 26(113), 25–32.
- Arslan, F., 2011. Karbon Nanotüp Takviyeli Polimer Nanokompozit Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 148s.
- Awad, A.S. ve Khalaf, M.E., 2016. Improvement of Chemical and Thermal Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) by Using Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTS). *International Journal of Materials Science and Applications*, 6, 297–301.
- Erem, A. ve Özcan, G., 2015. Polipropilen/Titanyum Dioksit Nanokompozit Liflerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, 27(99), 1–3.
- Erem, A., Özcan G. ve Skrifvars, M., 2013. In Vitro Assessment of Antimicrobial Polypropylene/Zinc Oxide Nanocomposite Fibers. *Textile Research Journal*, 83(20), 2152–2163.
- Gigaz, J., Bradford, P. ve Shao, L., 2017. Radiation-Induced Mechanical Property Changes of CNT Yarn. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B: Beam interactions with Materials and Atoms*, 409, 268–271.
- Harry, L., James, F. ve Mark, E., 1996. Nanocomposites Prepared by Threading Polymer Chains Through Zeolites, Mesoporous Silica, or Silica Nanotubes. *Chemical Materials*, 8, 1735–1738.
- Kozanoğlu, G.S., 2006. Elektrosinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 161s.
- Ma, H., Li, Y., Shen, Y., Zie, L. ve Wang, D., 2016. Effect of Linear Density and Yarn Structure on the Mechanical Properties of Ramie Fiber Yarn Reinforced composites. *Composites: Part A*, 87, 98–108.
- Montazer, M. ve Morshedi, S., 2014. Photo Bleaching of Wool Using Nano TiO<sub>2</sub> Under Daylight Irradiation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 83–90.
- Selamet, Y., Meriç, Z. ve Özyüzer, L., 2013. Antistatic and Antibacterial Properties of Metal Coated PP Fibers by Magnetron Sputtering. *Tekstil ve Mühendis*, 78, 2–5.
- Simsek, Y., Ozyuzer, L., Seyhan, A. T., Tanoglu, M. ve Schulte, K., 2007. Temperature Dependence of Electrical conductivity in Double-Wall and Multi-Wall Carbon Nanotube/polyester Nanocomposites. *Journal of Materials Science*, 42, 9689–9695.
- Subası, A., Zurnacı, M., Kahyaoğlu, A. ve Demir, E., 2017. Polyester/Grafen Kompozitlerinin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3, 472–481.

- Tan, N.L. ve Thomas, H., 2016. A Review of the Water Barrier Properties of Polymer/Clay and Polymer/Graphene Nanocomposites. *Journal of Membrane Science*, 514, 595–612.
- Telli, A., Özdil, N. ve Babaarslan, O., 2012. PET şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı. *Tekstil ve Mühendis*, 19(86), 49–55.
- URL-1, <https://www.sigmaaldrich.com>
- Uzun, G., Gümüş, H., Yıldız, S., Gümüş, S., Aydemir, D. ve Bardak, T. 2014. TiO<sub>2</sub> İlaveli Polipropilen Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta.
- Wang, H., Xian, G. ve Li, H., 2015. Grafting of Nano-TiO<sub>2</sub> onto Flax Fibers and the Enhancement of the Mechanical Properties of the Flax Fiber and Flax Fiber/Epoxy Composite. *Composites: Part A*, 76, 172–180.
- Wu, Q., Li, M., Gu, Y., Wang, S., Yao, L. ve Zhang, Z., 2016. Effect of Sizing on Interfacial Adhesion of Commercial High Strength Carbon Fiber Reinforced Resin Composites. *Polymer Composites*, 37(1), 254–261.
- Zahed, B. ve Monfared, H., 2015. A Comparative Study of Silver-Grapheneoxide Nanocomposites As a Recyclable Catalyst for the Aerobic Oxidation of Benzyl Alcohol: Support Effect. *Applied Surface Science*, 328, 536–547.
- Zahouily, M., Safi, M. ve Quadil, B., 2017. Surface Modification of Knit Polyester Fabric for Mechanical, Electrical and UV Protection Properties by Coating with Graphene Oxide, Graphene and Graphene/Silver Nanocomposites. *Applied Surface Science*, 414, 292–302.
- Zhang, H., Zheng, W., Yan, Q., Yang, Y., Wang, J. ve Lu, Z., 2010. Electrically Conductive Polyethylene Terephthalate/Graphene Nanocomposites Prepared by Melt Compounding. *Polymer*, 51, 1191-1196.
- Zhu, J., Charles, A. ve Wilkie, A., 2000. Thermal and Fire Studies on Polystyrene-Zincoxide Nanocomposites. *Polymer International*, 49, 1158–1163.

## Yeni Yapılacak Bina Temellerinde Gerekli Su Yalıtımı Önlemlerinin Belirlenmesi ve Denetimine Yönelik Bir Öneri

*A Proposal for the Determination and Control of the Required Waterproofing Measures in the Foundations of New Buildings*

**Seher GÜZELÇOBAN MAYUK\***

*Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 41100, Kocaeli*

• Geliş tarihi / Received: 23.07.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 15.04.2020

### Öz

Türkiye'deki mimarlık uygulamalarında, ilk tasarım ve son ürün arasında çoğunlukla üst düzey bir örtüşme görülememektedir. Bu durum, yapıların kullanım aşamasında yetersiz performans (estetik, işlevsel gibi) göstermeleri ile sonuçlanabilmektedir. Bunun yanı sıra, yapılar yaşam döngüleri süresince buldukları çevresel koşullarla ilişkili olarak su, ısı, ses gibi çeşitli etmenlerin etkisinde kalmaktadır. Bu tür çevresel etmenlere karşı gerekli önlemlerin öncelikle yapıların tasarımında alınması, kullanım aşamalarında ortaya çıkabilecek sorunların önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Türkiye'de ısı yalıtım uygulamalarına ek olarak, su yalıtımı ve gürültü hakkındaki yönetmelikler 1 Haziran 2018 itibarıyla yürürlüğe girmiş ve yeni binalarda su ve ses yalıtımları zorunlu hale getirilmiştir. Yapılan çalışma, 'Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği' ve 'Temeller' ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada, yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik bir öneri sunulmaktadır. Kontrol listesi niteliğindeki önerinin, yapıların tasarımından kullanımına kadar geçen süreçte, tasarım ve denetime destek aracı olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Öneri listelerin, temel üretim sürecinin ilgili aşamalarına katılması ve sonuçlarının paylaşılmasıyla; kullanım aşamasında temellerde görülebilecek su sorunları azaltılabilir ya da engellenebilir. Benzer liste önerilerinin diğer yapı elemanları için artırılmasının, yapıların tasarım ve uygulama aşamalarındaki kopuklukların azaltılmasında yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kontrol Listesi, Su Sorunu, Su Yalıtımı, Temeller, Yönetmelik

### Abstract

*In architectural practice in Turkey, a high level overlap between the first design and the final product is not mostly seen. This may be resulted in poor performances (like aesthetical, functional) of buildings during the use phase. Also, buildings are influenced by such impacts as water, heat and sound in relation to their environmental conditions during their life cycle. Taking necessary measures against such impacts in the design phase is important for preventing problems that may arise during buildings usages. In addition to thermal insulation in Turkey, regulations on waterproofing and noise entered into force from the June 1, 2018. After this, water and sound insulation implementations in new buildings have become mandatory. This study, which is limited to the 'Regulation on Waterproofing in Buildings' and 'Foundations', includes a proposal using for the determination and control of the necessary waterproofing measures in the foundations of new buildings. It is envisaged that checklists can be used as a support tool for design and inspection in the period from design to usage. It is thought that the increase of similar list proposals for other building elements would be beneficial in reducing the breaks in the design and implementation phases of buildings.*

**Keywords:** Checklist, Water Problem, Water Isolation, Foundations, Regulation

\*1 Seher GÜZELÇOBAN MAYUK; sgmayuk@gtu.edu.tr, Tel: (0 262) 605 1609; orcid.org/0000-0002-2676-4784

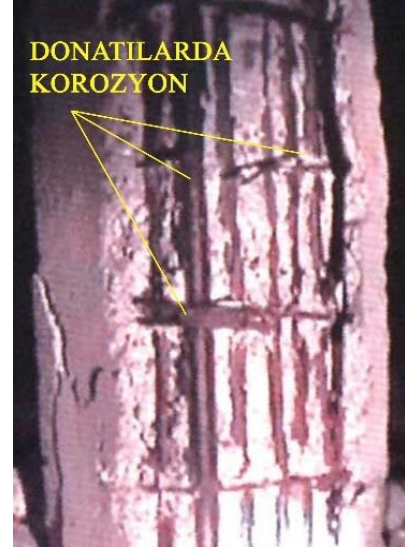


## 1. Giriş

Problem çözümü ya da tasarım süreci olarak tanımlanan mimarlık (Ching, 2007); tasarımcının öncelikle problemin var olan koşullarını kaydetmesi, problemin bağlamını tanımlaması ve konuyla ilgili gerekli verileri edinmesi ile başlamaktadır. Sürecin sonunda problemlere çözüm olarak bir mimari tasarım ürünü ortaya çıkarılmakta ve ürünün uygulanması ile tasarım ürünü somutlaştırılmaktadır. Bu anlamda, süreç sonunda ortaya çıkan 'son ürün' ile 'tasarım ürününün' örtüşmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, mimari tasarım uygulama süreci; yapı üretimini gerçekleştiren disiplinler arası uzmanların bir arada toplandığı bir süreçtir. Bu süreçte, ortak çalışmanın, iletişim ve koordinasyonun en üst düzeyde tutulması, ilk ve son tasarım ürünü arasındaki tutarlılığı da üst düzeylere taşımaktadır (Coşgun ve Kıran Çakır, 2007). Türkiye'deki mimarlık uygulamalarında ise, ilk tasarım ile sonuç ürün arasındaki tutarlılık düzeyinin çoğunlukla üst seviyelerde olmadığı bilinmektedir (Coşgun ve Kıran Çakır, 2007; Aydın İpekçi ve Güzelçoban Mayuk, 2016). Bu durum da yapıların kullanım aşamasında performanslarının (estetik, işlevsel gibi) yetersizliği ile sonuçlanabilmektedir (Güzelçoban Mayuk, 2015).

Öte yandan, su ve nem etmenleri yaşam döngüleri süresince yapıları etkileyen önemli çevresel etmenlerdendir. Bu açıdan, yapıların tasarımı sırasında bu etmenlere karşı gerekli önlemlerin alınması ve yine alınan önlemlerin eksiksiz ve hatasız uygulanması önem taşımaktadır. Türkiye'de bu tür önlemlerin yönetmelikler çerçevesinde hazırlanan projelerle ve şartnamelerle alınmaya çalışıldığı görülmektedir. Buna karşın; yapıların uygulama aşamalarında başta değişken hava koşulları olmak üzere, malzeme depolama koşullarının, teknik koşulların ve teknik eleman bilgi düzeyinin yetersizliği gibi çeşitli sebeplerle, alınan önlemlerin eksik ya da hatalı uygulanması söz konusu olabilmektedir (Temur, 2020). Bu tür eksik ya da hatalı uygulamalar, yapıların kullanımı sırasında yapısal, çevresel ya da kullanıcı sağlığını etkileyebilen sorunları ortaya çıkarabilmektedir. Su ve nem etmeninin, yapıların taşıyıcı sistemine zarar vermesi ve yapı elemanlarının taşıyıcılık performansını azaltması bu tür sorunlardan bazılarıdır (Şekil 1). Depremi ön planda olduğu ülkelerde bu tür sorunların engellenebilmesi; bu açıdan yapılarda gerekli önlemlerin alınması ve uygulamada denetiminin sağlanması önem taşımaktadır. Yapı temellerinde alınacak önlemler

ya da yapılacak uygulamalardaki eksiklik ya da hataların giderilmesinin, toprak üstünde ortaya çıkanların giderilmesi kadar kolay olmadığından yola çıkılırsa, öncelikli olarak yapıların temellerinin su ve nem etkilerine karşı geçirimsizliğinin sağlanmasının gerekli olduğu söylenebilir.



Şekil 1. Taşıyıcı sistemde gözlenen korozyon sorunu (Güzelçoban, 2007)

1 Haziran 2018 itibarıyla, 'Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği'nin Türkiye'de yürürlüğe girdiği bilinmektedir. Yapılarda su ve nem etkisinde oluşan hasarların sürdürülebilirlik, sağlık ve kullanım açılarından olumsuzluk oluşturmalarına karşı, tasarım ve uygulama aşamalarında alınacak önlemler ve uyulacak kurallara yönelik gerekliliklerin düzenlenmesini amaçlayan bu yönetmelikle, yeni yapılacak yapılarda su yalıtımı uygulanması zorunlu hale getirilmiştir (BSYY, 2018; İzoder, 2018). Bu durum, yapıların kullanımı sırasında su ve nem etkenleri nedeniyle ortaya çıkabilecek sorunlara karşı gerekli önlemlerin belirlenmesi ve yapı üretim süreci boyunca gözetilmesi yönünde çalışmaların yürütüldüğünü göstermektedir. Literatüre bakıldığında, su ve nem etmenlerini yapılarda oluşturdukları hasarlar, bu tür hasarlara yönelik yöntem önerileri, maliyet gibi başlıklarda ele alan az sayıda çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır (Gönül ve Çelebi, 2003; Koç ve Altun, 2013; Dal ve Yılmaz, 2015; Kozak ve Kozak, 2015; Kartal ve Işık Üstündağ, 2016; Yıldız ve Dal, 2016). Ayrıca, yapılan bu çalışmaların, güncel su yalıtım yönetmeliği ile ilişkilendirilmediği görülmektedir. Bu anlamda yapılan çalışmanın, çıkarılan yönetmeliğin mimari tasarım ve uygulama süreçlerinde eksiksiz ve hatasız uygulanması açılarından yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

'Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği' ve 'Temeller' ile sınırlandırılan bu çalışmada, yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik bir öneri sunulmaktadır. Kontrol listeleri olarak tanımlanabilecek öneri listelerin oluşturulmasında ilk olarak ilgili yönetmeliğin 5. bölümünde yer alan 'Temel, Döşeme ve Perde Duvarlarda Su Yalıtımı' bölümü irdelenmiştir. Sonrasında, yönetmeliğin bu bölümünde yer verilen maddeler çözümlenerek kontrol listeleri haline getirilmiştir. Yapı temellerinin tüm üretim sürecinin denetlenmesine olanak sağlayacağı düşünülen kontrol listeleri, temellerin tasarımından uygulanmasına kadar geçen her aşama için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Listelerin oluşturulmasında literatürde yer alan çeşitli kontrol listeleri (Koç ve Altun, 2013; Güzelçoban Mayuk, 2015) ve yerel yönetimler ruhsat alma sürecinde kullandıkları kontrol listelerinden yararlanılmıştır. Yapılacak sonraki çalışmalarda, yönetmelik esaslarını içeren listelerin kullanılabilirliğinin sınanmasının, listelerin olumlu olumsuz yanlarının belirlenmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

## 2. Yeni Yapılacak Bina Temellerinde Gerekli Su Yalıtımı Önlemlerinin Belirlenmesi ve Denetimine Yönelik Bir Öneri

Çalışmanın bu bölümünde, ilk olarak yapıları etkileyen su ve nem etmenlerine yer verilmiş olup, etmenlerin yapı temellerini hangi yollarla etkilediği açıklanmıştır. Sonrasında yapılarda ortaya çıkan su ve nem sorunları ele alınmış ve temellerde karşılaşılan sorunlar örneklenmiştir. Su yalıtım malzemeleri ve toprak altında kullanımlarının ardından 'Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği' ile ilgili bilgilerin aktarılmasıyla bölüm sonlanmıştır.

### 2.1. Yapılarda Su ve Nem Etmenleri ve Etki Alanları

Yapılarda su ve nem etmenleri; dış ortamdan ve iç ortamdan kaynaklanan su ve nem olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır (Şekil 2) (Trechsel, 1994, 2001; Avlar, 2000).

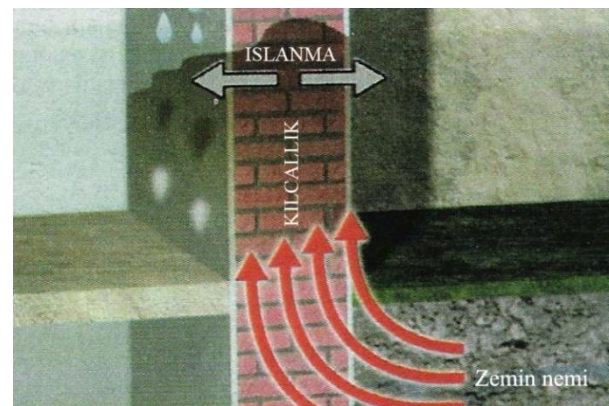
Dış ortamdan kaynaklanan su ve nem; hava ya da zemin bölgesinde oluşan su ve nem olarak sınıflandırılmaktadır (Kubal, 1993; Avlar, 2000). Yapıların hava bölgesindeki su ve nem; yağmur, sis, çiy, şiddetli kar gibi yağış ve hava hareketleri ile oluşan sular, yapının zeminine yakın bölgelerindeki sıçrama suyu, yüzey suları, çarpan su ve dış ortamdaki su buharı olarak sıralanabilmektedir (Kubal, 1993; Trechsel, 1994,

2001; Avlar, 2000). Yapıların zemin bölgesindeki su ve nem; sızıntı suları, birikinti suları, zemin nemi ve yeraltı sularından oluşmaktadır (Avlar, 2000).

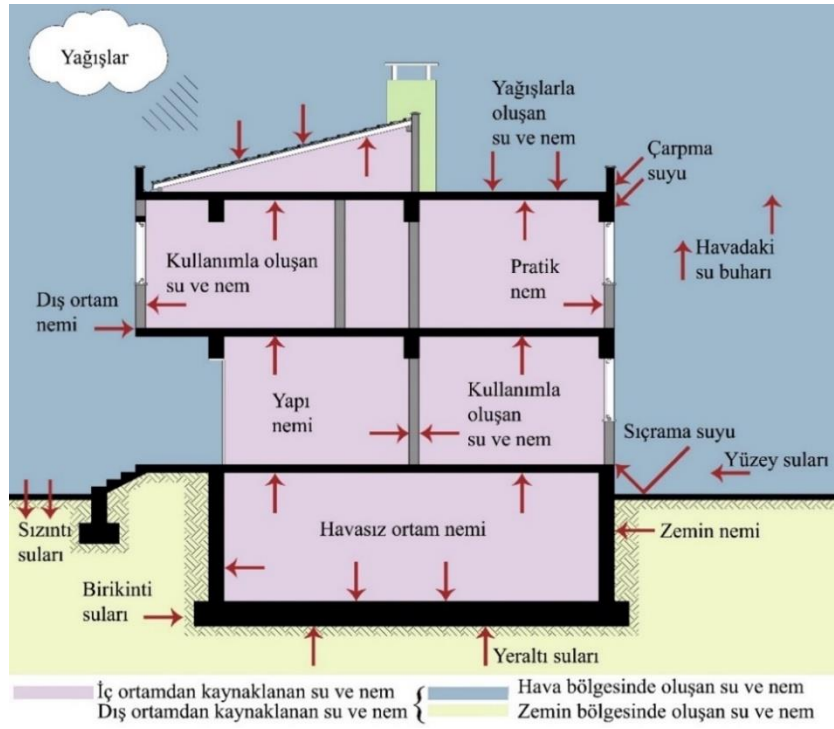
İç ortamdan kaynaklanan su ve nem; kullanımdan kaynaklanan su ve nem, yapı bünyesinde var olan sürekli nem olarak sınıflandırılmaktadır (Avlar, 2000). Kullanımdan kaynaklanan su ve nem; yapının kullanıcıları, mutfak, banyo gibi ıslak hacimler ve bitkiler nedeniyle oluşan su ve nemi kapsamaktadır. Yapı bünyesinde var olan sürekli nem, sürekli nem ve yapı nemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Avlar, 2000). Sürekli nem; yapı elemanlarının yer aldığı ortamın coğrafik koşullarına ve olduğu malzemelerin yapısına göre içinde bulunan nem olarak tanımlanır (Ekinci, 2003). Yapı nemi ise; yapının uygulama aşamasında yapı malzemelerine eklenen suyun zamanla buharlaşarak yok olduğu nem olarak tanımlanmaktadır (Ekinci, 2003). Yapılan araştırmalarda, yapımdan sonra ilk iki yılda 90 kg/m<sup>3</sup>'lük bir su miktarının yapıyı terk ettiği belirlenmiştir (Trechsel, 1994).

Öte yandan, yapı temellerinin çoğunlukla zemin bölgesindeki su ve nem etkisinde kaldığı görülmektedir (Şekil 2). Bu açıdan, yeni yapılacak binaların temellerinde; sızıntı suları, birikinti suları, zemin nemi ve yeraltı suları gibi su ve nem etkilerine karşı yalıtım önlemlerinin alınması önem kazanmaktadır.

Zemin nemi; toprak yapısı ya da yapının bulunduğu coğrafi koşullara göre sürekli var olan, adezyon ya da kılcallık etkisi ile toprak taneleri arasında onlara asılı kalarak süzilemeyen az miktardaki sulardır (Avlar, 2000; Ekinci 2003). Bu sular yapı temelinden kılcallık yoluyla yapı gövdesine doğru yükselerek yapı elemanlarına zarar verebilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Zemin neminin yapıya etkisi (Saint-gobain weber markem yapı kimyasalları, 2006)



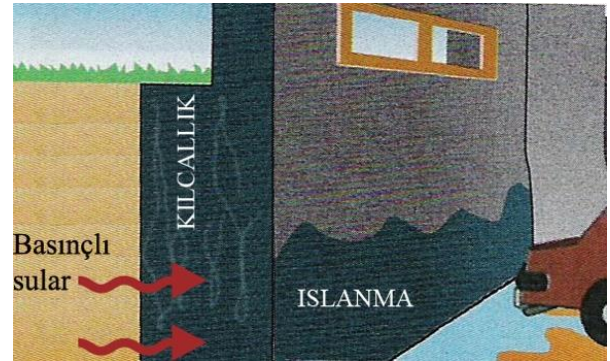
Şekil 2. Yapılarda su ve nem etmenleri ve etki alanları (Güzelçoban, 2007)

Bununla birlikte, yağış, sızıntı ve kullanma suyu gibi suların oluştuğu basınçsız sularla, geçirgen olmayan tabakalarda birikip yükselmeye başlayan basınçlı sular, yeraltı sularını oluşturmaktadır (Ekinci 2003). Yeraltı suyu, Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği (2018)'nde, zemindeki boşlukları tümüyle dolduran ve zemin seviyesi altında toprakla temas eden yapı elemanlarında hidrostatik basınç oluşturan su olarak açıklanmaktadır. Aynı yönetmelikte, zemin bölgesindeki su ve nem etkileri basınçlı ve basınçsız su etkisi kavramlarıyla tanımlanmaktadır. Yeraltı suyunun sürekli ya da geçici olarak yapıda hidrostatik basınç oluşturduğu etki tipi yönetmelikte basınçlı su etkisi olarak aktarılmakta; yeraltı suyunun yapıda hidrostatik basınç oluşturmadan serbestçe uzaklaştığı tip basınçsız su etkisi olarak açıklanmaktadır (BSYY, 2018).

Basınçlı sular; sızıntı ve zemin sularının geçirgen olmayan tabakalarda birikip yükselmesiyle oluşmuş sular olup, basınçsız sulara oranla daha yüksek bir hidrostatik basınca sahiptir. Bodrumlu ya da bodrumsuz yapıların temelleri bu suların etkisinde kalarak zarar görebilmektedir (Şekil 4). Burada da kılcallıkla ilerleme söz konusu olmaktadır.

Basınçsız sular ise; mevsimsel değişikliklere göre azalıp çoğalabilmektedir. Bu nedenle, yapıların çevresel perde duvarları zaman zaman düşük

düzeyde bir hidrostatik basınç etkisinde kalabilmektedir. Böyle bir koşulda perde duvarlara geçen su ve nem, yine kılcallık etkisinde ilerleyerek yapı elemanlarına zarar verebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 4. Basınçlı suların yapıya etkisi (Saint-gobain weber markem yapı kimyasalları, 2006)

Yönetmelikte (2018), yeni yapılacak bina temellerinde alınması istenilen önlemler, yapının yeraltı su seviyesi altında ya da üzerinde yapılmasına ve yapıldığı zemin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, yapı temellerinde alınacak su yalıtım önlemlerinin belirlenmesi ya da denetiminin sağlanmasında bu tür etkilerin net olarak bilinmesi önem taşımaktadır.





**Şekil 5.** Basınçsız suların yapıya etkisi (Saint-gobain weber markem yapı kimyasalları, 2006)

## 2.2. Su ve Nem Sorunları (Hasarları) ve Temeller

Dünya yüzeyinin %70'ini kaplayan (URL-1, 2007) ve katı, sıvı, gaz olmak üzere havada üç şekilde bulunan su; kullanıcılar için yaşam kaynağı olmasının yanı sıra, yapılar için de üretim süreçlerinde gerekli olan doğal kaynaklardan biridir. Buna rağmen, su ve suyla ilişkili olarak nem etkilerine karşı gerekli önlemler alınmadığında; yapılarda, kullanıcılar üzerinde ve ülke ölçeğinde çeşitli sorunların ortaya çıkması olasıdır. Avlar (2000)'a göre, makro ve mikro ölçekli sorunlar olarak ikiye ayrılabilen bu tür sorunlardan makro ölçekliler kent ölçeğindeki sorunları, mikro ölçekliler ise yapı ölçeğindeki sorunları içermektedir. Yapılan çalışmada, yapı ölçeğindeki mikro sorunlara yer verilmektedir.

Yapı üretiminin herhangi bir sürecinden kaynaklanabilen mikro ölçekli sorunlar; tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınmaması, uygulama aşamasında uygulama eksiklik ya da hataları, kullanımda bakım eksikliği, onarım hatası gibi nedenlerle ortaya çıkabilmektedir. Bu tür sorunlar; kullanıcıda sağlık sorunları ve yapısal sorunlar ile birlikte küçük ölçekte maddi hasarlara ve maddi kayıplara neden olabilmektedir (Avlar, 2000). Su ve nem kaynaklı sorunlar genel olarak; yapı malzemelerinde, yapıda, kullanıcı üzerinde, doğal ve yapma çevrede olmak üzere dört başlıkta ele alınmaktadır. Bununla birlikte, su ve nem etmenlerinin ısı etmeni ile yakından ilişkili olduğu unutulmamalıdır (Güzelçoban, 2007). Bu açıdan, alınacak önlemlerin ısı etmeni ile birlikte değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Yapıya etkiyen su ve nem, difüzyon ve akım yoluyla yapı elemanlarına geçebilmektedir. Yapı elemanlarına geçen su ve nem ve iletim, taşınım, ışınım gibi ısı akımlarının etkisinde gerçekleşen

ısısal değişimlerle yapı malzemelerinde sorunlar (hasarlar) görülebilmektedir. Bu tür hasarlar; ısısal şekil değiştirme, şişme ve büzülme, çığkelenme, çatlama, kabarma ve dağılmalar, bakteri ve böceklerin üremesi, korozyon ve çürüme, akma ve damlama oluşumu, malzeme özelliklerinin bozulması ve servis süresinin kısılması olarak sıralanabilmektedir (Avlar, 2000; Güzelçoban, 2007) (Şekil 6).



**Şekil 6.** Teras bir çatıda uygulanmış ısı yalıtım malzemesinin işlevini kaybetmesi (Güzelçoban, 2007)

Yapıya etkiyen su ve nem yapı malzemelerine zarar vererek, aynı zamanda bu malzemelerden oluşan yapılarda sorunlara (hasarlara) yol açmaktadır. Bu tür hasarlar; taşıyıcı sistemin zarar görmesi, ısı geçişlerinin artması, yapı servis ömrünün kısılması, iç ortam nem dengesinin ve yapı estetiğinin bozulması olarak sıralanabilmektedir (Güzelçoban, 2007) (Şekil 7).



**Şekil 7.** Su ve ısı etkenlerinin oluşturduğu hasarlar nedeniyle yıpranmış betonarme bir yapı (Güzelçoban, 2007)

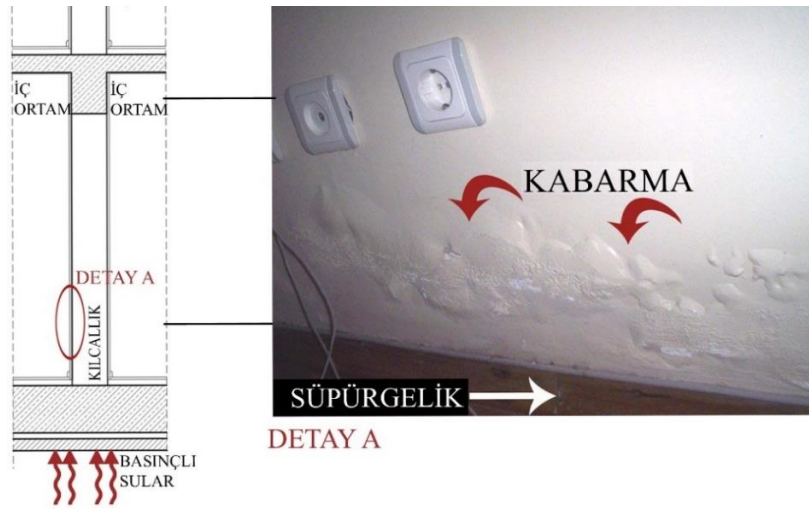


Yapılarda su ve nem etkenlerinin kullanıcı üzerinde oluşturduğu sorunlar; kullanıcı sağlığının bozulması ve yapı kullanım giderlerinin artması olarak sınıflandırılabilir. Bu etmenlerin doğal ve yapma çevrede oluşturduğu sorunlar; doğal kaynakların azalması, hava kirliliği oluşumu, küresel ısınma ve iklim değişikliği olarak ele alınabilmektedir (Güzelçoban, 2007).

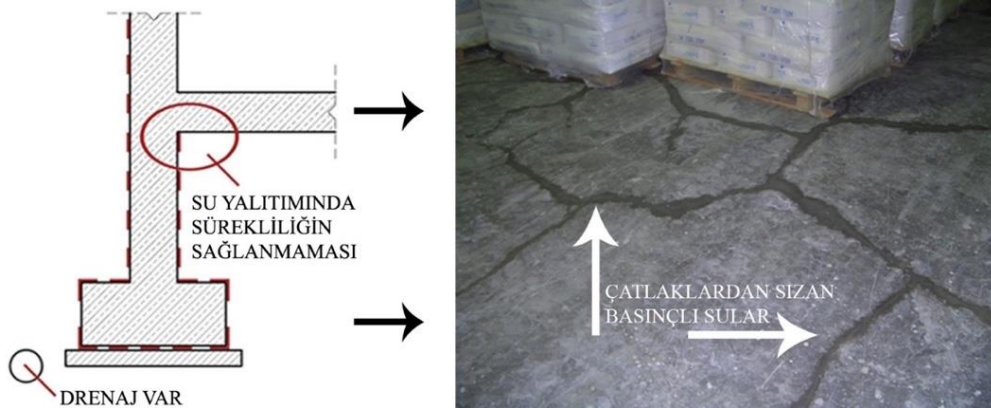
Su ve nem etmenleri kaynaklı sorunlar Tablo 1’de özetlenmektedir. Tabloda yer alan sorunların; yapı temellerinin fiziksel konumlarına, temellerin ilişkili olduğu mekanların kullanım durumlarına, temellerin yapı malzemelerine ya da yapım sistemlerine bağlı olarak; çok, az ya da hiç gözlenmemesi söz konusu olabilmektedir. Şekil 8 ve Şekil 9’da yapıların temellerinde gözlenen sorunlar (hasarlar) örneklenmektedir.

**Tablo 1.** Su ve nem etmenleri kaynaklı sorunlar

<b>Su ve Nem Etmenleri Kaynaklı Sorunlar (Hasarlar)</b>			
<b>Yapı malzemelerinde gözlenen</b>	<b>Yapıda gözlenen</b>	<b>Kullanıcıyı etkileyen</b>	<b>Doğal ve yapma çevrede gözlenen</b>
Isısal şekil değiştirme	Taşıyıcı sistemin zarar görmesi	Kullanıcı sağlığının bozulması	Doğal kaynakların azalması
Şişme ve büzülme	Isı geçişlerinin artması	Yapı kullanım giderlerinin artması	Hava kirliliği oluşumu
Çiçeklenme	Yapı servis ömrünün kısalması		Küresel ısınma ve iklim değişikliği
Çatlama, kabarma ve dağılmalar	İç ortam nem dengesinin bozulması		
Bakteri ve böceklerin üremesi	Yapı estetiğinin bozulması		
Korozyon ve çürüme			
Akma ve damlama oluşumu			
Malzeme özelliklerinin bozulması			
Servis süresinin kısalması			



**Şekil 8.** Bodrum katta bir konutun betonarme perde iç duvarında gözlenen kabarma sorunu (Güzelçoban, 2007)



**Şekil 9.** Zemine oturan bodrum kat döşemesinde basınçlı suların çatlaklardan sızması (Güzelçoban, 2007)

### 2.3. Su Yalıtım Malzemeleri ve Toprak Altında Kullanımları

Yapılarda su ve nem etmenlerine karşı kullanılan su yalıtım malzemeleri; serme (örtü) tip, sürme tip ve yapısal malzemeler olarak üç ayrı sınıfta ele alınmaktadır (Şekil 10). Bunlardan serme (örtü) tipi malzemeler; örtü şeklinde serilerek uygulanan bitüm ya da plastik esaslı malzemelerdir. Sürme

tip malzemeler; likit halde olan ve sürülerek uygulanan bitüm ya da çimento esaslı malzemelerdir. Yapısal malzemeler ise; su yalıtım malzemelerinin tek başına çözüm olarak yeterli olmadığı durumlarda, bu malzemelere ek olarak kullanılan kimyasal katkıları, buhar yalıtım malzemeleri ve tamamlayıcı malzemelerdir (Güzelçoban, 2007; Bilgin, 2018).



Şekil 10. (a) Serme (örtü) tip. (b) Sürme tip. (c) Yapısal malzeme (Güzelçoban, 2007)

Yapıların toprak altı bölümlerinde kullanılacak su yalıtım malzeme seçeneklerinin, bahsedilen sınıflandırmalar içerisinde sayı ve nitelik olarak son yıllarda çeşitlendiği görülmektedir. Bu anlamda, malzemelerin uygulama yöntemleri de seçilen malzeme özellikleri ile ilişkili olarak çeşitlenebilmektedir. Su yalıtım malzemelerinin seçiminde, maliyet ölçütünün ön planda yer aldığı görülmektedir (Kozak ve Kozak, 2015; Kartal ve Işık Üstündağ, 2016). Bunun yanı sıra, 'Zemin ve Temel Etüt Raporu'nda belirtilen 'geçirgenlik durumu, yer altı suyu düzeyi, zeminin/suyun kimyasal özellikleri' gibi zemin özelliklerinin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır (Temur, 2020). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'nde zemin sınıfı kavramına yer verildiği görülmektedir. ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere altı sınıfta tanımlanan yerel zemin sınıfları, yapıların yer aldığı zemin yapısı hakkında bilgi vermektedir. Buna karşın, zemin sınıfı ve malzeme seçimi ilişkisine yönelik olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, zeminle ilgili olarak bahsedilen diğer özelliklerin malzeme seçiminde daha öncelikli olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, yapıların toprakaltı bölümlerinin; basınçlı su, basınçsız su ve zemin (toprak) nemi olmak üzere üç yolla su ve nem etkisinde kaldığı bilinmektedir. Bu etmenlere karşı alınacak yalıtım önlemleri, etmenlerin yapıya geçişlerinin önlenmesi ve yapıdan uzaklaştırılmalarının sağlanması yönündedir. Yapıya geçişlerinin önlenmesi için su yalıtım malzemelerinden yararlanılırken, yapıdan uzaklaştırılmaları amacıyla çevresel drenaj sistemleri kullanılmaktadır. Basınçlı suyun yapıya geçişinin önlenmesinde; serme tip, sürme tip ve yapısal malzemeler olmak üzere tüm su ve nem yalıtım malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir (Şahinoğlu, 2017). Benzer şekilde, tüm bu yalıtım malzemeleri basınçsız yer altı sularına karşı kullanılabilir. Buna karşın, bu tür malzemelerin ekonomik sebeplerle basınçsız yer altı sularına karşı az seviyede ve çoğunlukla bitümlü malzemeler, buhar kesiciler ve çimento esaslı su yalıtım malzemeleri kullanıldığı söylenebilir (Şahinoğlu, 2017). Yapıların toprakaltı bölümlerinde bulunan zemin nemine karşı kullanılacak yalıtım malzemeleri ve yöntemleri basınçsız sularla benzer şekildedir. Bu

tür nemin yoğun olduğu bölümlerde, işlev ile ilişkili olarak iç mekanın ısıtma ve havalandırma koşullarının nemi önleyecek nitelikte düzenlenmesi önem taşımaktadır.

#### 2.4. Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği ve Temeller

Çevresel etmenlerin, yapıların kullanım aşamasında sorun oluşturmasını engellemek ya da oluşan sorunlara çözüm getirmek amacıyla, dünyada çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Çoğunlukla yalıtım uygulamalarını kapsayan bu yöntemlerin, Türkiye’de yalıtım sektöründe gelişmeler yaşanmasına katkı sağladığı görülmektedir. Bir yandan yalıtım yapan şirket ve uygulayıcıların sayısında, diğer yandan yalıtımda kullanılan ürünlerin Türkiye’de üretimi ya da dışalım yoluyla sağlanması sonucu çeşitliliğinde gözlenen artış bu konudaki gelişmeler açısından örneklenebilir. Ayrıca, 2005–2006 yıllarında yürütülen çalışmalarla Türkiye’de yalıtım sektörünün %20’nin üzerinde büyüme gerçekleştirdiği bilinmektedir (Güzelçoban, 2007).

Türkiye’de yalıtım sektöründe yaşanan bu gelişmelere ek olarak, ‘Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği’ yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikle, yeni yapılacak yapılarda su yalıtımı uygulanması zorunlu hale getirilmiştir (İzoder, 2018). Yönetmelikle, yapılarda su ve nem etkisinde oluşan korozyon ve dayanım gibi hasarlarla sürdürülebilirlik ve kullanım gibi çeşitli açılardan olumsuzluk oluşturan durumlara karşı, tasarım ve uygulama aşamalarında alınacak önlemler ve uyulacak kurallara yönelik usul ve esasların düzenlenmesi amaçlanmaktadır (BSYY, 2018). Belirtilen amaçlarla ilişkili olarak, yönetmeliğin deprem ülkesi olma özelliği gösteren Türkiye’ye bu açıdan katkı sağlamasının yanı sıra, sürdürülebilirlik ve konfor koşullarının sağlanması konularında yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu anlamda yönetmeliğin, yeni yapılacak binaların mimari tasarım ve uygulamalarında eksiksiz ya da hatasız uygulanması önem taşımaktadır.

Binalarda su yalıtımı yönetmeliği; yeni yapılacak binaların zemin seviyesi altında kalan temel, döşeme ve bodrum duvarlarında, çatılarında, balkon ve ıslak hacimlerinde düzenlenecek su yalıtımı ilkelerini kapsamaktadır. Bu esaslara yönetmeliğin beş, altı, yedi ve sekizinci bölümlerinde ayrı ayrı yer verilmiştir (BSYY, 2018). Tablo 2’de, esasların bölümlere göre dağılımları özetlenmektedir. ‘Temeller’ ile

sınırlandırılan bu çalışmada, yönetmeliğin 5. Bölümü irdelenmiştir.

Bunlara ek olarak, mevcut binalarda su yalıtımına yönelik tadilat yapılması ya da su yalıtımı ve/veya drenaj yapılması durumlarında da bu yönetmeliğe uyulması gerekmektedir. Özel olarak yapılan ve bu yönetmelikteki gerekliliklerden daha başka teknik özelliklerde tasarlanması gereken yapılar (su deposu, yakıt deposu gibi), tekil olarak yer alacak açık ya da kapalı havuz gibi yapılar, tümüyle su içerisinde kalacak şekilde yapılan yapılar ve arazi drenajı yönetmelik kapsamı dışında tutulmaktadır. Buna karşın, konut yapıları içinde ya da bitişik olarak konuta özel yapılacak su deposu ve havuz gibi yapılar bu yönetmeliğin kapsamında yer almaktadır (BSYY, 2018).

### 3. Öneri Kontrol Listeleri

Yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik bir önerinin sunulduğu bu çalışmada kontrol listeleri oluşturulurken, ilk olarak ilgili yönetmeliğin 5. bölümünde yer alan ‘Temel, Döşeme ve Perde Duvarlarda Su Yalıtımı’ bölümü irdelenmiştir.

Sonrasında, yönetmeliğin bu bölümünde yer verilen maddeler çözümlenerek kontrol listeleri haline getirilmiştir. Yapı temellerinin tüm üretim sürecinin denetlenmesine olanak sağlayacağı düşünülen kontrol listeleri, temellerin tasarımından uygulanmasına kadar geçen her aşama için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu sırada, ilgili yönetmeliğin 9-13. maddeleri arasındaki su yalıtım esasları kullanılmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Liste başlıkları ve yönetmeliğin ilgili maddeleri (BSYY, 2018)

Madde No	Kontrol Listesi Başlığı
9	Genel Bilgiler ve Tasarım Kuralları
10	Yalıtım Öncesi Hazırlık
11	Yalıtım Yöntemleri ve Malzeme Seçimi
12	Uygulama Kuralları
13	Drenaj Sisteminin Teşkilî

Yönetmeliğin 9-13. maddelerinin başlıkları, oluşturulan kontrol listelerinin başlıkları olarak kabul edilmiştir. Bu anlamda, yapılan çalışmada yapı temellerinin üretim sürecinde kullanılmak üzere toplam beş farklı kontrol listesi önerilmektedir.

**Tablo 2.** Yönetmelik bölümleri-üretim aşamaları ilişkisi (BSYY, 2018)

Bölüm No	Bölüm Adı (Su yalıtımı yapılacak yapı elemanları)	Alt Başlıklar
5	Temel, Döşeme ve Perde Duvarlar	Tasarım kuralları Yalıtım öncesi hazırlık Yalıtım yöntemleri ve malzeme seçimi Uygulama kuralları Drenaj sisteminin teşkili
6	Balkon ve Çatılar	Tasarım kuralları Uygulama kuralları Malzeme seçimi Yağmur suyu tahliye sistemi
7	Islak Hacimler	Tasarım kuralları Yalıtım sisteminin teşkili Kullanma suyu tahliye sistemi Malzeme seçimi
8	Su Depoları ve Havuzlar	Sistemin teşkili Uygulama Malzeme seçimi

Önerilen listelerin kullanımı sırasında, üretim sürecinin hangi aşamasında olunduğunun tespiti, doğru listenin seçimi ve kullanımı açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, her bir aşamada kontrol listeleri aracılığı ile edinilen bilgilerin bir sonraki aşamada yer alacak ilgili sorumlulara aktarılması, temel üretim sürecindeki aşamaların bütüncül olarak kontrolüne ve geri beslemesine olanak sağlayacaktır.

Yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik olarak önerilen listelere, çalışmanın 'Ekler' bölümünde yer verilmektedir. Ek A, Ek B, Ek C, Ek D ve Ek E olarak belirtilen listelerde, temel üretimi sürecinde dikkate alınacak ya da denetlenecek konular kontrol edilecek başlıklar olarak tanımlanmaktadır. Listelerin kullanımı sırasında, satırlarda yer alan alt başlıklar konusunda gerekli bilgilerin ya da var/yok değerlendirmelerinin, listelerdeki bilgi/değer sütununda ilgili satıra yazılmaları ya da işaretlenmeleri beklenmektedir.

Kontrol listelerinde, Yönetmelikçe yapılması olumlu ya da zorunlu olan başlıklar, var/yok değerlendirmelerinde değer **koyu (bold)** renkli ve BÜYÜK harfli olarak belirtilmesiyle ifade edilmektedir. Örneğin ek tablolarda, **VAR** ya da **YOK** olarak görülen bu tür büyük harfli ve koyu yazılmış değerlerin, temellerde su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ya da denetlenmesi sırasında dikkate alınması önem taşımaktadır. Bu anlamda önerilen kontrol listelerinin

kullanımında, işaretli **koyu** ve BÜYÜK harfli **VAR** ya da **YOK** değerlerinin nicel çokluğu, yönetmeliğin eksiksiz ya da hatasız uygulanma düzeyini artırmaktadır. Aynı zamanda, işaretlenmeyen benzer değerlerin yer aldığı satırlardaki alt başlıkların tespiti, temellerde alınacak su yalıtımı önlemleri açısından yeniden gözden geçirilmesi gereken konular olarak ele alınmalıdır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliğinin yürürlüğe girmesiyle yeni yapılacak binalarda su yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonunda; bu yönetmeliğin yeni yapılacak bina temellerinde eksiksiz ya da hatasız uygulanmasını, denetiminin kolaylaştırılmasını, su yalıtımı önlemleri açısından ilk tasarım ve sonuç ürün arasındaki örtüşme düzeyinin artırılmasını ve yapıların kullanım aşamasında ortaya çıkabilecek su ve nem sorunlarının azaltılmasını sağlamak üzere, toplamında beş adımı içeren su yalıtımı kontrol listeleri oluşturulmuştur. Listelerin, yapı temellerinin tasarımından kullanımına kadar geçen süreçte, tasarım ve denetime destek aracı olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Bu nedenle, tasarım ofislerinde tasarımcıların; şantiyelerde ya da belediyelerin ilgili birimlerinde ilgili sorumluların bu listeleri kullanılabileceği düşünülmektedir. Yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik oluşturulan listelerin, bu önlemlerdeki eksiklik ya da hataların



temellerin üretim sürecinde ortaya çıkarılmasına olanak sağlaması beklenmektedir. Yapıların kullanım aşamasında temellerinde karşılaşılabilecek su ve nem sorunları bu yolla azaltılabilir ya da engellenebilir. Böylece, kullanıcı sağlığının korunması ve konforunun sağlanması, yapı ömrünün uzatılması, tasarım ve uygulama aşamaları sonunda ortaya çıkan sonuç ürünler arasındaki tutarlılığın sağlanabilmesi gibi sonuçlara varılabilir. Yapılacak sonraki çalışmalarda, yönetmelik esaslarını içeren listelerin kullanılabilirliğinin sınanmasının, listelerin olumlu olumsuz yanlarının belirlenmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu tür listelerin artırılmasının ve dijital platformlarla bütünleştirilmesinin, yapı üretim sürecindeki denetim ve geri besleme mekanizmalarının güçlendirilmesi aşamasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu yolla, yapıların kullanım aşamasında karşılaşılabilecek sorunların (hasarların) azaltılması sağlanabilecektir.

## Kaynaklar

- Avlar, E., 2000. Yapılarda Su ve Nem Korunumu: İstanbul, YTÜ Matbaası, 109 s.
- Aydın İpekçi, C. ve Güzelçoban Mayuk, S., 2016. Mimari Tasarım Ürününe Yapım Sürecindeki Uygulamaların Etkileri. GTÜ Mimarlık Bölümü, Yapı Dergisi. 414(Mayıs), 160-165.
- Bilgin, C., 2018. Yapılarda Su Yalıtımı Malzemesi Seçiminde Prensiplerin Araştırılması. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi. Ankara, 110s.
- BSYY, 2018. Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 6s.
- Ching, F.D.K., 2007. Mimarlık: Biçim, Mekan ve Düzen, (çev: Sevgi Lökçe), Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 400s.
- Coşgun, N. ve Kıran Çakır, H., 2007. Mimari Tasarım Ürününe Yapım ve Kullanım Sürecindeki Uygulamaların Etkileri: Edirne Belediye İşhanı Örneği. Mimarlar Odası Bursa Şubesi Dergisi, 24, 34-39.
- Dal, M. ve Yılmaz, D., 2015. Su-Nemin Yapı Elemanlarına ve Yapı Konforuna Olumsuz Etkileri. International Journal of Pure and Applied Sciences, 1, 89-99.
- Ekinci, C.E. 2003. Yalıtım Teknikleri: İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım, 353s.
- Gönül, İ. ve Çelebi, G., 2003. Binalarda Zeminden Kaynaklanan Nemlenmeyi Önlemeye Yöntemleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 18(4), 109-122.
- Güzelçoban, S., 2007. Yapılarda Su ve Isı Etkenleri, Oluşturduğu Sorunlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 230s.
- Güzelçoban Mayuk, S., 2015. Yapı Elemanı Tasarım Süreci İçin Bulanık Çok Ölçütlü Bir Değerlendirme Modeli Önerisi. Doktora Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 289s.
- İzoder, 2018. İki Yeni Yönetmelikle Binalarda Su ve Ses Yalıtımı Zorunlu Oldu. Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi, 132(Temmuz-Ağustos), 18-20.
- Kartal, S. ve Işık Üstündağ, S., 2016. Yapılarda Su Yalıtım Uygulamalarının Önemi ve Maliyeti. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 399-407.
- Koç, R. ve Altun, M.C., 2013. Dış Duvar Tasarımında Kullanılabilecek Bir Kontrol Listesi. Yalıtım Dergisi, 115(Ekim), 58-70.
- Kozak, M. ve Kozak, Ş., 2015. Su ve Isı Yalıtımının Yapılarda Emniyet ve Ekonomi Açısından Önemi. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 5(1), 38-47.
- Kubal, M.T., 1993. Waterproofing The Building Envelope: Newyork, McGraw-Hill, 276s.
- Saint-Gobain Weber Markem Yapı Kimyasalları, 2006. Yapı Çözümleri Kataloğu, 356 s.
- Şahinoğlu, M.F., 2017. Su Yalıtımında Kullanılan Malzeme Çeşitleri ve Temel ve Bodrum Perdelerinde Su Yalıtımının Önemi. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi. Ankara, 120 s.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 417 s.
- Temur, B., 2020, Bireysel Görüşme.
- Trechsel, H.R., 1994. Moisture Control in Buildings: West Conshohocken, ASTM, 483s.
- Trechsel, H.R., 2001. Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes: West Conshohocken, ASTM Manual 40.
- URL-1  
[http://www.dask.org.tr/bilmek\\_istedikleriniz/me-teoroloji/nem/nem.htm#baslik](http://www.dask.org.tr/bilmek_istedikleriniz/me-teoroloji/nem/nem.htm#baslik). 10 Nisan 2007.
- Yıldız, Ö. ve Dal, M., 2016. İnşaat Mühendisliği Uygulamalarında Su-Nem Kaynaklı Hasarların Değerlendirilmesi. Bilim ve Gençlik Dergisi, 4(1), 25-37.

## EKLER

## Ek A. Genel bilgiler ve tasarım kuralları kontrol listesi (BSYY, 2018)

MADDE 9	KONTROL EDİLECEK BAŞLIKLAR		BİLGİ / DEĞER
GENEL BİLGİLER	1.1. KULLANIM AMACI		
	1.2. YAPISAL ÖZELLİKLERİ	Taşıyıcı sistemi	
		Yapı Yüksekliği	
		Kapalı kullanma alanı	
	1.3. TEMEL TİPİ VE DERİNLİĞİ		
	1.4. ZEMİN VE TEMEL ETÜT RAPORUNDA BELİRTİLEN ZEMİN ÖZELLİKLERİ	Geçirgenlik durumu	
		Yeraltı suyu düzeyi	
Zeminin / suyun kimyasal özellikleri			
Diğer özellikleri			
1.5. YERALTI SU DÜZEYİ (en yüksek mevsimsel)			
TASARIM KURALLARI	2. YAPILAŞMA YERALTI SUYUNUN ÜZERİNDE İSE	a. Zemin çok geçirgen ise (geçirgenlik katsayısı (k) $\geq 10^{-4}$ m/s)	Drenaj sistemi VAR Yok
		b. Zemin az geçirgen ise ( $< 10^{-4}$ m/s)	BASINÇSIZ SU'ya karşı yalıtım VAR Yok
			Suyun birikmesi ile oluşan hidrostatik basınç YOK
		c. Zemin az geçirgen ve drenaj yok ise ( $< 10^{-4}$ m/s)	BASINÇSIZ SU'ya karşı yalıtım VAR Yok
			Suyun geçici olarak birikmesi ile oluşan hidrostatik basınç YOK
		3. YAPILAŞMA YERALTI SUYUNUN ALTINDA İSE	Her durumda
	4. 51,50 m.'DEN YÜKSEK YAPILARDA YA DA 10.000 m <sup>2</sup> 'DEN FAZLA KAPALI ALANA SAHİP BODRURLU YAPILARDA	Her durumda	BASINÇLI SU'ya karşı yalıtım VAR Yok
	5. TÜM BODRURLU YA DA BODRUMSUZ YAPILARDA	Düzenlenen yalıtımların en az su basman düzeyine kadar sürekli olma durumu	VAR Yok
	6. BODRUMSUZ YAPILARIN TOPRAKLA İLİŞKİLİ DÖŞEME VE TEMELLERİNDE	Drenaj sisteminin ve su yalıtım önlemlerinin durumu	VAR Yok



## Ek B. Yalıtım öncesi hazırlık kontrol listesi (BSYY, 2018)

MADDE 10	KONTROL EDİLECEK BAŞLIKLAR		BİLGİ / DEĞER
YALITIM ÖNCESİ HAZIRLIK	1. DOĞAL YA DA DÜZELTİLMİŞ ZEMİN İLE TEMEL ALT KOTU UZAKLIĞININ 3 m.'DEN ÇOK OLDUĞU DURUMLARDA YA DA YAPI ELEMANLARI ÇEVRESİNDE SU BİRİKMESİNE NEDEN OLABİLECEK EĞİMDEKİ ARAZİLERDE	Drenaj sistemi ve su yalıtımı	VAR Yok
	2. TEMEL KAZISI SIRASINDA YERALTI SUYUNUN ÇIKMASI DURUMUNDA	Yeraltı sularının uygun yöntemlerle tahliye edilerek temel tabanının alt seviyesine indirilmesi	VAR Yok
		Suyun tahliyesinden önce, bu işlemden etkilenebilecek çevre yapıların tespitinin yapılması ve konuyla ilgili gerekli önlemlerin alınması	VAR Yok
	3. TEMELKAZILARI	Toprak kaymasına karşı şevli açılması	VAR Yok
		Bitişik yapılaşma nedeniyle temel çukurunun şevli açılmaması durumunda; su yalıtımının yapılacağı betonarme çanağın iksa sisteminden ayrı yapılması ve yalıtımının çanağın iç yüzeyine yapılması	VAR Yok

## Ek C. Yalıtım yöntemleri ve malzeme seçimi kontrol listesi (BSYY, 2018)

MADDE 11	KONTROL EDİLECEK BAŞLIKLAR		BİLGİ / DEĞER	
YALITIM YÖNTEMLERİ VE MALZEME SEÇİMİ	1. YALITIMIN YÜZEYDE OLUŞTURULMASI DURUMUNDA	a.Örtü ya da b.Sürme yalıtım	VAR Yok	
	2. YALITIMIN YAPISAL OLUŞTURULMASI DURUMUNDA	Su buharı geçişi istenmiyorsa, buhar kesici bir katman kullanımı	VAR Yok	
	3. YATAY YÜZEYLERDE (basınçlı su etkisindeki)	Yalıtımın örtü ile yüzeyde oluşturulması	VAR Yok	
	4. BİR DEN ÇOK MALZEME YA DA YÖNTEM KULLANILMASI DURUMUNDA	Uyumluluk durumu	VAR Yok	
	5. MALZEMELERİN UYGULANMA YERİ	Suyla ilişkili elemanın dış yüzeyi ya da hidrostatik basınca karşı bir katmanla korunan yalıtım malzemesi varsa ara katman	VAR Yok	
	6. YALITIMIN YAPISAL OLARAK SAĞLANACAĞI UYGULAMALARDA	a.1.Kullanılacak betonun su işleme derinliğinin TS EN 12390-8 standardına göre en çok 30 mm olması ya da yeraltı suyuna karşı kullanılacak betonun en az C35/45 sınırında ve su/çimento oranının 0.45'ten az, çimento dozajının 360 kg/m <sup>3</sup> 'ten çok olması		VAR Yok
		a.2.Katkılı beton kullanılması durumunda su/çimento oranı ve çimento dozajı için TS EN 206 standardı Madde 5.2.5 ve 5.2.6'ya uyulması		VAR Yok
		a.3.Beton tasarımında uygun çevresel etki sınırının seçilmesi		VAR Yok
		a.4.Betonun su işleme derinliği performansından yararlandığı durumlarda, bu bilginin G işaretlemesinde işlenmesi		VAR Yok
		a.5.Yapısal geçirimsizlik sağlamada kullanılacak betonun TS EN 206 standardına, kullanılacak katkı maddelerinin TS EN 934-2 standardına uygunluğu		VAR Yok
		b.Betonun dökümü ve bakımında kurallara uyulması		VAR Yok
		c.Betonun su geçirimsizliğini değiştirmek amacıyla seçilecek malzemelerin TS 13515 standardı Madde 9.8'e uygun olarak, karıştırma işlemi sırasında betona eklenmesi		VAR Yok
		ç.1.Yapısal elemanlarda oluşabilecek çatlak genişliklerinin, TS 500 standardına göre kontrol edilmesi ve su geçirimsizliklerinin kanıtlanması		VAR Yok
		ç.2.Yapısal geçirimsizlik için betonarme elemanların 18 cm'den çok kalınlıkta olması		VAR Yok
		d.Sızdırmazlık tamamlayıcı malzemelerin derzlerde kullanımı		VAR Yok
	7. TEMEL VE PERDE DUVARLARI İÇİN SEÇİLEN MALZEMELER	a.Hidrostatik basınçta su geçirimsizlik özelliğini yitirmemesi		VAR Yok
		b.Zemin içindeki ya da yeraltı sularındaki kimyasallara ve gazlara karşı dayanıklı olma durumu		VAR Yok
		c.Yeterli mekanik ve /veya çatlak köprüleme özelliklerde olma durumu		VAR Yok
		ç.Sürme malzemelerin, belirli kür sürelerinin ardından suyla sürekli ilişkisinin kesilmesi		VAR Yok

## Ek D. Uygulama kuralları kontrol listesi (BSYY, 2018)

MADDE 12	KONTROL EDİLECEK BAŞLIKLAR		BİLGİ / DEĞER
UYGULAMA KURALLARI	1. YATAYDAKİ SU YALITIMI İÇİN	Yapı yüklerini taşıma sırasında bütünlüğü bozulmayacak özellikte yüzeyleri düzgün taban betonu ya da betonarme çanak uygulanması	VAR Yok
	2. TEMEL VE PERDE DUVARLARINDA SU YALITIMININ	Harici elemanlardan bağımsız ve bağlantısız uygulama yapılması	VAR Yok
	3. SU YALITIM ÖRTÜLERİNİN	Tekniğine uygun uygulanması	VAR Yok
	4. SÜRME SU YALITIM ÜRÜNLERİNİN	Yüzeyde aynı kalınlık ve homojenlikte uygulanması	VAR Yok
	5. GEREKLİYSE BETONARME YAPILARDA	Su tutucu bant, suyla şişen bant ya da dilatasyon bantlarının projesine uygun olarak kullanılması	VAR Yok
	6. SU YALITIM UYGULAMALARININ	Koruma duvarı, ısı yalıtım levhası ve/veya drenaj levhası uygulamasından sonra toprak dolgu ile korunması	VAR Yok
		Dolgu kullanılması durumunda, dolgunun drenaj sistemine, su yalıtım malzemesine ve alınan önlemlere zarar vermeyecek özellik ve boyutlarda olması	VAR Yok
		Korumaya yönelik uygulamanın uygun yöntemlerle yapılması	VAR Yok

## Ek E. Drenaj sistemlerinin teşkili kontrol listesi (BSYY, 2018)

MADDE 13	KONTROL EDİLECEK BAŞLIKLAR		BİLGİ / DEĞER
DRENAJ SİSTEMİNİN TEŞKİLİ	1. YERÜSTÜ DRENAJ İÇİN	Tahliye edilecek su miktarı	
		Zemin cinsi	
	2. ÇEVRESEL DRENAJ İÇİN	Drenaj sisteminin, bütün birikme suyu etkisindeki yapı elemanlarını içerecek şekilde bodrum duvarlarının ve temel sisteminin önünde tasarlanması	VAR Yok
		Drenaj borularının etrafında, sisteme uygun yataklama ve filtre önlemlerinin alınması	VAR Yok
	3. ALANSAL DRENAJ İÇİN	Uzaklaştırılması gereken su hacmine uygun yatay ya da borulu drenaj yöntemlerinden birinin seçilmesi	
		Uygun çapta borunun seçilmesi	VAR Yok
		Çevresel drenaj sistemine bağlanması	VAR Yok
	4. DRENAJ BORU HATTININ YAPI ELEMANLARININ İÇİNDEN YA DA ALTINDAN GEÇİRİLMESİ DURUMLARINDA	Yapı elemanlarının taşıyıcılığında azalma olmaması ve farklı oturmalara izin vermeyecek özellikte olması	VAR Yok
	5. TOPLANAN SUYUN	İlgili idarece belirlenen şekilde boşaltımının sağlanması	VAR Yok

## OPTICast Yazılımı ile Döküm Endüstrisinde Kalıplama Tasarımı Optimizasyonu Uygulaması

*Application of Moulding Design Optimization in Casting Industry with OPTICast Software*

**Murat ÇOLAK\***

*Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bayburt, Türkiye*

• Geliş tarihi / Received: 14.02.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.04.2020

### Öz

Döküm yöntemi, en eski imalat yöntemlerinden bir olup aşamalı bir süreci kapsamaktadır. Bu süreçlerin ilki model geometrisi tasarımı ve gerekli malzeme özelliklerini sağlayacak mühendislik alaşımı seçimidir. Bu aşamalardan malzeme seçimi Dökümcüyü doğrudan ilgilendirmemekle birlikte, dökümcünün asıl vazifesi belirlenen alaşım ile kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde doldurulabilmesinden, katılaşmanın tamamlanmasına kadar geçen sürecin kontrolü ve sağlam parça imalatıdır. Parçaların yolluk ve besleyicilerinin bütünleştirilmiş hali olarak adlandırılan kalıplama tasarımı özellikle karmaşık kesitli geometriye sahip parçalarda oldukça zordur. Bu sebeple gelişen bilgisayar teknolojilerinin döküm endüstrisine adaptasyonu sonucu kalıplama tasarımları döküm simülasyonu adı verilen bilgisayar teknolojileri ile modellenebilmektedir. Döküm simülasyon programları ile herhangi bir alaşımın dolun, katılaşma ve soğuma aşamaları modellenebilmektedir. Böylece bütün tasarım süreci bilgisayar üzerinde gerçekleştirilebilmekte, model hazırlanması, kalıplama ve döküm için enerji, maliyet ve zaman kaybı ortadan kaldırılabilir. Özetle; deneme ve yanılma süreci bilgisayar üzerinde yapılabilmesi sonucu belirlenen tasarıma uygun olarak ilk dökümde sağlam parça imalatı mümkün hale gelmiştir. Günümüz yoğun rekabet ortamında, döküm üreticilerine, parçayı sağlam imal etmenin yanı sıra, kaliteyi arttırmak, maliyeti düşürmek ve teslimat gecikmelerini önleme konusunda kolaylık sağlamaktadır. Özellikle üretim adetlerinin çok fazla olduğu otomotiv endüstrisinde de dökümhaneler için bu yazılımlar başarının anahtarı haline gelmiştir. Bu çalışmada SOLIDCAST döküm simülasyon programına bütünlük olarak çalışan OPTICAST modülü ile besleyici optimizasyonu uygulamalı olarak örnek bir parça üzerinde açıklanarak, optimizasyon tekniğinin sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Besleyici Optimizasyonu, Döküm Simülasyonu, Kalıplama Tasarımı, OPTICAST

### Abstract

*The casting method is one of the oldest manufacturing methods and it is a gradual process. The first of these processes is the design of model geometry and engineering alloy design to provide the required material properties. Although the choice of materials from these stages is not directly related to the foundry, the main task of the foundry man is the control of the process from solid filling into the mold cavity with the specified alloy and completion of solidification and production of solid parts. The molding design, which is referred to as the integrated form of the runners and feeders of the parts, is particularly difficult in parts with complex cross-section geometry. The molding design, which is called the integral of the runners and feeders of the parts is particularly difficult in parts with complex cross-section geometry. For this reason, as a result of adaptation of the developing computer technologies to the casting industry, molding designs can be modelled by computer technologies called casting simulation. Filling, solidification and cooling stages of any alloy can be modelled by casting simulation programs. Thus, the whole design process is carried out on the computer. energy consumption, cost and time loss for model preparation, molding and casting can be reduced. In summary, with carrying out the trial and error process on the computer, at the first casting, it has become possible to manufacture accurate solid parts. In today's intensely competitive environment, in addition to the sound manufacturing of the parts to the casting producers, it is also easier to increase the quality, reduce the cost and prevent delivery delays. Especially in the automotive industry where the production quantities are very high, these software have become the key to success for the foundries. In this study, by using OPTICAST module which is integrated with SOLIDCAST casting simulation program, nutritional optimization has been explained on a sample piece and advantages of optimization technique have been evaluated.*

**Keywords:** Feeder Optimization, Casting Simulation, Mold Design, OPTICAST

\* Murat ÇOLAK; mcolak@bayburt.edu.tr, Tel: (0458) 211 11 52-1645, orcid.org/0000-0002-8255-5987

## 1. Giriş

Döküm; metal şekillendirme yöntemleri arasında birçok avantajlı yönü sayesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Döküm yöntemiyle üretilecek parçalarda ağırlık ve şekil sınırlaması yok denecek kadar azdır ve diğer birçok yöntem göre ekonomiktir (Arda ve Kayıkcı, 2006). Döküm yöntemi ile parça üretimi model tasarımı, alaşım tasarımı ve kalıbın eksiksiz bir şekilde dolumu ve katılmasını içeren çok aşamalı bir süreçtir. İlk olarak dökülecek parçanın çekme, işleme, kalıptan çıkma eğimi, keskin köşelerin pah kırılması gibi faktörler göz önüne alınarak model geometrisi tasarlanmalıdır. Parçanın kullanılacağı yerde gerekli özelliklerine bağlı olarak mühendislik alaşımı tasarlamakta dökümcünün doğrudan vazifesi olmamakla birlikte sürecin ilk aşamasında yer almaktadır. İkinci aşama ise doğrudan dökümcüyü ve parçanın sağlam imalatını ilgilendirmektedir. Bu aşamada; ergiyik metalin yolluktan kalıp boşluğunu eksiksiz bir şekilde doldurulabilmesini ve katılma sırasında parça üzerinde boşluksuz bir döküm elde etmek ve katılma yönlenmesini sağlayan kalıplama sistemi tasarımı olarak adlandırılan yolluk ve besleyici tasarımıdır (Campbell, 1991; Chvorinov, 1940; Çolak ve Kayıkcı, 2009; Franssman, 2007; Guleyupoglu, 1997). Döküm yöntemi ile sağlam parça imalatı için tasarım süreçleri oldukça önemlidir (Akar, 2018). Kalıplama tasarımı model geometrisine bağlı olarak, özellikle karmaşık kesitlerde oldukça zordur ve tasarım esnasında birçok faktörün göz önüne alınarak katılma yönlenmesinin sağlanması gerekmektedir. Bu durum tasarım anlamında yoğun bilgi ve beceri gerektirmesinin yanı sıra bazen parça geometrisine bağlı olarak zor durumda kalınmasına sebep olmaktadır. Bilgisayar teknolojilerinde gelişmelere de bağlı olarak tasarımda yardımcı olması amacıyla döküm proseslerinin modellenmesi için Döküm simülasyon yazılımları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar ile döküm parçaların tasarımı yapılarak mevcut tasarım ile döküm yapılması durumunda ortaya çıkması muhtemel sonuçların tahmin edilebilmesi mümkün hale gelmiştir (Hsu vd, 2006; Kayıkcı, 2008; Kayıkcı ve Çolak, 2007).

Döküm proseslerinin modellenmesi, dökümhane ortamında fiziksel olarak gerçekleştirilen işlemlerin, bilgisayar ortamına aktarılması için gerekli bir matematiksel yöntem olup, kalıp dolumundan katılmanın tamamlanmasına kadar geçen tüm süreç hakkında doğru tahmin yapabilmesi için gerekli bir yöntemdir. Böylece bu yazılımlar ile imalatı gerçekleştirilecek döküm parça için hangi ebatla kaç besleyici gerekli olduğu

ve besleyicilerin nerelere konulması gerektiğinin belirlenebilmesi mümkündür. Böylece kalıplama tasarımı bilgisayar üzerinde yapılabilir. Kalıplama tasarımı yapılan parçanın bilgisayar üzerinde modellenmesi ile ilgili tasarım sonucunda ortaya çıkması muhtemel çekinti riskleri tespit edilebilir. Gerekli durumlarda bilgisayar üzerinde revizyon yapılarak en optimum tasarıma ulaşmak mümkün olabilir. Bu sonuçlardan faydalanarak gerekiyorsa tasarımda revizyon yapılabilir. Bu durum sadece tasarımın hatalı üretimde değil optimum besleyici ebatlarına ulaşmada da geçerli olmakta ve optimizasyon işlemi belirlenen sınır şartlarına bağlı olarak otomatik olarak yapılabilmektedir. Böylece döküm parça imalatı için verim değeri artırılmış ve ilk seferde başarılı sonuçlar elde edilmiş olur. İlk seferde hurda üretim yapmadan uygun üretim sayesinde müşterilere gecikmesiz teslimat ve döküm parça servis süresince yüksek kalite ve maliyette avantajlar sağlanması da yazılımın firmaya kazandırdığı diğer artılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün bu avantajlarının yanında en önemlisi de üretime geçmeden tüm bu durumları bilgisayar üzerinde öngörebilme imkânı vermektedir (Hsu vd, 2006; Kayıkcı, 2008; Kayıkcı ve Akar, 2007; Kayıkcı ve Çolak, 2009; Ransing, 2004; SOLIDCast, 2016; Stefanescu, 2005; URL-1, 2019).

Döküm simülasyon yazılımları bu avantajlarından dolayı döküm sektöründe oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmış ve birçok firma için başarının kilit faktörü olmuştur. Bu sebeple başta yüksek kaliteli döküm üreticilerinin ekonomik çözümler ve zamanında teslimat için döküm simülasyon yazılım kullanımına önem verdiği bilinmektedir. İlgili yazılımların doğruluğunun testi ve belli özelliklerinin geliştirilmesine yönelik yapılan birçok akademik çalışmada literatürde yer almaktadır (Campbell, 1991; Kayıkcı ve Akar, 2007; Kayıkcı ve Çolak, 2009; Ransing, 2004; SOLIDCast, 2016). Ülkemizde de farklı alaşım ve döküm yöntemlerinin uygulandığı, imalata uyarlanmış örnekleri ile sektöre döküm simülasyon yöntemlerinin avantajları vurgulandığı çeşitli çalışmalar mevcuttur (Çolak, Arslan ve Gavgalı, 2018; Kuru ve Serçe, 2015).

Piyasada birçok döküm simülasyonu programı mevcut olup bunların içerisinde SOLIDCast yaygın kullanım bulan yazılımlardan biridir. SOLIDCast döküm simülasyon yazılımı metaldeki hacimsel değişiklikleri, Sonlu Farklar Metodu ile hesaplamaktadır. Isı taşınım hesaplamaları metodu ile dökümün katılma ve soğumasındaki hacim değişimleri ve sıcaklık tahminleri yapılmaktadır.

Yazılım sayesinde döküm parçada ortaya çıkacak makro porozite, mikro porozite, katılaşma yönlenmesi, sıcaklık dağılımı, kalıp dolumu tahmini yüksek doğruluk oranlarında gerçekleştirilebilmektedir.

OPTICast, SOLIDCast katılaşma sistemiyle birlikte çalışan sisteme bütünleşik bir optimizasyon modülüdür. OPTICast ile simülasyon işleminde kalıplama tasarımının optimizasyonu gerçekleştirilir. Kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlama değerlerine göre yapılan bir dizi simülasyonu kapsayan ve tamamı otomatik olarak yapılan model değişiklikleri ile simülasyon sonuçları değerlendirilir, istenen başarıya ulaşıncaya kadar simülasyona devam edilir. Böylece optimum kalıplama tasarımı en ekonomik şekilde gerçekleştirilir. Bu çalışmada SOLIDCast döküm simülasyon programına bütünleşik olarak çalışan OPTICast modülü ile besleyici optimizasyonu uygulamalı olarak örnek bir parça üzerinde açıklanmıştır.

## 2. OPTICast Döküm Besleyici Optimizasyon Modülü

Günümüz yoğun rekabet ortamında özellikle parça adetlerinin çok fazla olduğu Otomotiv endüstrisinde kalıplama tasarımında besleyicinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Mevcut döküm simülasyon yazılımlarının çalışma mantığını değerlendirdiğimizde tasarımın uygunluğuna, simülasyon sonuçlarının dökümhane mühendisi tarafından analiz edilmesine bağlı olarak karar verilmektedir. Ancak bu durumda yine dökümhane mühendisinin bilgi ve tecrübesi ön planda olmakta ve en doğru karar verilemeye ihtimali ortaya çıkmaktadır. Kalıplama tasarımı yapıldığında yeni bir yaklaşım olarak OPTICast modülü ile besleyicileri daha da azaltıp yine de sağlam parça imalatının mümkün olup olmadığının belirlenmesi ile verim artırılabilir.

OPTICast modülü kalıplama tasarımı tamamlanmış sistemde belirlenen sınır şartlarına göre en optimum besleyici ebatlarını bulmamızı sağlayacak SOLIDCast simülasyon sistemine bütünleşik çalışan bir yazılımdır. Kalıplama tasarımında “Optimum” dediğimiz zaman, en düşük maliyette en yüksek kalitede döküm ifadesi anlaşılmaktadır. Farklı bir ifadeyle optimizasyon, belirli bir soruna “en iyi” çözümü bulmak için matematiksel bir yöntemdir. Böylece optimizasyon sistemi;

- Bir tasarım çözümü arayışını otomatik hale getirir,

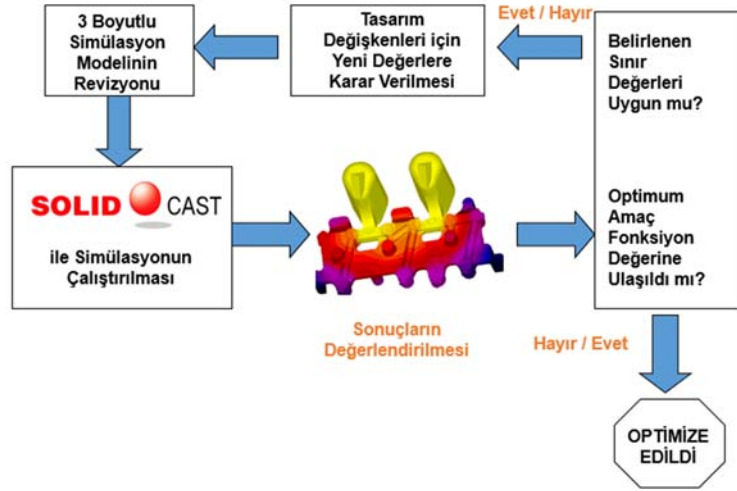
- Mühendis yoğun bilgi beceri gereksinimini azaltır,
- Daha tekrarlanabilir bir tasarım süreci sağlar.

Optimizasyon için Gerekli Adımları şu şekilde sıralamak mümkündür;

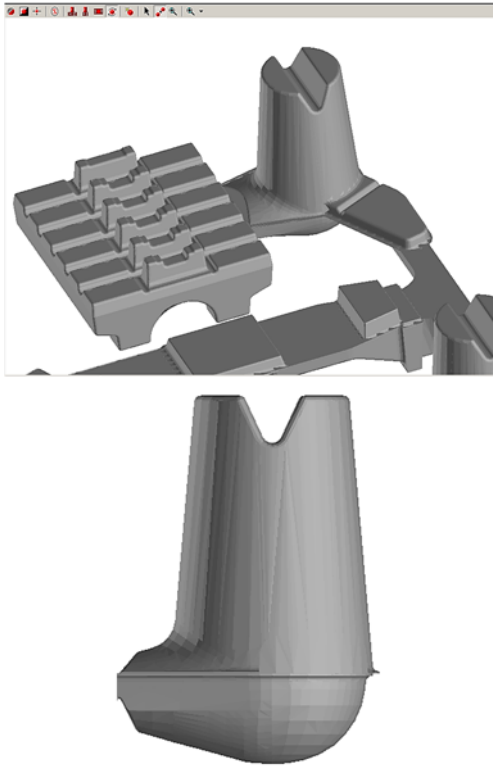
1. İlk olarak sağlam imalatın gerçekleştirileceği bir kalıplama tasarımı geliştirilmelidir.
2. Parametreleri ve sınır değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar;
  - Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi: Bunlar, bilgisayar optimum bir süreç tasarımı ararken değişiklik gösterebilecek olan öğelerdir. Örneğin, besleyicinin yüksekliği ve çapı, dökümdeki belirlenen bir özellik boyutu, döküm sıcaklığı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı vb.
  - Kısıtlamaların Belirlenmesi: Kısıtlamalar, tasarımın uygunluğunu belirleyen unsurlardır. Örneğin, makro veya mikro porozite kabul seviyesi, verim yüzdesi, minimum soğutma hızı, minimum termal gradyan vb.
  - Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması: Amaç, en üst düzeye çıkarmak veya küçültmek için çalıştığınız işlemdir. Örneğin; verim yüzdesini en üst düzeye çıkartılması, porozite seviyesinin en aza indirilmesi, yönlü katılaşmanın en üst düzeye çıkarılması vb.
3. Optimizasyonun Başlatılması: Optimizasyonun başlatılmasıyla; optimizasyon motoru, bir dizi proses modeli oluşturmak için tasarım alanı içerisindeki her tasarım değişkenini modeller. Her tasarım, herhangi bir kısıtlamayı ihlal edip etmediğine göre değerlendirilir. Daha sonra her tasarım, yakınsama kriterlerinin kullanılması yoluyla hedef fonksiyonun gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini belirlemek için değerlendirilir. Şekil 1’de OPTICast modülünün çalışma döngüsü şematik olarak verilmiştir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan örnek bir parça üzerinde OPTICast ile optimizasyon uygulaması yapılmıştır. İlk aşama olarak örnek parça için kalıplama tasarımı yapılması gerekmektedir. Şekil 2’de parça kalıplama tasarımının SOLIDCast ekranında bir görünümü verilmiştir. Mevcut tasarımda besleyici yüksekliği 92 mm ve yüksekliği 175 mm olarak tasarım gerçekleştirilmiştir.





Şekil 1. OPTICast modülünün çalışma döngüsü

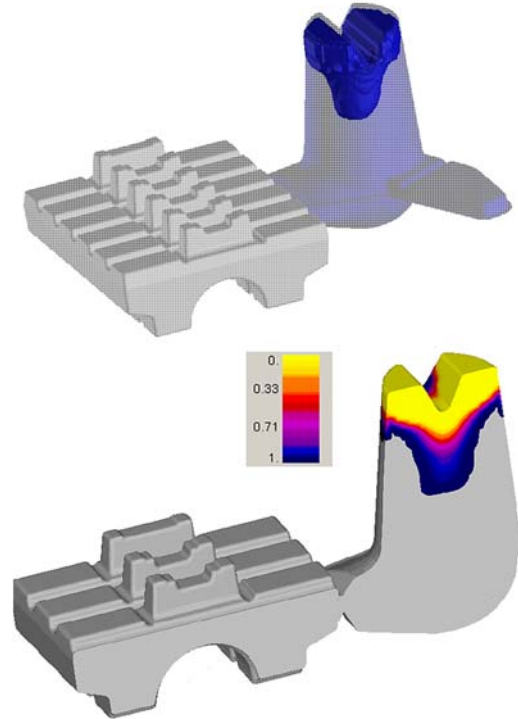


Şekil 2. Örnek parça kalıplama tasarımı ve besleyici yan görüntüsü

Mevcut tasarıma ait modelleme sonucu simülasyon sonuçlarından alınan makro porozite görüntüsü Şekil 3'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde parça üzerinde herhangi bir çekinti riski oluşmadığı ve tüm çekinti risklerinin besleyici de olduğu gözlenmektedir.

Mevcut tasarımın makroporozite açısından uygun olduğu ve tasarım şartlarına uygun yapılacak dökümlerde sağlam parça imalatının gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. Modelleme sonuçlarında kalıplama tasarımında döküm üzerinde gözenek riski gözükmemesi besleyicinin

uygun olduğu ya da en uygun besleyici olduğu anlamına gelmeyebilir.



Şekil 3. Mevcut tasarım makro porozite görüntüsü analizi sonuçları

Bu sebeple besleyici optimizasyonu yapılması gerekmektedir (Kara vd., 2017; Kahraman, 2013; Özaydın, Armakan ve Özdemir, 2018). Bu sebeple akla gelen sorulara cevap aranmalıdır. Bu tasarım optimum tasarım mıdır? Besleyici ağırlığı azaltılırsa yine de döküm için yeterli besleme sağlanabilir mi? Bunun cevabını vermek için OPTICast modülü kullanılacak ve mevcut tasarıma optimizasyon çalışmaları yapılacaktır. Bunun için OPTICast içerisinde optimizasyon yapmak için üç parametreyi tanımlamamız gerekmektedir;

- **Tasarım Değişkenleri:** Optimizasyon çalışması sırasında optimizatörün değişmesine izin vereceğimiz tasarımın herhangi bir yönüdür. Bu çalışmada besleyici yüksekliği ve çapı değişken olarak ayarlanmıştır.
- **Kısıtlamalar:** Tasarımın kabul edilebilir olup olmadığını, uygunluğunu belirleyen bir çıktıdır. Burada makro porozite değerini kısıtlama olarak ayarlıyoruz. Porozite, dökümdeki minimum yerel malzeme yoğunluğu göz önüne alınarak ölçülür. Kısıtlama değeri, döküm gözenekliliğine izin verilmediğini belirten 0.995 – 1.0 olarak ayarlanır.
- **Amaç fonksiyonu:** Hedef Fonksiyon, elde etmeye çalıştığımız sonucu ölçen bir simülasyon çıktısıdır. Burada besleyici ebatlarının düşürülerek verimin artırılması hedeflenmiştir. Verim, döküm parça ağırlığının, toplam döküm besleyici ağırlığına bölünmesiyle bulunmaktadır.

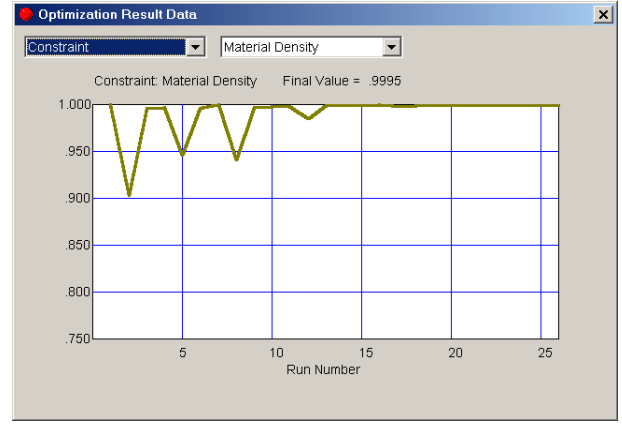
Optimizasyon için parametreler belirlendikten sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Program belirlenen parametrelere göre otomatik olarak simülasyonlar yapar ve optimum sonucu bulana kadar çalışmaya devam eder.

#### 4. Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örnek parça için besleyici optimizasyonunda program tarafından 26 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’de verim fonksiyon grafiği verilmiştir. Bu grafik, verim fonksiyonunun ilerleyen değerini 26 simülasyon üzerinde göstermektedir. Grafik incelendiğinde mevcut tasarımın verim değeri % 60 iken 26 simülasyon sonunda verim değerinin %12 artarak % 72’ye çıktığı görülmüştür.

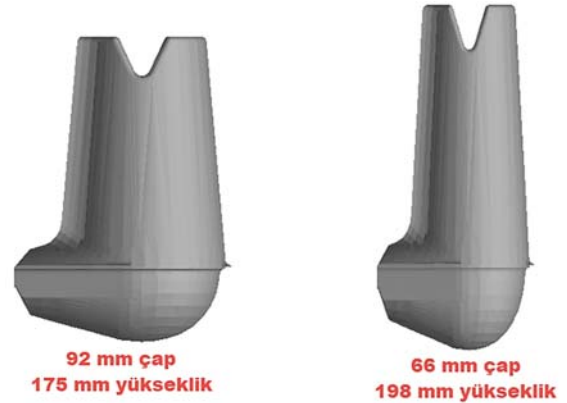


Şekil 4. Optimizasyon verim fonksiyon grafiği



Şekil 5. Optimizasyon gözeneklilik grafiği

Optimizasyon çalışmaları sonucu, besleyici çapı küçülmüş ve yüksekliği artmıştır. Şekil 6’da optimize mevcut tasarım ve optimizasyon sonucu elde edilen besleyiciler görülmektedir. Mevcut tasarımda besleyici çapı 92 mm ve yüksekliği 175 mm iken optimizasyon sonucu besleyici ebatları 66 mm çap ve 198 mm yükseklik şeklinde belirlenmiştir.



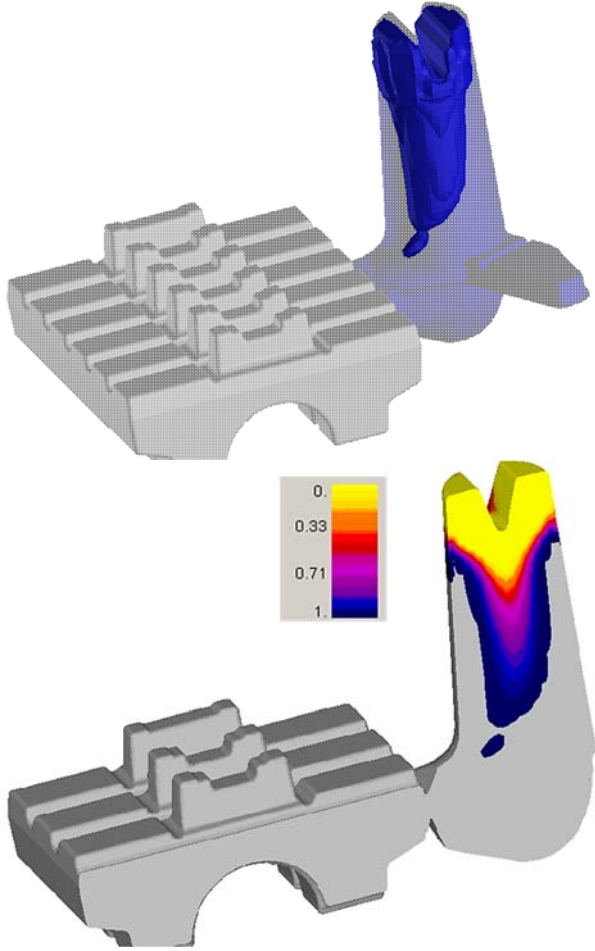
Şekil 6. Besleyici ebatları ve karşılaştırılması

Optimize edilmiş kalıplama tasarımının, dökümün düzgün bir şekilde beslenmesi için yeterli büyüklükte ve kütleyle sahip olduğu simülasyon sonuçlarından anlaşılmaktadır. Şekil 7’de optimize edilmiş revize tasarıma ait makroporozite riski analiz sonuçları verilmiştir.

#### 5. Sonuçlar

Kalıplama tasarımı SOLIDCast döküm katılaştırma modellemesi yazılımı ile tamamlanmış örnek parça için OPTICast modülü ile optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Belirlenen sınır değerlerine göre istenen hedeflere uygun olarak yapılan optimizasyon çalışması çok pratik ve otomatik olarak yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Program tarafından belirlenen değerlere ulaşmak için optimizasyonun başlatılmasının akabinde 26

simülasyon otomatik olarak yapılmıştır. Sonuç olarak besleyici boyutu 92 mm çap ve 175 mm yüksekliğe sahip iken optimizasyon sonucu 66 mm çap ve 198 mm yüksekliğe optimize edilmiştir.



**Şekil 7.** Optimizasyon sonucu revize edilmiş tasarıma ait makro porozite riski analizi sonuçları

Optimizasyon sonucu besleyici ağırlığı 16.03 kg ağırlıktan 9.69 kg ağırlığa düşürülmüş ve kalıplama tasarımının verimi %60'dan %72'ye çıkarılmıştır. Böylece kalıp başına % 12 verim elde edilmiştir. OPTICast modülü ile pratik bir şekilde sağlanan optimizasyon ile birlikte toplamda adet miktarlarına bağlı olarak çok ciddi tasarruf sağlanması mümkündür. Ayrıca, döküm simülasyon yazılımları; bütün tasarım sürecini bilgisayar ortamında yapılmasına olanak verdiği için sipariş değerlendirme aşamasında etkili teklif ve değerlendirmeye olanak vermektedir. Bu sebeple rekabet ortamında özellikle otomotiv endüstrisi imalatçılarının bu programlardan yararlanmaları faydalarına olacaktır.

## Kaynaklar

Akar, M., 2018. Döküm Hatalarının Önlenmesi için Tasarım Yöntemleri. Tezsiz Yüksek Lisans

Dönem Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli, 96-115.

Arda, İ. ve Kayıkcı, R., 2006. Döküm Simülasyonu Nedir? Ne Değildir?. Metal Dünyası. 154, 44-48

Campbell, J., 1991. Casting, Heinemann Ltd, Oxford,

Chvorinov, N., 1940. Theory of Solidification of Castings. Giesserei. 27, 177- 225.

Çolak, M. ve Kayıkcı, R., 2009. Döküm Simülasyon Programları Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Metal Dünyası. 189, 2-4

Çolak, M., Arslan, İ. ve Gavgalı, E., 2018. Gri Dökme Demirlerin Katılaşıma Modellemesi ve Gerçek Dökümler İle Karşılaştırması. Engineering Sciences. 13(4), 280-290. doi: 10.12739/NWSA.2018.13.4.1A0419

Franssman, H., 2007. Hızlı ve Doğru Yolluk ve Besleyici Dizaynı için Döküm Simülasyon Programlarının Pratik Kullanımı. Metal Dünyası. 164, 30-31.

Guleyupoglu, S., 1997. Casting Process Design Guidelines. AFS Transactions. 83, 869-876.

Hsu, F.Y., Jolly, M.R. and Campbell, J., 2006. Vortex-Gate Design for Gravity Casting. International Journal of Cast Metals Research. 19(1), 38-46.

Kara, A., Çubuklusu, H.E., Topçuoğlu, Ö.Y., Çe, Ö.B., Aybars, U., Kalender, C., 2017. Alüminyum Alaşımli Jantların Tasarım ve Ağırlık Optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 23(8), 957-962. doi: 10.5505/pajes.2017.34356

Kahraman, H., 2013. Dökümlerde Besleyici İşlevinin Süreç Benzeşimi ile Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 22-26.

Kayıkcı, R., 2008. Büyük kütleli Bir Çelik Parçanın Dökümünde Klasik ve Bilgisayar Destekli Mühendislik Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 23(2), 257-265

Kayıkcı, R. ve Akar, N., 2007. Farklı Kesit Kalınlıklarına Sahip Büyük Hacimli Bir Çelik Dökümünün Simülasyon Teknikleriyle Tasarlanması. Politeknik Dergisi 10(4), 214-227. doi: 10.2339/2007.10.4.395-401

Kayıkcı, R. ve Çolak, M., 2009. Kuma Dökülen Etial160 Alüminyum Alaşımında Tane İnceltmenin Beslenebilirlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 5th. International Advanced Technologies Symposium, Mayıs 2009, Karabük, Türkiye, 512-518.

Koru, M., Serçe, O., 2015. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyonu. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi. 36(5), 1300-1949. doi: 10.17776/csj.51962

Özaydın, O., Arman E., Özdemir, K., 2018. Jant Kolu Arkası Boşluğunun Parametrik Tasarımı ve Optimizasyonu, 10. Uluslararası Döküm Kongresi, Ekim 2018, İstanbul, Türkiye.

Ransing, R.S., 2004. Review of Optimization Methods for Casting Simulation, JOM, 56(11), 250-253.

SOLIDCast, 2016. Training Course Workbook. SOLIDCast Version 8.2.5.

Stefanescu, D.M., 2005. Computer Simulation of Shrinkage Related Defects in Metal Castings – a Review. International Journal of Cast Metals Research. 18(3), 129-145.

URL-1, <http://www.finitesolutions.com>. 15 Aralık 2019.

## Development of Filament Winding Machine for Producing Round Shapes with Different Fiber Reinforcements

*Farklı Elyaf Takviyeleri ile İçi Oyuk Şekiller Üretmek İçin Elyaf Sarma Makinesi Geliştirmesi*

Özkan ÖZBEK<sup>\*1,a</sup>, Ali KILIÇ<sup>2,b</sup>, Ömer Yavuz BOZKURT<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık University, Faculty of Engineering and Architecture, Mechanical Engineering Department, 79000, Kilis, Turkey

<sup>2</sup>Gaziantep University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 27310, Gaziantep, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 18.02.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.04.2020

### Abstract

In recent years, fiber reinforced composite structures have become an important engineering subject because they are preferred due to their high strength / weight and stiffness / weight ratios in many industrial fields such as aerospace, construction, defense, aviation, automotive and energy. Although different methods are present to produce of these materials, the most reliable way is the filament winding technique. The basic principle of the filament winding technique is based on that the fiber reinforcement impregnated by resin is wrapped on a rotary mandrel using carriage translation and mandrel rotation motions. In this study, a filament winding machine having 2-axis motion was designed and constructed for the fabrication of different types of fiber reinforced composite pipes. The machine is capable of producing specimens in different design parameters such as dimensions up to 750 mm length and 250 mm diameter, different winding angles for hoop, helical and polar winding types. The fiber reinforced specimens were manufactured according to different winding angles, fiber reinforcements and cross sections.

**Keywords:** Composite Materials, Construction and Control of Winding Machine, Design, Filament Winding

### Öz

Son yıllarda, elyaf takviyeli oyuk kompozit yapılar, havacılık, inşaat, savunma, uzay, otomotiv ve enerji gibi birçok endüstriyel alanda sağladıkları yüksek dayanım/ağırlık ve dirençlilik/ağırlık oranlarından dolayı tercih edilmeleri nedeniyle önemli bir mühendislik konusu haline geldi. Bu malzemelerin üretilmesinde farklı yöntemler mevcut olmasına rağmen, en güvenilir yöntem filament sarım tekniğidir. Filament sarım tekniğinin temel prensibi, reçine ile emprenye edilen elyaf takviyesinin, taşıyıcı çeviri ve mandrel dönüş hareketleri kullanılarak döner bir mandrel üzerine sarılmasıdır. Bu çalışmada, farklı tiplerde fiber takviyeli kompozit boruların üretimi için 2 eksenli harekete sahip bir filament sarma makinesi tasarlandı ve üretildi. Makine, numunelerin 750 mm uzunluğa ve 250 mm çapa kadar boyutlar, sarmal, kasnak ve kutup sargı tipleri için farklı sarım açıları gibi farklı tasarım parametrelerinde üretme kabiliyetine sahiptir. Elyaf takviyeli örnekler, farklı sarım açıları, elyaf takviyeleri ve enine kesitlere göre üretildi.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Malzeme, Sarma Makinesi Kurulumu ve Kontrolü, Tasarım, Elyaf Sarma

\*a Özkan ÖZBEK; ozkanozbek@kilis.edu.tr, Tel: (0541) 619 46 35, orcid.org/0000-0003-1532-4262

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-3241-9944

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-0685-8748

## 1. Introduction

In recent years due to high specific strength, good fatigue resistance, better damping and high resistance to corrosion, polymer based composite materials have attracted the attention of scientific world and commercial material developers as an alternative material to classical engineering materials (Gemi et al., 2019; Gemi et al., 2020; Bulut, 2020). In parallel, the use of fiber reinforced composite pipes, tubes, shafts and pressurized vessels have increased in many industrial applications such as aerospace, civil, defense, aviation, automotive, energy. There are several methods to produce these fibers reinforced structural components, however due to the flexibility on fiber placement according to winding pattern, the most reliable way is the filament winding method (Özbek and Bozkurt., 2019). The main working principle of the method is based on wrapping of resin-impregnated fiber on a rotary mandrel using carriage movements.

In the market, there are several commercial filament winding machines found with different structural designs. The concept of filament winding and the first filament winding machine was presented in early 1940s to manufacture of rocket motor body (Peters, 2011). With the advancement in computers and numerical control systems, several studies about the design and fabrication of the multi-axial filament winding machines are seen in the literature. Saad (1997) designed and fabricated a filament winding machine. The machine is suitable for monofilament winding and used to manufacture the cylindrical specimens. Imamura et al. (1999) designed a filament machine to control tension system. PID and I-PD systems were proposed as the winding tension control systems. Abdalla et al. (2007) constructed a lathe type filament winding machine to fabricate glass/polyester fiber reinforced composite pipes. Lead screw mechanisms and servo motors were used to drive carriage. Mutasher et al. (2012) built a small-scale machine having the winding angle capability between 40° and 80°. The lead screw system was installed for the movement of carriage system. Krishnamurthy and Idkan (2014) developed a low-cost filament winding machine based on the concept of engine lathe. However, the products of the machine had poor surface quality, inaccurate winding pattern and rough fiber placement. Qanjin et al. (2019) designed and constructed the portable 3-axis filament winding machine. It was reported that the machine had a good winding

capability offering 0.83-1.13 mm circular accuracy with 1.75-3.13% standard deviation. Also, winding angle quality had the 2.25-8.68% standard deviation range. Mateen et al. (2018) also designed and developed a 2-axis filament winding machine to produce pipe samples with 50 mm internal diameter and 1 m length.

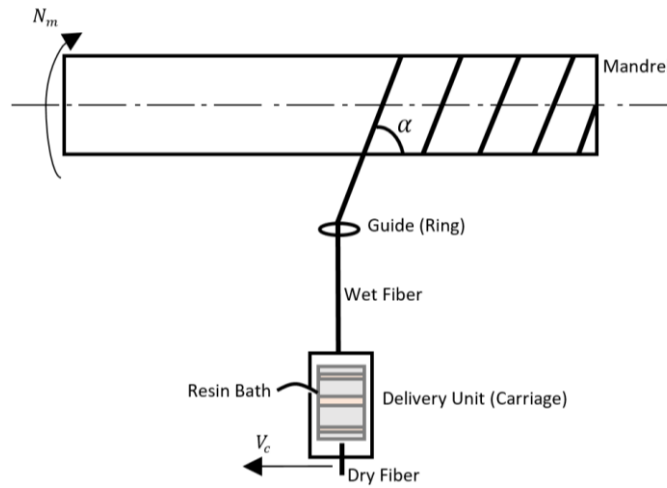
The quality of products fabricated using filament winding technique mainly depends on the design of winding pattern and accurate fiber placement. The winding pattern generation is a know-how mystery for commercial machines and pattern generator software. In this study, a laboratory scale filament winding machine having 2-axis motion was designed and constructed for the fabrication of fiber reinforced composite open and closed form structures. The main motivation of developing this machine is the generation of novel winding patterns for special purpose researches about effect of winding pattern on filament winding procedure. The machine has capability for the specimen fabrication using different design parameters such as dimensions up to 750 mm length and 250 mm diameter for cylindrical and round shapes, winding angles for helical, hoop and polar winding patterns, and the hybrid fiber placement up to three different fiber reinforcements. An algorithm on MATLAB programming environment was developed to obtain motion codes. The fiber reinforced cylindrical and round shape specimens were manufactured according to different winding angles and fiber types.

## 2. Filament Winding Technique

### 2.1. About Technique

In order to obtain polymer-based composite materials, several fabrication techniques such as hand layup, autoclave, vacuum-assisted resin transfer molding, resin transfer molding, pultrusion are present in the literature (Kim et al., 2020; Özbek and Bozkurt, 2019). Among these methods, filament winding, as shown in Figure 1, is preferred for obtaining products with hollow geometry (pipe, pressure tank, profile etc.). Nowadays, it is used for high pressure vessels, sewer pipe systems, high pressure piping systems, water tanks, large underground tanks (for oil, salt, acid, alkali, water etc.), oxygen and fire extinguisher tubes for firemen, helicopter rotor, golf clubs, wind turbine blades, transmission shafts, bus shafts, aircraft body parts, ship body parts, space shuttles (Gay, 2014).





**Figure 1.** Filament winding technique

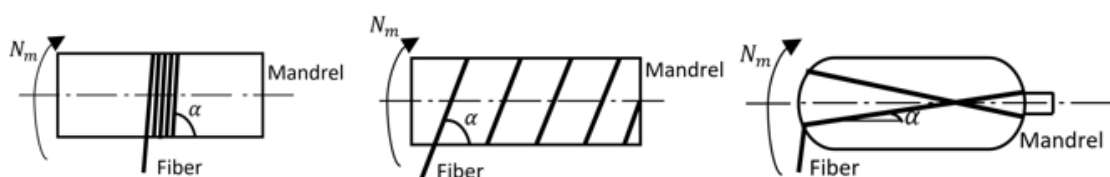
The composite pipe samples fabricated by filament winding technique consists of two different phase as fiber reinforcement and resin matrix. The employment of technique provides for opportunity to rule different design parameters such as winding angle, fiber type, mandrel diameter, mandrel type, resin type and density. The required design according to the field of application is easily passed on with the specified parameters. Also, the method presents the advantages such as obtaining same fiber orientations on layers and regions, connectionless fiber can be used as a single piece, the absence of high cost as in an autoclave, allowing production of large amounts of product, high fiber volume can be obtained, having faster production compared to other fabrication techniques of composite materials.

Different application methods of filament winding such as resin bath-based impregnation, wet- and dry-type winding, electrostatic depositing, prepreg winding and laser assisted impregnation are present in literature. Resin bath-based impregnation are commonly used in thermosetting industrial applications. Prepreg winding is preferred in high sensitivity applications since it has high cost. Unlike prepreg winding, wet filament winding has low cost, rapid fabrication and allowance to change resin content. Because of that; it has wide commercial applications. In the

wet filament winding method, two different applications are seen to resin impregnation. These are fiber immersion that the fiber is completely immersed into resin and drum type that impregnated fiber passes on a drum. Applications are determined according to used fiber type. For example; drum type is used for carbon fiber that has easy to damage but fiber immersion is preferred for glass and aramid type fiber. Also, resin viscosity and curing temperature are important factors that affect the application selection except that fiber material types.

**2.2. Winding Patterns**

There are mainly three types of winding patterns that can be applied on filament winding method. These are called as hoop, helical and polar windings that have been classified according to winding angle,  $\alpha$  which makes with longitudinal axis as shown in Figure 2. The fabrication having the winding angle approaches to  $90^\circ$  is called as hoop or circumferential winding process. Helical winding has the constant mandrel rotation when carriage unit is moving with a linear motion in forward and backward. Polar winding is generally used for fabrication of high pressure vessels since the fiber is wrapped from one end directly to another on the mandrel. The angles having close ones to  $0^\circ$  are required in this pattern.



**Figure 2.** Winding patterns

### 3. Machine Design and Construction

The design of machine was based on the three main parts which are mechanical part, electronic part and software part. The 2-axes movements for automated machine are linear for filament delivery and rotation for filament winding units. The machine body is made of fully 6061 Aluminum material. It has 1280 x 1300 x 700 mm dimensions in height, wide, depth and its production capacity is 750 mm in length and 250 mm in diameter. Also linear axis of the machine can reach 8000 mm/min and rotational axis can reach 250 rpm. Details of the developed machine can be seen following sections.

#### 3.1. Mechanical Part

The mechanical part of the machine consists of the five basic parts which are main structure, carriage (fiber delivery) unit, resin bath, control box and rotary unit. The main structure provides the stability and continuity entire the process. It supports the all system by balancing at certain levels and prevents the possible vibrations to ensure system working without problem.

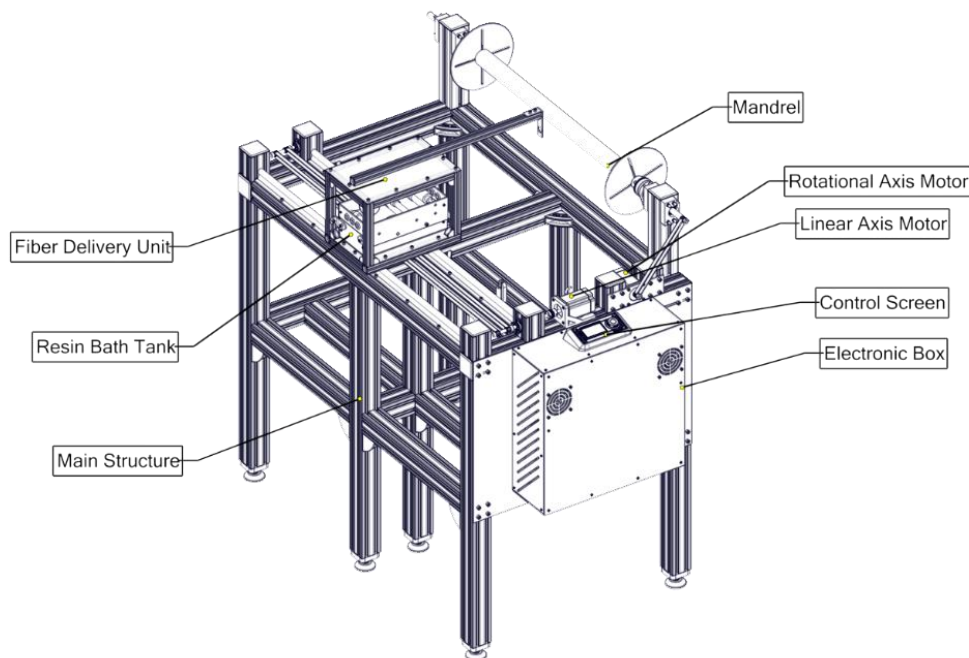
The carriage unit helps to determine filament path with linear motion on the machine. Its motion is provided by stepper motor by using belt and pulley system. Fiber is directed to rotary unit by using a guide arranged on the carriage unit. This is

the last fiber transition before winding. Also, it includes the resin bath and so can be protective for it.

Resin bath has a crucial importance for production of composites. It controls the tension guides by brass and delrin rollers which are placed inside the tank and wetting the fiber reinforcements entire the process. Tensional forces and excess resin back into the bath are given by these rollers. Also, the bath has three inlet and outlet ceramic rings which means the three filament by following different paths can be used within the same winding process.

Control box consists of required electronic components such as stepper motor drivers, limit switches, power supply, main board, cooling fans, control screen and stepper motors. All electronic components are positioned in this box.

Rotational movements for the mandrel are conducted on the rotary unit of the machine. The unit has mandrel chucks to hold the mandrel and belt-pulley system to rotate the mandrel. The filament is wrapped with a desired winding angle which is managed by relationship between carriage linear motion and mandrel rotation. Figure 3 presents the designed machine, CAD generated image and important components of the machine. The final photograph of the machine can be seen in Figure 4.



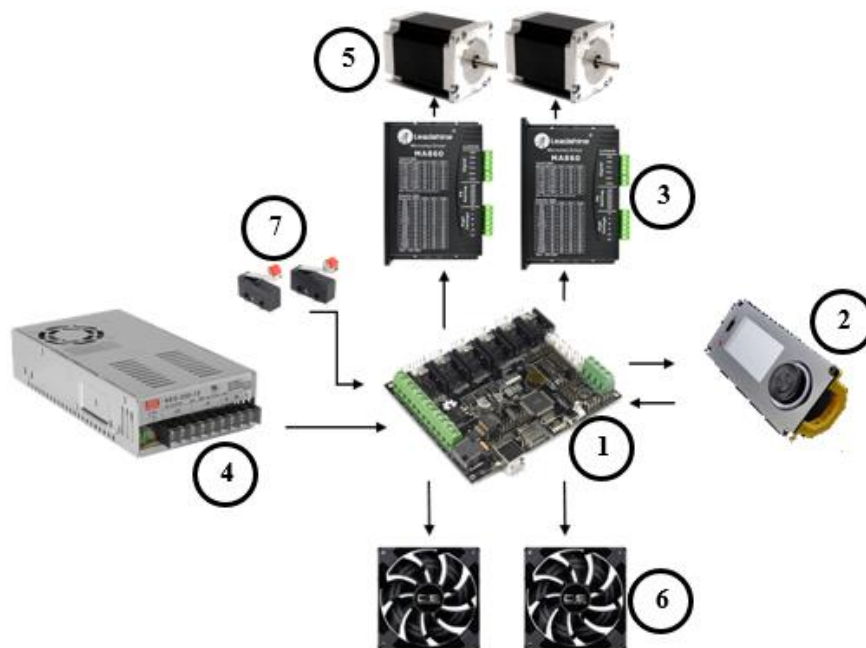
**Figure 3.** Main components of the filament winding machine



**Figure 4.** Final photograph of the filament winding machine

### 3.2. Electronic Part

Electronic system of the machine provides high accuracy motion by using generated G-codes. It is designed as two axis and one axis for linear motion in order to pose fiber delivery unit. Second axis is rotational axis in order wind fiber on round shapes. To actuate axes two Nema 23 size stepper motors are used with stepper drivers. Winding machine controlled by low cost but highly stable main control board. Machine movements accomplished by generated G-Code and user can control machine by using embedded screen. 4 different limit switches are used in order to prevent axes damage and collisions. Two speed controlled fans are used to cool electronic components. 12V and 29.5A power supply is powering the whole system. Electronic components and their relations can be seen in Figure 5.



**Figure 5.** Electronic systems of filament winding machine

Electronic component list of the filament winding machine:

- 1) Megatronics 3.1 Main Board
- 2) Viki LCD 2.0
- 3) 2 X Leadshine MA860 Stepper Motor Driver
- 4) MeanWell NES350-12 Power Supply
- 5) 2 X Leadshine Nema 23 3A Bipolar 1.8° Stepper Motor
- 6) 2 X 12V Cooling Fan
- 7) 4 X Limit Switch

### 3.3. Software

In order to control filament winding machine main control software is developed. Machine can be controlled by using embedded screen and also computer via USB. The system understands the motion code by using NIST RS274NGC G-code standard. The user can easily generate motion code by using winding angle, filament bandwidth, winding length, mandrel diameter and finally linear axis feed rate. After that this motion code can be easily send the machine, the software of the machine controls the axis to provide accurate winding operations.

## 4. Fabrication

### 4.1. Procedure

To fabricate specimens on the filament winding machine, three steps are followed as preliminary preparations, process conducting and post processing. Firstly, release wax was applied on the mandrel and release agent film was wrapped. Afterwards, release wax was again applied to pull out the mandrel at the end of the winding process. The glass wool was applied to obtain smooth surface inside the specimens. Fiber(s) placements was performed by helping resin bath and rollers. By using EPIKOTE MGS LR160 Epoxy resin and EPIKURE Curing Agent MGS LH260S Hardener, Epoxy resin/hardener mixture was prepared with a ratio of 100:35. Prepared resin was deposited into the resin bath tank. The process at desired parameters was began by loading the motion codes to machine. After process was completed, a heat shrinkage tape was wrapped on the mandrel and curing procedure was performed by heating the specimens when it was rotating. Sanding and

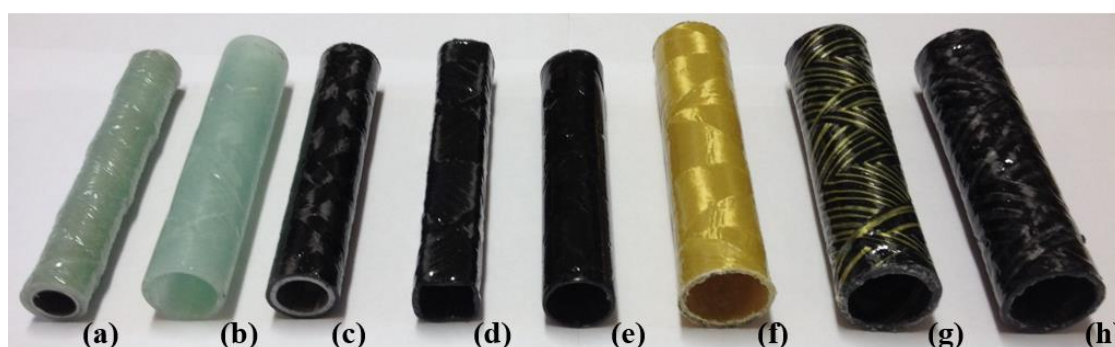
polishing as post processing were conducted to obtain aesthetic appearance on the specimen.

### 4.2. Specimens

Specimens at different design parameters were fabricated to see machine works efficiently and reliably. Different round shapes, winding angles, as shown in Figure 5, aluminum/glass, steel/carbon, carbon/glass and aramid/carbon were obtained for hybrid configurations. Also, single carbon, glass, basalt and aramid (Kevlar) fiber reinforced composite shapes were produced. Relation between linear axis and winding angle can be calculated by using Equation 1.

$$\tan\alpha=(N_m\pi D)/V_c \quad (1)$$

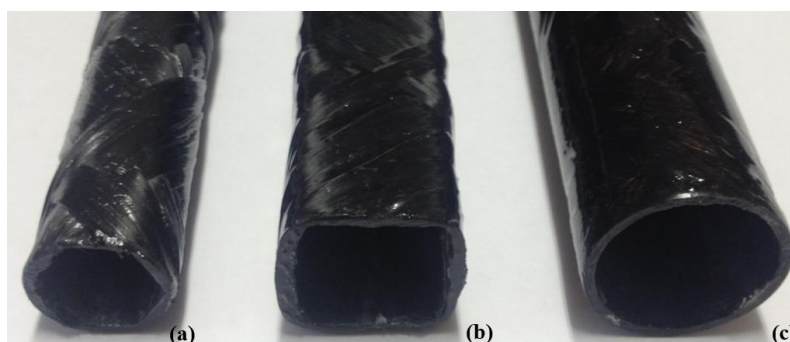
where  $\alpha$  and  $D$  represents the winding angle (degree) and diameter of the mandrel, respectively. Also,  $V_c$  and  $N_m$  are used to specify the carriage velocity (mm/min) and mandrel velocity (rpm), respectively.



**Figure 6.** Specimens. (a) Aluminum/glass fiber with 67.5°. (b) Glass fiber with 45°. (c) Steel/carbon fiber with 40°. (d) Carbon fiber with 45°. (e) Basalt fiber with 45°. (f) Aramid (Kevlar) fiber with 50°. (g) Carbon/aramid hybrid fiber with 45°. (h) Carbon/glass fiber with 45°.

Specimens having different cross sections such as hexagon, square and circular were obtained from the filament winding machine. The quality of specimens are acceptable and filament paths are good configurations as seen in Figure 7. After

successful fabrications, sanding and polishing were conducted to have good surface quality. Specimen applied the post processing is shown in Figure 8.



**Figure 7.** Specimens having different cross sections. (a) Hexagon. (b) Square. (c) Circular.





**Figure 8.** Carbon fiber with 45° after post processing.

## 5. Conclusions

In this study, a laboratory scale filament winding machine having 2-axis motion was designed and constructed for the fabrication of fiber reinforced composite specimens. The machine has capability for the specimen fabrication at different design parameters such as dimensions up to 750 mm length and 250 mm diameter, winding angle for helical, hoop and polar winding types. Also, an algorithm that is written on MATLAB programming environment was developed to obtain motion codes. The fiber reinforced specimens were manufactured according to different fiber reinforcements, hybrid arrangements and cross sections. The constructed machine showed to work well by fabricating the specimens at different design parameters.

## References

Abdalla, F.H., Mutasher, S.A., Khalid, Y.A., Sapuan, S.M., Hamouda, A.M.S., Sahari, B.B. and Hamdan, M.M., 2007. Design and Fabrication of Low Cost Filament Winding Machine. *Materials & Design*, 28(1), 234-239.

Bulut, M., 2020. Low-Velocity Impact Tests on Basalt Fiber/Polypropylene Core Honeycomb Sandwich Composites. *Mechanics of Composite Materials*, 1-10.

Gay, D., 2014. *Composite Materials: Design and Applications*: NW, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Gemi, L., Morkavuk, S., Köklü, U., & Gemi, D.S., 2019. An Experimental Study on the Effects of Various Drill Types on Drilling Performance of GFRP Composite Pipes and Damage Formation. *Composites Part B: Engineering*, 172, 186-194.

Gemi, L., Köklü, U., Yazman, Ş. and Morkavuk, S., 2020. The Effects of Stacking Sequence on Drilling Machinability of Filament Wound Hybrid Composite Pipes: Part-1 Mechanical Characterization and Drilling Tests. *Composites Part B: Engineering*, 107787.

Imamura, T., Kuroiwa, T., Terashima, K. and Takemoto, H., 1999. Proc. In Systems, Man and Cybernetics, IEEE SMC'99 Conference (IEEE 1999), 12-15, Antalya-Turkey.

Kim, Y.K. and Chalivendra, V., 2020. Natural Fibre Composites (NFCs) for Construction and Automotive Industries. In *Handbook of Natural Fibres* (pp. 469-498). Woodhead Publishing.

Krishnamurthy, T.N. and Idkan, M., 2014. Fabrication of Low Cost Filament Winding Machine. *International Journal of Recent Trends in Electrical & Electronics Engineering*, 4(1), 30-39.

Mateen, M.A., Shankar, D.R. and Hussain, M.M., 2018. Design and Development of Low Cost Two Axis Filament Winding Machine. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 12(1), 117-126.

Mutasher, S., Mir-Nasiri, N. and Chai Lin, L., 2012. Small-Scale Filament Winding Machine for Producing Fiber Composite Products. *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(2), 156-168.

Özbek, Ö. and Bozkurt, Ö.Y., 2019. Hoop Tensile and Compression Behavior of Glass-Carbon Intraply Hybrid Fiber Reinforced Filament Wound Composite Pipes. *Materials Testing*, 61(8), 763-769.

Peters, S.T., 2011. *Composite Filament Winding*: ASM International, Materials Park, Ohio, USA.

Quanjin, M., Rejab, M.R.M., Kumar, N.M. and Idris, M.S., 2019. Experimental Assessment of the 3-Axis Filament Winding Machine Performance. *Results in Engineering*, 2, 100017.

Saad, M.A., 1997. *Design and Fabricate Filament Winding Machine and Analysis of Cotton/Epoxy and Pandanus/Epoxy*: Master Thesis, Universiti Putra Malaysia.



## Investigation of Antioxidant and Cytotoxic Effects of Biotechnologically Produced Carotenoids from *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001

*Rhodobacter sphaeroides* O.U.001'den Biyoteknolojik Olarak Üretilen Karotenoidlerin Antioksidan ve Sitotoksik Etkilerinin Araştırılması

Gökhan KARS<sup>\*1,a</sup>, Meltem DEMİREL KARS<sup>2,b</sup>, İhsan OBALI<sup>3,c</sup>, Ayça EMSEN<sup>4,d</sup>, Ufuk GÜNDÜZ<sup>5,e</sup>

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Konya

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan University, Meram Vocational School, Medicinal and Aromatic Plants Program, Konya

<sup>3</sup>Selçuk University, Faculty of Science, Department of Biology, Konya

<sup>4</sup>Selçuk University, Faculty of Medicine, Department of Pediatric Immunology, Konya

<sup>5</sup>Middle East Technical University, Department of Biological Sciences, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 26.07.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 20.04.2020

### Abstract

Carotenoids take special attention due to their strong antioxidant properties. In the present study, the antioxidant and antiproliferative effects of carotenoids extracted from *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001 were investigated. For this, *R. sphaeroides* O.U. 001 was first cultivated in a 5 L bioreactor. After that, the carotenoids were extracted from *R. sphaeroides* O.U. 001 using acetone as solvent. The effects of carotenoid extract on proliferation of vincristine and paclitaxel resistant cells (MCF-7/Vinc, MCF-7/Pac) were investigated by MTT cytotoxicity assay. The checkerboard plate technique was performed to evaluate the interactions between carotenoid extract and cancer drugs on the cells. The antioxidant activity of the carotenoid extract was assessed by 2, 2 - diphenyl, 1- picryl hydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. As a result of extraction, considerable amount of carotenoid yield was obtained (80.69 mg carotenoid/g dry cell weight). It was found that carotenoid extract had no inhibitory effects on cell proliferation and interaction of carotenoids with anticancer drugs exhibited antagonistic effects. In addition to these, the DPPH antioxidant activity (IC<sub>50</sub> value) of the carotenoid extract was calculated as 25 µg/mL. In conclusion, biotechnologically produced bacterial carotenoids were shown to have considerable antioxidant activity without any cytotoxicity on cancer cells.

**Keywords:** Antioxidant, Bioreactor, Carotenoid, MCF-7, *Rhodobacter sphaeroides*

### Öz

Karotenoidler güçlü antioksidan özelliklerinden dolayı dikkat çekmektedirler. Bu çalışmada, *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001'den ekstrakte edilen karotenoidlerin antioksidan ve antiproliferatif etkileri araştırıldı. Bunun için, *R. sphaeroides* O.U. 001 önce 5 L'lik bir biyoreaktörde çoğaltıldı. Daha sonra, çözücü olarak aseton kullanılarak *R. sphaeroides* O.U.001'den karotenoidler ekstrakte edildi. Karotenoid ekstraktının, vinkristin ve paklitaksele dirençli hücrelerin (MCF-7/Vinc, MCF-7/Pac) proliferasyonuna etkileri MTT sitotoksikite testi ile araştırıldı. Karotenoid ekstraktı ve kanser ilaçları arasındaki etkileşimin hücreler üzerindeki etkisi dama tahtası plaka tekniği ile değerlendirildi. Karotenoid ekstraktın antioksidan aktivitesi ise 2, 2 - difenil, 1-pikril hidrazil (DPPH) radikal süpürücü aktivite tayin yöntemi ile belirlendi. Ekstraksiyon sonucunda, önemli miktarda karotenoid verimi elde edildi (80.69 mg karotenoid/g kuru hücre ağırlığı). Karotenoid ekstraktının hücre proliferasyonu üzerinde inhibitör etkisinin olmadığı ve antikanser ilaçlarla etkileşiminin antagonistik olduğu bulundu. Bunlara ek olarak, elde edilen karotenoid ekstraktının DPPH antioksidan etkisi, (IC<sub>50</sub> değeri) 25 µg/mL olarak hesaplandı. Sonuç olarak, biyoteknolojik yolla üretilen bakteriyel karotenoidlerin, kanser hücrelerinde sitotoksik etki göstermeden önemli antioksidan aktiviteye sahip oldukları gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antioksidan, Biyoreaktör, Karotenoid, MCF-7, *Rhodobacter sphaeroides*

\*a Gökhan KARS; gkars@erbakan.edu.tr, Tel: (0332) 323 82 20; orcid.org/0000-0002-2507-2305

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7300-4075

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-6090-1981

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0003-3028-3112

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0002-5158-7652

## 1. Introduction

Purple non-sulfur bacteria (PNS), a group of photosynthetic bacteria, have rich metabolic activities. They can exhibit aerobic, anaerobic, photosynthetic or fermentative reproduction patterns. Due to these properties, purple nonsulfur bacteria are used to study metabolic pathways like nitrogen and carbon fixation, oxygen-free photosynthesis and membrane bioenergy (Joshi and Tabiata, 1996; Oelze and Klein, 1996; Kars and Gündüz, 2010). Furthermore, PNS bacteria have many biotechnological applications. For instance, many high-value-added metabolic products like 5-aminolevulinic acid, biohydrogen, coenzyme Q10, poly- $\beta$ -hydroxybutyrate, vitamin B12 and carotenoid can be produced by them simultaneously (Sasaki et al., 2005; Kars and Gündüz, 2010). Among PNS bacteria, strains of *Rhodobacter sphaeroides* take special attention due their wide range of metabolic activities and many primary and secondary metabolites. One of the attractive properties of *R. sphaeroides* is that it is non-pathogenic and it does not induce any systemic immune reaction (Takayama et al., 1989; Kwon et al., 2014). For this reason, *R. sphaeroides* as a robust and sustainable cell factory has attracted attention in many biotechnological and medical applications. Another attractive property of *R. sphaeroides* is that it can utilize a wide variety of feedstocks like industrial wastes or by-products as substrate which in turn increases the feasibility and cost-effectiveness of the production process. The last but not the least, *R. sphaeroides* is a unique model for the production of more than one product at a time in the same bioprocess through valorization of wastes or by-products. In this way, *R. sphaeroides* could be a part of the biorefinery application where several valuable products like biofuels and chemicals are produced by maximizing the benefit from biomass (Menon and Rao, 2012). Due to these features, non-pathogenic *R. sphaeroides* was selected as a source microorganism in the present study.

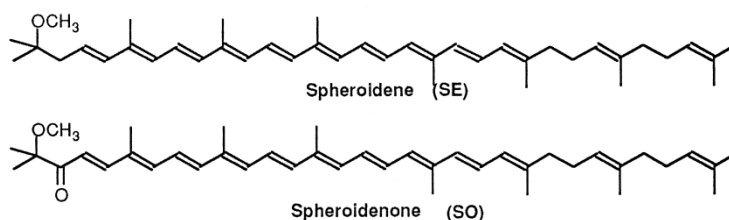
Carotenoids are lipophilic pigments which could be red, yellow, orange and purple in color and have essential roles in photosynthesis (Fraser et al., 2001). First, they are functional as a light absorbing pigment by absorbing and transferring light energy to be used in photosynthesis. Second, they have a photoprotective role. They perform this function by either quenching the excited bacteriochlorophylls and thereby preventing the formation of singlet oxygen or quenching directly the preformed singlet oxygen. Finally, they act as

structural element in light harvesting complex. Due to their intrinsic feature, they have strong antioxidant property. The production of carotenoids could be achieved in several ways such as chemical synthesis, extraction from plants or microorganisms and production from industrial wastes. Although synthetic production process costs low, it requires complex steps and the products generally consist of chemical byproducts and isomers which could be harmful. Hence, such a process is not ecologically and medically favorable. On the other hand, natural pigments generally do not have side effects and their production processes are cost efficient. Although, production of carotenoids from biological sources is advantageous, current production techniques need to be enhanced so as to produce high amount of carotenoids in efficient bioprocesses. In this context, overproduction of carotenoids through metabolic engineering of microorganisms is among the mostly applied strategies. This was generally achieved by reorganizing the genes to utilize much of the carbon flux, metabolites, cofactors and reducing equivalents for the biosynthesis of carotenoids in the cells (Li et al., 2020). Besides, various carotenoid extraction techniques and solvent-solid ratios were tested to obtain high carotenoid yields (Gu et al., 2008; Saini and Keum, 2018). For instance, Gu et al. (2008) tested three different carotenoid extraction methods namely ultrasonic assisting, grinding and HCl assisting and HCl assisting extraction was found to be most effective one. Still, there are factors like temperature and extraction time which contribute to the overall carotenoid production efficiency. The use of sustainable and cheap feedstocks may also help to increase the cost-efficiency of the carotenoid production process.

Approximately, 2-3% of the cell dry weight of *R. sphaeroides* is constituted by carotenoids named as spheroidene and spheroidenone (Figure 1) (Lang et al., 1995; Yeliseev et al., 1996; Gu et al., 2008). Photosynthetic elements including carotenoids are located in the intracytoplasmic membrane (ICM) of *R. sphaeroides*. The structural characterization and biosynthetic metabolism of the carotenoids have already been revealed (Shneour, 1962; Armstrong, 1994). *R. sphaeroides* was cultured under different conditions (semi-aerobic, photosynthetic and Dark/DMSO) and then extraction, quantification and characterization of the carotenoids were performed (Yeliseev et al., 1996). It was found out that the relative amount of spheroidene was about 76% under photosynthetic conditions while the relative amount of spheroidenone was 96%

under semi-aerobic conditions. Interestingly, higher rate of spheroidene (circa 85%) was obtained in case the cells were harvested under anoxic conditions without light using dimethyl sulfoxide (DMSO) as terminal electron acceptor. The aforementioned studies provided sufficient knowledge about the structure and composition of bacterial carotenoids. Therefore, from this point

on, the progresses on biotechnological production and applications of carotenoids need to be achieved. Specifically, various sustainable and cheap feedstocks need to be tested to achieve low cost bioprocesses in addition to effective carotenoid extraction procedures. In addition, the potential applications of carotenoids should be explored in different fields.



**Figure 1.** The carotenoids in *R. sphaeroides* (Yeliseev and Kaplan, 1997).

It was shown that natural compounds like carotenoids and phenolic compounds produced by plants and microorganisms were effectively used in the treatment of cancer and other illnesses (Saklani and Kutty, 2008; Gu et al., 2008). Specifically, different natural and synthetic products obtained from plants, microorganisms and different derivatives have been tested on various cancer cells in terms of the capacities of drug resistance reversing activities (Molnár et al., 2004; Fong et al., 2007), in addition to their anti-proliferative efficacy (Ugocsai et al., 2005; Kars et al., 2008). Cancer cells develop resistance to chemotherapeutics due to drug efflux through P-glycoprotein which is produced by multiple drug resistance 1 gene (O'driscoll and Clynes, 2006). Scientist intensively made research to overcome multi drug resistance (MDR) and to inhibit ABC transporters (ATP binding cassette transporters). Natural carotenoids might have the potency to be utilized as either anti-cancer agents or as antioxidant in preventive or prophylactic treatments.

In this study, motivated from the aforementioned arguments, production of bacterial carotenoids in a cost-effective bioprocess using a sustainable and cheap feedstock and their biotechnological and medical applications were investigated. For this, *R. sphaeroides* was first cultivated in a 5 L bioreactor utilizing sugar beet molasses as a cost-efficient substrate prior to the extraction of carotenoids. As substrate, molasses which was produced in a local sugar factory was used. This increases the sustainability of the carotenoid production process and contributes to the circular economy. To our knowledge, this is the first that

*R. sphaeroides* was cultured in a 5 L bioreactor using locally produced molasses for carotenoid extraction in Turkey. Then, toxicological and antioxidant effects of carotenoids on drug (paclitaxel and vincristine) sensitive and resistant mammary cancer cells were evaluated. These drug resistant cells were also used for the first time in the literature for the toxicity assessment of carotenoid extracted from *R. sphaeroides*. It was demonstrated that carotenoid extract had a significant free radical scavenging capacity in comparison with L-ascorbic acid, which could be considered as reference antioxidant. And, carotenoid extract had no inhibitory effects on cell proliferation. Based on these findings, it can be proposed that *R. sphaeroides* could successfully be cultivated in cost-efficient bioprocesses using sustainable and cheap biomass like molasses and the bacterium can potentially be used as a promising natural source for carotenoids to be used as antioxidant in medical applications.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Cultivation of *R. sphaeroides* in Bioreactor and Total Carotenoid Extraction

As a source of bacterial carotenoid, *R. sphaeroides* O.U. 001 (DSM 5864) was used. Sugar beet molasses (SBM) provided from a sugar factory (Konya Şeker, Turkey) was utilized as substrate. It contains circa 50% (w/w) sucrose in addition several elements (K, Na, Mg, Ca, Al, Mo, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr and B) and organic acids (Succinic acid, Fumaric acid, Malic acid, Propionic acid, Acetic acid, Lactic acid and Formic acid) in considerable amounts. The

detailed compositional analysis of molasses was performed and the best molasses concentration was determined in a previous study (Kars and Alparslan, 2013). Based on these early findings, 28 g/L sucrose was used as the optimum concentration for cell growth in the present study. To culture the bacteria, 3150 mL of medium containing 55 g/L SBM (circa 28 g/L sucrose) was prepared by dispensing 173.25 g of molasses in water. The suspension was centrifuged at 9418xg for 10 min. to precipitate the debris so that a transparent medium was obtained. Then,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (1.575 g),  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0.63 g),  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.1575 g), Na Glutamate (1.1655 g),  $\text{FeSO}_4$  (0.0063 g) and  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.0126 g) were added into the medium at given quantities. The pH of the medium was set to 6.8. After that the whole media was transferred into the bioreactor vessel and the bioreactor was placed into autoclave for sterilization. After cooling the bioreactor to room temperature, 315  $\mu\text{L}$  of vitamin solution (Biotin, 15 mg/L; Niacin, 500 mg/L; Thiamine, 500 mg/L) was added into the vessel through one of the ports under sterile conditions. From this point, the bioreactor vessel inlets were tightly sealed and isolated in order not to let any air go into the vessel and contaminate the medium.

In the present study, Sartorius BIOSTAT® B plus bioreactor (5L, UniVessel® Glass) was used and the bioreactor was operated at batch mode, (Figure 2). 70% of the total volume (5 L) was used as working volume. The bioreactor was inoculated with 350 mL of pre-cultured actively growing cells and the anaerobic condition was assured by passing argon gas through the bioreactor for 3 min. Although there is no need to agitate the culture since *R. sphaeroides* has flagella for movement and bioreactor was operated under anaerobic atmosphere, the culture was stirred by the impeller inside the vessel at 140 rpm to allow the cells to benefit more from the light. The temperature was kept at 28 °C by the water supplied from the chiller unit (Sartorius stedim FRIGOMIX® 1000) to the glass heating/cooling jacket that surrounds the vessel. The culture was incubated under the illumination of incandescent lamps ( $775 \pm 25$  lux). The turbidity of the culture was measured in certain time intervals and the process was run until the OD of the sample culture was 1.55 at 660 nm. Then, the cells were harvested for carotenoid extraction.

The carotenoid isolation procedure was adapted from (Gu et al., 2008). The bacterial culture was

divided into separate tubes and centrifuged at 9418xg for 20 min. The pellets were washed, collected in one tube and re-centrifuged. The pellets were collected in a beaker and freeze-dried at -80°C overnight. The freeze-dried pellet was lyophilized at -111 °C under 0.009 mbar. The freeze-dried biomass was weighed, suspended in 240 mL of 3 M HCl and disrupted by shaking at 100 rpm for half an hour at 28°C. The hydrolysate was centrifuged at 9418xg for 20 min. and supernatant containing carotenoids was transferred to a new tube. Solvent was evaporated by rotary evaporator (at 37°C) and remaining part was lyophilized. The amount of bacterial carotenoid was calculated by measuring the absorbance (at 480 nm) of carotenoid suspension and then using this value in the formula together with conversion factors. The below equation was used to calculate carotenoid yield and concentration, where A is absorbance (at 480 nm), D is dilution factor, V is solvent volume (mL) and W is bacteria dry weight (g) (Gu et al., 2008; Carvalho et al., 2012; Zhao et al., 2019).

$$\text{Carotenoid yield} \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{1000 \times A \times D \times V}{0.16 \times W} \quad (1)$$

## 2.2. Cell Lines and Determination of the Effects of Carotenoid Extract on Cancer Cells

Paclitaxel and vincristine (anticancer drugs) resistant mammary carcinoma cell lines were used as reference cell lines for drug resistant breast cancer (Kars et al., 2008). The drug resistant cells lines were previously established from breast cancer cell line MCF-7. The drug resistant cells were selected from the cell culture medium by increasing the treatment doses of paclitaxel and vincristine. The effects of carotenoid extract on the proliferations of paclitaxel and vincristine resistant MCF-7 cells were evaluated in 96-well microplate as performed previously (Kars et al., 2008). Extract was diluted from 10 mg/mL to 0.02 mg/mL horizontally in the plates. 10,000 cells were inoculated into each well.  $\text{IC}_{50}$  values of paclitaxel and vincristine on the cells were used for comparison. The effect of carotenoid extract dilutions on cell proliferation and  $\text{IC}_{50}$  values were calculated through cell proliferation graphics. The checkerboard plate technique was performed to evaluate the interactions between carotenoid extract and cancer drugs on the cells. The microtubule inhibitors (paclitaxel, vincristine) were diluted horizontally from left to right and carotenoid extract was diluted from up to down in vertical direction in a 96 well microplate (drugs and extract was diluted 1:2 serially starting from



IC<sub>50</sub> values). 10,000 cells were inoculated into the wells. Inhibitory concentration for each combination was calculated with respect to no-drug control wells. The fractional inhibitory index (FIX) value was calculated and if the value was in between 0.51 and 1.00, the interaction was stated to be additive; if the value was lower than 0.50, the interaction was told to be synergistic; and if the FIX was higher than 2, it meant the interaction was antagonistic (Kars et al., 2008).

### 2.3. Determination of Antioxidant Activity of Bacterial Carotenoid Extract

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenges labile protons from antioxidants with further generation of hydrazine without any color (Diouf et al., 2009). Carotenoid extract from *R. sphaeroides* was prepared as 2.08 mg/mL concentration in methanol. The extract was diluted in range of 208 µg/mL - 4.06 µg/mL. L-ascorbic acid (Sigma) was used as positive control. Ascorbic acid was diluted from 200 µg/mL to 0.39 µg/mL and then 20 µg/mL DPPH solution was added to the carotenoid and ascorbic acid wells in 3:1 ratio. After 30 min. incubation at room temperature in dark, the measurement of the optical density at 517 nm was performed. Free radical clearance effect of bacterial carotenoids was determined by using the blank solution (DPPH in solvent) as the highest free radical containing solution, 100% numerically. The free radical scavenging activity (FRSA) of the extract was demonstrated as the quantity of carotenoid extract which alleviate DPPH activity by 50% (IC<sub>50</sub>). The FRSA of carotenoid extract was calculated from the equation of the logarithmic best line of the graph drawn as DPPH % inhibition vs. carotenoid extract concentration (mg/mL). The assay was performed as triplicates.

### 2.4. Statistics

The results of cell proliferation tests and DPPH assay were subjected to t-test to compare the difference between groups or treatments (SPSS, p<0.05).

## 3. Result and Discussions

### 3.1. Total Carotenoid Extraction from *R. sphaeroides* Grown in 5 Liter Bioreactor

Due to the intrinsic features of *R. sphaeroides*' carotenoids, they have substantial potential to be used as antioxidants by effectively neutralizing singlet oxygen species in the surroundings. In

addition, *R. sphaeroides*' being non-immunogenic and non-pathogenic makes it a valuable source of carotenoids. There are two possible ways to enhance bacterial carotenoid production. Either recombinant DNA technology could be applied or culture conditions could be adjusted to obtain higher carotenoid amount. The genetic methods for *R. sphaeroides* are well established but gene manipulations require significant efforts and there are many targets to be improved. In this regard, in the present study, optimum culture conditions were applied for enhanced cell growth and carotenoid production based on previous experiences and literature findings. It was observed in previous studies that sugar beet molasses supported the proliferation of *R. sphaeroides* significantly (Kars and Alparslan, 2013). The maximum cell density (OD<sub>660</sub>: 8.3) was attained in a medium which contained sugar at a concentration of 28 g/L. This cell density is the highest value that has been obtained so far. Based on this result, *R. sphaeroides* was cultivated in medium prepared by using sugar beet molasses at aforementioned concentration. Sugar beet molasses which was produced in Konya was used as substrate for carotenoid production in this study. Thus, valorization of locally produced molasses was realized by producing valuable pigments. Taking into account previous experiences and literature findings, the cells were cultured in 5 L bioreactor for the production of carotenoids. The bioprocess was operated in batch mode using 5 L bioreactor. Upon harvesting the cells, 5.8 g of bacteria dry weight was obtained. The carotenoids were extracted from dry cells using acetone as solvent. An optical density of 0.039 was obtained after 8 times dilutions at 480 nm. Taking into account the dilution factor and solvent volume (240 mL), the carotenoid yield was calculated as 80.69 mg/g (carotenoid/dry biomass). This value corresponds to circa 8 % (w/w) of the cell dry weight. In addition, the concentration of total carotenoids was calculated as 133.71 mg/L. In Table 1, examples of carotenoid yields obtained from organisms using different substrates were listed. As it is seen from the Table 1, the highest carotenoid yield (80.69 mg/g) was obtained from *R. sphaeroides*. There could be several explanations for this high carotenoid yield. First, molasses may have had a promoting effect on the synthesis of carotenoid since molasses was found to support growth and metabolism of the bacteria substantially and very high cell densities were attained using molasses when compared to other carbon source like malate and acetate (Kars et al., 2009; Kars and Alparslan, 2013). Second, due to dark color of the molasses

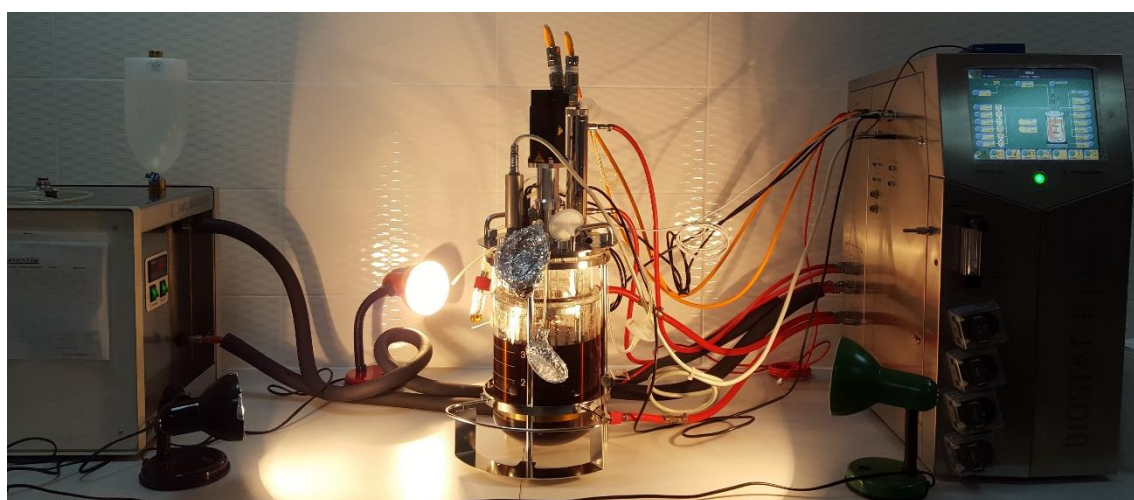


and therefore the dark color of the media, the bacteria may have had limited access to light. To overcome this, the cells may have synthesized more carotenoid to collect more light. The shading effect of high cell density may have contributed to this high yield, as well. In parallel with these discussions, low light intensity and high cell

density have been reported to significantly increase the relative content of bacteriochlorophyll and carotenoid in *R. sphaeroides* 2.4.1 (Yeliseev et al., 1996). To sum up, using molasses under limited light conditions could be the reason for such a high carotenoid yield.

**Table 1.** The examples of carotenoid yield from different organisms

Organism	C source	Yield (mg/g dry weight)	Reference
<i>Rhodobacter sphaeroides</i> O.U. 001	SBM sucrose (28 g/L)	80.69	This study
<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	Citric acid (8.1 g/L), corn syrup (1.8 g/L)	4.650	(Gu et al., 2008)
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> (NRRL-2502)	Whey lactose (13.2 g/L)	35.00	(Aksu and Eren, 2005)
<i>Rhodotorula glutinis</i> (CCT 2186)	Sugar cane sugar (2.88 g/L), yeast extract (10 g/L), peptone (10 g/L)	0.197	(Squina et al., 2002)
<i>Rhodotorula rubra</i>	Sugar cane sugar (2.88 g/L), yeast extract (10 g/L), peptone (10 g/L)	0.426	(Squina et al., 2002)
<i>Nannochloropsis gaditana</i>	Autotrophy	0.343	(Macias-Sanchez et al., 2005)
<i>Rhodotorula rubra</i>	Glucose (18.75 g/L)	8.352	(Varmira et al., 2018)



**Figure 2.** The bioreactor configuration used for cultivation of *R. sphaeroides*

### 3.2. Effects of Bacterial Carotenoids on Breast Cancer Model Cells

Carotenoid extract was applied to the MCF-7 cell lines and it was found that bacteria carotenoid extract did not inhibit the proliferation of cells. In addition to this, the resistant cells were also resistant to the carotenoid extract about three folds. In other words, three folds more carotenoid extract was required to diminish cell viability to fifty percent for resistant cells (Table 2, Figure 3).

Regarding MDR reversal agents, high toxicity is the most important problem (Wong et al., 2009; Teg et al., 2016). For this reason, studies on the detection of safe, non-toxic MDR modulators are important. When the interaction of extract with paclitaxel and vincristine was considered, it was concluded that carotenoid extract did not act synergistically with anticancer agents. The carotenoid extract dilutions equal and lower than its IC<sub>50</sub> concentrations exhibited antagonistic effects compared to the microtubule inhibitor

drugs paclitaxel and vincristine (Table 3). This antagonism may have been resulted from the dilution of the effects of anticancer drugs by nontoxic extract solution. Previously, carotenoids were exhibited as MDR modulating agents in several studies. It was shown that beta carotene might be proposed as an MDR modulator and was a good candidate to be used in adjuvant therapy in drug resistant cancer cases (Teng et al., 2016). It was also claimed that semi-beta carotene-epoxide has higher MDR reversal activity than verapamil- a known MDR blocker (Molnar et al., 2009). So, the fact that the *R. sphaeroides* carotenoid extract has no antiproliferative effect on the drug resistant cells opens the possibility of using this extract as drug resistance modulator in future studies. Drug resistance reversal capacity of bacterial carotenoids needs to be investigated by revealing the interaction of extract with P-glycoprotein, the MDR responsible protein.

**Table 2.** IC<sub>50</sub> values obtained from cytotoxicity tests.

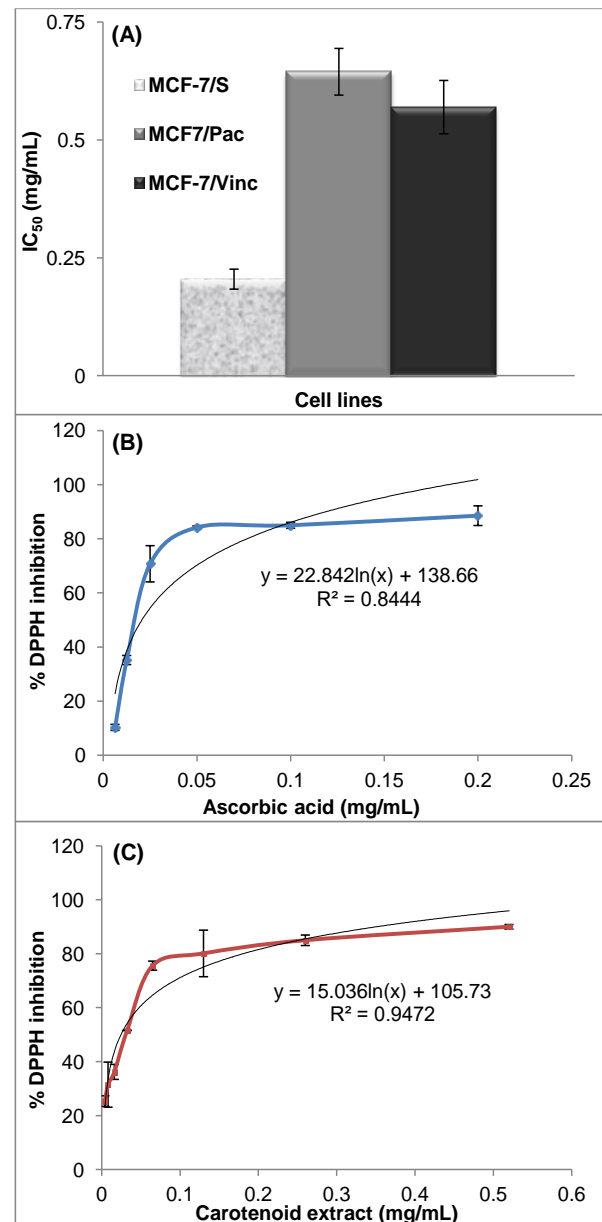
MCF-7 Cells	Drug/extract	IC <sub>50</sub> (mg/mL) ± SD (p<0.05)
Drug sensitive	Paclitaxel	0.002 ± 0.0002
	Vincristine	0.005 ± 0.0006
	Carotenoid extract	0.21 ± 0.01
Paclitaxel resistant	Paclitaxel	0.27 ± 0.0002
	Carotenoid extract	0.65 ± 0.09
Vincristine resistant	Vincristine	0.10 ± 0.002
	Carotenoid extract	0.57 ± 0.06

**Table 3.** Extract-drug interactions

MCF-7 Cells	Drug + extract	FIX ± SD (p<0.05)	Interaction
Paclitaxel R.	Paclitaxel + Carotenoid extract	5.76 ± 0.12	Antagonistic
Vincristine R.	Vincristine + Carotenoid extract	3.78 ± 0.12	Antagonistic

**3.3. Anti-Oxidant Capacity of Bacterial Carotenoid Extract**

Free radical scavenging activity of carotenoid extract was determined by calculating the DPPH



**Figure 3.** Cytotoxicity and antioxidant properties of carotenoids. (A) IC<sub>50</sub> values of carotenoid extract on cell lines (p<0.05); (B) and (C) are the DPPH scavenging activity of ascorbic acid and carotenoid extract, respectively (p<0.05).

clearance effect of carotenoids. The logarithmic equation of the DPPH% inhibition vs L-ASA (mg/mL) graph was  $y=22.842 \ln(x) + 138.66$  and that of DPPH inhibition vs carotenoid extract (mg/mL) graph was  $y=15.036\ln(x) + 105.73$

(Figure 3). The anti-oxidant capacities of the ascorbic acid (L-ASA) and bacterial carotenoids were found by putting the value 50.00 instead of  $y$  in the equations and the result was expressed as 50% inhibitory concentration ( $IC_{50}$ ). It was found that *R. sphaeroides* carotenoid extract inhibits the 50% of DPPH at a concentration of 25  $\mu\text{g/mL}$ . The antioxidant capacity of L-ASA (21  $\mu\text{g/mL}$ ) is about 0.84-fold higher than that of carotenoids. That means bacterial carotenoid extract has very close antioxidant activity to that of L-ASA. Nie et al. (2016) cultured *R. sphaeroides* under microaerobic conditions for the rapid extraction of carotenoids and they found out that the isolated carotenoids had an  $IC_{50}$  value of 8.175  $\mu\text{g/mL}$ . This finding is different from the  $IC_{50}$  value obtained in the present study. This is most probably due to the culture conditions which affect the carotenoid composition of the bacterium such that reduced oxygen availability and light intensity was found to stimulate spheroidene production while downregulating the amount of spheroidenone (Yeliseev et al., 1996). It can be deduced from these results that culture conditions change the carotenoid composition in the bacterium and therefore the antioxidant capacity is also changed. The antioxidant capacity of a natural carotenoid or a natural phytochemical can also be exhibited as ascorbic acid equivalent antioxidant capacity (AEAC) as described previously (Jambun et al., 2018). AEAC of bacteria carotenoid extract was found to be 84 g L-ASA/100 g bacterial carotenoids. According to the literature and previous findings, plant carotenoids, that have antioxidant activity, reverse drug resistance successfully (Molnár et al., 2004; Kars et al., 2008). Consequently, *R. sphaeroides* can also be considered as a promising natural source for carotenoid which may be a potential antioxidant or protective agent. Especially, the property of bacterial carotenoid being non-toxic to the cells makes it a valuable antioxidant and it also increases its biotechnological and medical uses.

#### 4. Conclusion

Coloring agents, with antioxidant activities from natural sources, have a big demand in market. Therefore, intense investigation is needed to meet the natural carotenoid demand. In this regard, photosynthetic bacteria constitute important natural sources for carotenoids. They are non-pathogenic and can be cultured in cost efficient biotechnological bioprocesses. In the present study, significant amount of carotenoid was obtained from a photosynthetic bacterium *R.*

*sphaeroides* by valorizing sugar beet molasses and its potential uses were evaluated. In this aspect, this study possesses all stages (upstream, downstream and product application) of a biotechnological bioprocess. A very high yield (80.69 mg carotenoid/g dry cell weight) was obtained by carefully selecting the culture conditions. Upon application of carotenoid extract on resistant MCF-7 cell lines, it was found that bacterial carotenoid extract did not diminish the viability of the cells. When the interaction of extract with microtubule inhibitor drugs which were paclitaxel and vincristine was considered, it was found out that carotenoid extract did not act synergistically with drugs. The carotenoid extract had antagonistic effects when applied in combination with the drugs paclitaxel and vincristine. According to literature and previous findings, plant carotenoids were found to reverse drug resistance successfully (Kars et al., 2008; Molnar et al., 2009). Since this total carotenoid extract did not exhibit antiproliferative effect on both sensitive and resistant breast cancer cells and it possesses a considerable antioxidant effect with an  $IC_{50}$  value of 25  $\mu\text{g/mL}$  on singlet oxygen radicals especially, the bacterial carotenoids could be suggested to be assessed as a potential protecting and MDR modulating agent. Its MDR modulating function is needed to be revealed by resolving any effects on reversal of P-glycoprotein function. In future studies, the use of bacterial carotenoids as drug resistance modulator will further be investigated in addition to their medical use as natural antioxidant.

#### Acknowledgement

The support from The Scientific and Technological Research Council of TURKEY (Project No:110T552) was acknowledged gratefully. We would like to thank Prof. Dr. Samuel Kaplan (The University of Texas Health Science Center at Houston) for giving permission to use carotenoid images. Konya Şeker San. ve Tic. A.Ş. is acknowledged for providing molasses.

#### References

- Aksu, Z. and Eren, A.T., 2005. Carotenoids Production by the Yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: Use of Agricultural Wastes as a Carbon Source. *Process Biochemistry*, 40, 2985–2991.
- Armstrong, A.G., 1994. Eubacteria Show Their True Colors: Genetics of Carotenoid Pigment Biosynthesis from Microbes to Plants. *Journal of Bacteriology*, 176, 4795-4802.

- Carvalho, L.M.J., Gomes, P.B., Godoy, R.L.O., Pacheco, S., Monte, P.H.F., Carvalho, J.L.V., Nutti, M.R., Neves, A.C.L., Vieira, A.C.R.A. and Ramos, S.R.R., 2012. Total Carotenoid Content,  $\alpha$ -Carotene and  $\beta$ -Carotene, of Landrace Pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A Preliminary Study. *Food Research International*, 47, 337-340.
- Diouf, P.N., Stevanovic, T. and Cloutier, A., 2009. Antioxidant Properties and Polyphenol Contents of Trembling Aspen Bark Extracts. *Wood Science and Technology*, 43, 457-470.
- Fong, W.F., Wang, C., Zhu, G.Y., Leung, C.H., Yang, M.S. and Cheung, H.Y., 2007. Reversal of Multidrug Resistance in Cancer Cells by *Rhizoma alismatis* Extract. *Phytomedicine*, 14, 160-165.
- Fraser, J.N., Hashimoto, H. and Cogdell, J.R., 2001. Carotenoids and Bacterial Photosynthesis: The Story So Far. *Photosynthesis Research*, 70, 249-256.
- Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z. and Gu, F., 2008. Optimization of Carotenoids Extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1082-1088.
- Jambun, D.D., Ong, K.S., Lim, Y.Y., Tan, J.B.L., Lee, W.L., Muhamad, A., Yap, S.W. and Lee, S.M., 2018. Antioxidant Properties of *Etilingera pubescens*, an Edible Ginger Plant Endemic to Borneo. *Food Bioscience*, 25, 44-51.
- Joshi, H.M. and Tabita, F.R., 1996. A Global Two Component Signal Transduction System That Integrates the Control of Photosynthesis, Carbon Dioxide Assimilation, and Nitrogen Fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 14515-14520.
- Kars, G. and Alparslan, Ü., 2013. Valorization of Sugar Beet Molasses for the Production of Biohydrogen and 5-Aminolevulinic Acid by *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001 in a Biorefinery Concept. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 14488-14494.
- Kars, G. and Gündüz, U., 2010. Towards a Super H<sub>2</sub> Producer: Improvements in Photofermentative Biohydrogen Production by Genetic Manipulations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 6646-6656.
- Kars, G., Gündüz, U., Yücel, M., Rakhely, G., Kovacs, K.L. and Eroğlu, İ., 2009. Evaluation of Hydrogen Production by *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001 and Its *hupSL* Deficient Mutant Using Acetate and Malate as Carbon Sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 2184-2190.
- Kars, M.D., İşeri, O.D., Gündüz, U. and Molnár, J., 2008. Reversal of MDR by Synthetic and Natural Compounds in Drug Resistant MCF-7 Cell Lines. *Chemotherapy*, 54, 194-200.
- Kwon, S.Y., Jiang, S.N., Zheng, J.H., Choy, H.E. and Min, J.J., 2014. *Rhodobacter sphaeroides*, a Novel Tumor-Targeting Bacteria That Emits Natural Near-Infrared Fluorescence. *Microbiology and Immunology*, 58, 172-179.
- Lang, H.P., Cogdell, R.J., Takaichi, S. and Hunter, C.N., 1995. Complete DNA Sequence, Specific Tn5 Insertion Map, and Gene Assignment of the Carotenoid Biosynthesis Pathway of *Rhodobacter sphaeroides*. *Journal of Bacteriology*, 177, 2064-2073.
- Li, C., Swofford, C.A. and Sinskey, A.J., 2020. Modular Engineering for Microbial Production of Carotenoids. *Metabolic Engineering Communications*, 10, e00118.
- Macias-Sanchez, M.D., Mantell, C., Rodriguez, M., Martinez de la Ossa, E., Lubián, L.M. and Montero, O., 2005. Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids and Chlorophyll a from *Nannochloropsis gaditana*. *Journal of Food Engineering*, 66, 245-251.
- Menon, V. and Rao, M., 2012. Trends in Bioconversion of Lignocellulose: Biofuels, Platform Chemicals & Biorefinery Concept. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 522-550.
- Molnár, J., Gyemant, N., Mucsi, I., Molnár, A., Szabo, M., Körtvélyesi, T., Varga, A., Molnár, P. and Tóth, G., 2004. Modulation of Multidrug Resistance and Apoptosis of Cancer Cells by Selected Carotenoids. *In vivo*, 18, 237-244.
- Molnar, J., Kars, M.K., Gündüz, U., Engi, H., Schumacher, U., Van damme, E.J., Peumans, W.J., Makovitzky, J., Gyémánt, N. and Molnar, P., 2009. Interaction of Tomato Lectin with ABC Transporter in Cancer Cells: Glycosylation Confers Functional Conformation of P-gp. *Acta Histochemica*, 111, 329-333.
- Nie, X., Xiao, C., Zhang, L., Zhao, Y., Liu, X., Wang, J., Tang, Y., Liu, Y., Zhao, Z. and Pan, Y., 2016. Rapid Production of Natural Carotenoids from *Rhodobacter sphaeroides*. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 11, 800-804.
- O'driscoll, L. and Clynes, M., 2006. Molecular Markers of Multiple Drug Resistance in Breast Cancer. *Chemotherapy*, 52, 125-129.
- Oelze, J. and Klein, G., 1996. Control of Nitrogen Fixation by Oxygen in Purple Nonsulfur

- Bacteria. Archives of Microbiology, 165, 219-225.
- Saini, R.K. and Keum, Y.S., 2018. Carotenoid Extraction Methods: A Review of Recent Developments. Food Chemistry, 240, 90-103.
- Saklani, A. and Kutty, S.K., 2008. Plant-Derived Compounds in Clinical Trials. Drug Discovery Today, 13, 161-171.
- Sasaki, K., Watanabe, M., Suda, Y., Ishizuka, A. and Noparatnaraporn, N., 2005. Applications of Photosynthetic Bacteria for Medical Fields. Journal of Bioscience and Bioengineering, 100, 481-488.
- Shneour, E.A., 1962. Carotenoid Pigment Conversion in *Rhodopseudomonas spheroids*. Biochimica et Biophysica Acta, 62, 534-540.
- Squina, F.M., Yamashita, F., Pereira, J.L. and Mercadante, A.Z., 2002. Production of Carotenoids by *Rhodotorula rubra* and *R. glutinis* in Culture Medium Supplemented with Sugar Cane Juice. Food Biotechnology, 16, 227-235.
- Takayama, K., Qureshi, N., Beutler, B. and Kirkland, T.N., 1989. Diphosphoryl Lipid a from *Rhodopseudomonas sphaeroides* ATCC 17023 Blocks Induction of Cachectin in Macrophages by Lipopolysaccharide. Infection and Immunity, 57, 1336-1338.
- Teng, Y.N., Sheu, M.J., Hsieh, Y.W., Wang, R.Y., Chiang, Y.C. and Hung, C.C., 2016.  $\beta$ -Carotene Reverses Multidrug Resistant Cancer Cells by Selectively Modulating Human P-Glycoprotein Function. Phytomedicine, 23, 316-323.
- Ugocsai, K., Varga, A., Molnar, P., Antus, S. and Molnar, J., 2005. Effects of Selected Flavonoids and Carotenoids on Drug Accumulation and Apoptosis Induction in Multidrug-Resistant Colon Cancer Cells Expressing MDR1/LRP. In vivo, 19, 433-438.
- Varmira, K., Habibi, A., Moradi, S. and Bahramian, E., 2018. Experimental Evaluation of Airlift Photobioreactor for Carotenoid Pigments Production by *Rhodotorula rubra*. Romanian Biotechnological Letters, 23, 13843-13852.
- Wong, H.L., Wu, X.Y. and Bendayan, R., 2009. Multidrug Resistance in Solid Tumor and Its Reversal, in: Lu, Y., Mahato, R. (Eds), Pharmaceutical Perspectives of Cancer Therapeutics. Springer, New York, pp.121-148.
- Yeliseev, A.A., Eraso, J.M. and Kaplan, S., 1996. Differential Carotenoid Composition of the B875 and B800-850 Photosynthetic Antenna Complexes in *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1: Involvement of Spheroidene and Spheroidenone in Adaptation to Changes in Light Intensity and Oxygen Availability. Journal of Bacteriology, 178, 5877-5883.
- Yeliseev, A.A. and Kaplan S., 1997. Anaerobic Carotenoid Biosynthesis in *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1: H<sub>2</sub>O is a Source of Oxygen for the 1-Methoxy Group of Spheroidene but not for the 2-Oxo Group of Spheroidenone. FEBS Letters, 403, 10-14.
- Zhao, Y., Guo, L., Xia, Y., Zhuang, X. and Chu, W., 2019. Isolation, Identification of Carotenoid-Producing *Rhodotorula sp.* from Marine Environment and Optimization for Carotenoid Production. Marine Drugs, 17, 161.



## Atık Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği

*Evaluation of Engineering Properties of Rock Masses in Waste Dam Site: The Example of Gumushane*

Selçuk ALEMDAĞ<sup>\*1,a</sup>, Mustafa KANIK<sup>2,b</sup>

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

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 15.02.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 21.04.2020

### Öz

Bu çalışmada Gümüştaş Atık Depolama Barajı II eksen yeri kaya kütlelerinin kazılabilirlik, taşıma kapasitesi ve geçirimsizlik özellikleri değerlendirilmiştir. Atık depolama alanı hacminin artırılmasına yönelik yapılacak kazı için, kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıfları andezitik breş için kırma yöntemi, andezit için ise kırma ve patlatma yöntemi olarak belirlenmiştir. Baraj eksen yeri temel kayası olan andezitlerin taşıma kapasitesi ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenmiş olup, nihai taşıma kapasitesi 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiştir. Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinde açılmış olan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı su deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan sızıntı analizi ile geçirimsizlik değerlendirmesi yapılmış olup, temel kaya kütlelerinin az geçirimsiz özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu durum atık barajı rezervuar alanında biriktirilecek kimyasal atıkların yeraltı suyuna karışmasına sebep olacaktır. Bu sızmayı önlemek için baraj eksen yeri ve rezervuar alanına 35-40cm kalınlığında geçirimsiz doğal kil malzeme serilip sıkıştırılacaktır. Yapılan bu uygulama sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiş ve rezervuar alanı tamamen atık su ile dolduğu durum için yapılan sızma analizi sonucunda geçirimsizlik değeri  $5 \times 10^{-11} \text{m/s}$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca, temel kazısından 10m derinlikte belirlenen deşarj kesitinde meydana gelen su kaçakları  $1.69 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$  ile  $3.44 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$  arasında değişmektedir. Bu değerler oldukça küçük değerler olup, yine de olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu muhtemel sızmayı ortadan kaldırmak için serilecek doğal kil tabakanın üzerine, jeotekstil malzemeler (jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit) serilerek rezervuar alanı tamamen geçirimsiz duruma getirilmelidir. Böylece atık barajı rezervuar alanında flotasyon sonrası biriktirilecek olan kimyasal atık suyun yeraltı suyuna karışması önlenmiş olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Atık Barajı, Geçirimsizlik, Kazılabilirlik, Sızıntı Analizi, Taşıma Kapasitesi

### Abstract

In this study, excavatability, bearing capacity and permeability characteristics of rock masses along the Gümüştaş Waste Storage Dam II site were evaluated. For the excavations to be carried out to increase the volume of the waste storage area, the excavation classes of the rock masses were determined as "Hammer" for andesitic breccia and "Hammer&Blasting" for andesite. The bearing capacity of andesite (bedrock) has been determined with the help of empirical equations and, allowable bearing capacity and ultimate bearing capacity were calculated as 10.44MPa and 31.07MPa, respectively. The permeability has been assessed by the Lugeon Tests conducted in the geotechnical drill holes located in the andesite and andesitic breccia rock masses and with the aid of the seepage analysis based on the finite element method the bedrock mass has been defined as low permeable. Low permeable rock masses would possibly cause the chemical wastes to be collected in the waste dam reservoir area to pollute the groundwater. To prevent the seepage, impermeable natural clay material of 35-40cm thickness should be laid and compressed along the dam axis and reservoir area. This suggestion was modeled with the aid of the finite element method, for the case that the reservoir area was completely filled with wastewater and, the permeability value was determined as  $5 \times 10^{-11} \text{m/s}$  as a result of the seepage analysis. In addition, seepage values in the discharge section at a depth of 10m from the foundation vary between  $1.69 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$  and  $3.44 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$ . These values are quite low but, are indicators of a possible seepage. To eliminate this possible seepage, the geotextile materials (geosynthetic clay membrane, Geomembrane, and drainage geocomposite) should be laid over the compressed natural clay layer, and thus mixing of the chemical wastewater, which collected after flotation, into the groundwater will be prevented.

**Keywords:** Waste Dam, Permeability, Excavatability, Seepage Analysis, Bearing Capacity

\*a Selçuk ALEMDAĞ; selcukalemdag@gmail.com, Tel: 0(456)2331000, <https://orcid.org/0000-0003-2893-3681>

<sup>b</sup> [orcid.org/0000-0002-1019-5249](https://orcid.org/0000-0002-1019-5249)

## 1. Giriş

Barajlar tarih boyunca taşkın koruma, sulama, içme suyu sağlama ve enerji elde etmek gibi amaçlarla tasarlanmışlardır. Son 25 yıllık süreçte ise katı atık ve maden atıklarını biriktirme amacıyla da inşa edilmektedirler. Farklı kullanım amaçlarına göre tasarlanan baraj projelerinde inşa edilecek mühendislik yapılarına temel oluşturan kaya kütlelerinin dayanım ve geçirimsizlik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle atık barajı inşası planlanan bölgelerde rezervuar alanları için geçirimsizlik analizi yapılması yeraltı suyu kirliliğinin önlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda birçok araştırmacı da (Wang vd., 1999; Karagüzel ve Kılıç, 2000; Foyo vd., 2005; Alemdağ vd., 2008; Coli vd., 2008; Ersoy vd., 2008; Nandi, 2011; Gürocak ve Alemdağ, 2012; Noorzad ve Manavirad, 2012; Moosavi vd., 2012; Rad vd., 2013; Türkmen vd., 2013; Alemdağ, 2015; Kanık ve Ersoy, 2019; Ersoy vd., 2019) önemli çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmaların hassasiyetle yapılmasının önemi ise, 2019 yılının başında Brezilya'nın güneybatısında Minas Gerais eyaletinde yıkılan atık barajının birçok can ve mal kaybına, özellikle de çevre kirliliğine neden olmasıyla bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, Gümüşhane ili, Harmancık köyü sınırları içerisindeki organize sanayi bölgesinde

Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş. tarafından yapılması planlanan 2. atık depolama barajı (Şekil 1) gövde ve rezervuar alanında yayılım gösteren kaya kütlelerinin jeoteknik açıdan incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla baraj eksen yeri ve rezervuar alanında yayılım gösteren temel kayanın geçirimsizliği yerinde deneyler ve sayısal analiz yöntemleri ile, taşıma kapasitesi ampirik eşitlikler yardımıyla, rezervuar alanı ve temel kayasının kazılabilirliği ise Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Taşıma kapasitesi hesaplamaları için; Hoek vd. (2002) tarafından önerilen  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  kaya kütle sabitleri belirlenmiş, bu değerler Kulhawy ve Carter (1992) ve Wyllie (1992) tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitliklerinde kullanılarak, baraj eksen yeri temel kayasının taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Baraj eksen yeri ve rezervuar alanındaki kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin belirlenmesi için, yerinde deneyler (basınçlı su testi) yapılmış ve bu değerler sayısal analizlerde girdi parametresi olarak kullanılıp, rezervuar alanı ve baraj eksen yerinin geçirimsizlik durumu sayısal olarak da ortaya konmuştur. Ayrıca temel kotunun 10m derinliği için çizilen deşarj kesitinde meydana gelecek sızma miktarı RS2 (Rocscience, 2019) programında yapılan sızma analizi yardımıyla belirlenmiştir.



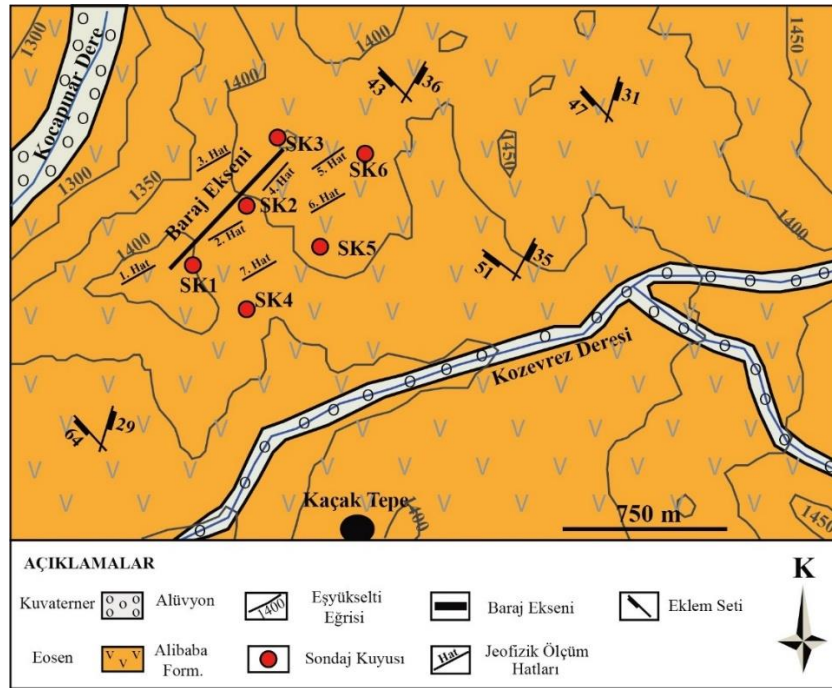
Şekil 1. İnceleme alanına ait uydu görüntüsü

## 2. Baraj Alanının Jeolojisi

Baraj inşasının gerçekleştirileceği alanda Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu yüzeyleme vermektedir (Şekil 2). Tekkeköy ve civarında yüzeylenen Alibaba Formasyonu üzerine açılacak bir uyumsuzlukla Kermutdere Formasyonu gelmektedir. Alibaba Formasyonu, yersel olarak izlenen ince bir taban konglomerası ve nummulitli kumlu kireçtaşlarıyla başlar ve volkano-tortul istif özelliği taşır. Bunların üzerinde tabakalı tüfler, andezitik breşlerle ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Genellikle arazide üst seviyelerde andezit, bazalt ve piroklastları şeklinde gözlenmektedir (Kaygusuz vd., 2011; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001). Baraj inşa alanı Alibaba

Formasyonu'nun üst seviyelerinde bulunan andezitik breş ve andezit birimleri içerisinde gerçekleştirilecektir. Topoğrafyada engebeli bir görüntü sunan andezitik breşler genellikle üst üste dizilmiş yastıklar şeklinde ve siyahimsi gri renklidir.

Ayrıca yamaç eteklerinde bulunan ve yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşan yamaç molozları da çalışma alanında Alibaba Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak gözlenmektedir. Buna ek olarak Kozvez ve Kocapınar dereleri boyunca sığ derinliklerde 25-30cm kalınlığına sahip alüvyon birikintilerine rastlanılmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası

Gümüşhane civarındaki tektonik unsurlar genel olarak K-G yönlü bir sıkışmanın izlerini yansıtmakta olup, bu durum kaya kütlelerinden alınan eklem yönelim ölçülerinin analizleriyle de ortaya konulmuştur (Gurocak vd., 2017; Bostanci vd., 2018). Buna ek olarak inceleme alanında aktif veya pasif bir fay bulunmamaktadır. Bölgeyi etkileyecek en önemli tektonik yapı Kuzey Anadolu Fay hattı olup, çalışma alanına olan mesafesi yaklaşık 80 km civarındadır.

## 3. Saha ve Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında yapılan temel sondajlarının üç adeti SK1 (40m), SK2 (50m) ve SK3 (50m) atık

barajı eksen yerinde, diğer üç adeti SK4 (50m), SK5 (58m) ve SK6 (58m) ise rezervuar alanında yapılmıştır. Atık barajı eksen yerindeki birimlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla arazi çalışmaları kapsamında, andezitik breş ve andezit kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri ISRM (2007) tanımlama ölçütleri dikkate alınarak ve hat etüdü yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca laboratuvar da kaya malzemelerine ait jeomekanik özellikleri belirlemek için temel sondajlarından karot örnekleri derlenmiş (Şekil 3) ve ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre karotlar hazırlanarak, deneyler Gümüşhane Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarında



yapılmıştır. Kaya kütlelerine ait RQD (%) değerleri ise temel sondajlarından elde edilen karot örneklerinde (Şekil 3) yapılan ölçümler ile

her bir kaya kütlesi için ayrı ayrı hesaplanmış ve istatistiksel dağılımları Şekil 4’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Andezit ve Andezitik Breş kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri

Süreksizlik özellikleri	Tanımlama	Puan	
		Andezit	Andezitik Breş
Pürüzlülük	Az pürüzlü	-	3
	Pürüzlü	5	-
Bozunma	Orta derecede bozunmuş	-	3
	Az bozunmuş	5	-
Dolgu	Kalsit dolgu kalınlığı 2 – 4 mm	4	4
Devamlılık	3 – 10 m	2	2
Açıklık	0.1 – 1 mm	4	4
JCond <sub>89</sub>		<b>20</b>	<b>16</b>

*JCond<sub>89</sub>: RMR 1989 versiyonuna göre süreksizlik durumu puanlaması (Bieniawski, 1989)*

Laboratuvar deneyleri ile andezit ve andezitik breşlerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı andezitler için ortalama 54MPa,

andezitik breşler için ise 37MPa’dır. Birim hacim ağırlık değerleri andezitler için 26.87kN/m<sup>3</sup>, andezitik breşler için ise 26.18kN/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Andezit ve andezitik breşler için ortalama RQD değerleri sırasıyla %81 ve %35’tir.



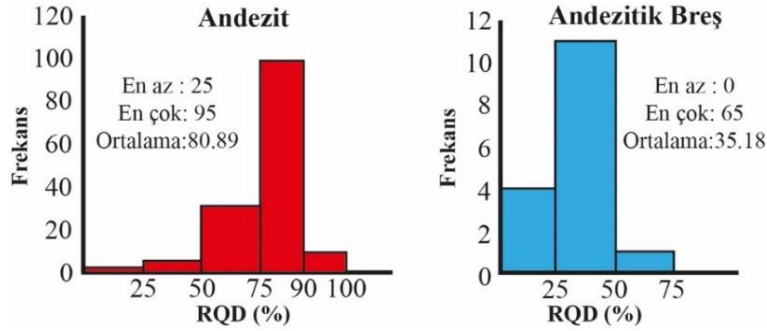
**Şekil 3.** Andezitik breş (ilk 2.5m) ve andezitlerin (SK-5) karot sandıklarında görünümü.

Baraj eksen yerindeki birimlerin kaya kütle kazılabilirliği ve dayanımını belirlemek amacıyla GSI sınıflama sisteminden faydalanılmıştır.

Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerine ait Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerini belirlemek için Hoek vd. (2013) tarafından

önerilen sayısal sınıflama abağı kullanılmıştır. Bu sınıflamada kullanılan  $1.5 \cdot JCond_{89}$  (Süreksizlik durumu) değerleri Tablo 1’de verilmiş olup,

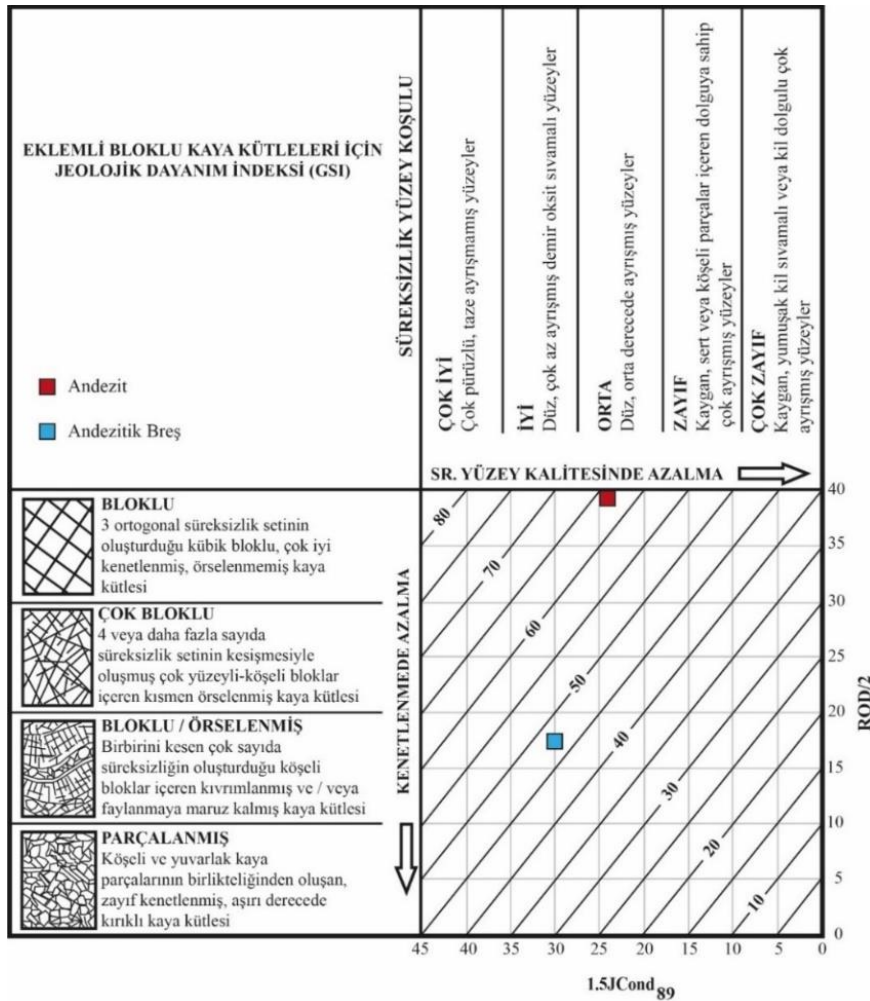
RQD/2 değeri Şekil 4’te verilen ortalama RQD değerleri kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Andezit ve andezitik breşler için RQD histogramları

Buna göre Andezit kaya kütesine ait GSI değeri 64, andezitik breş kaya kütesine ait GSI değeri ise 48 olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Her bir kaya kütesine ait sabitler ( $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ) ise Hoek-Brown

(Hoek vd., 2002) yenilme kriteri dikkate alınarak, RocLab V1.03 (2007) programı ile hesaplanmıştır.



Şekil 5. Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinin Hoek vd. (2013) tarafından önerilen GSI abağına göre değerlendirilmesi



Atık barajı eksen yeri ve rezervuar alanı kazıları için kaya kütlelerinde kontrollü patlatma veya mekanik kazı uygulanacağı için örselenme faktörü (D) 0.7 olarak alınmıştır. Andezit ve andezitik breşin dinamik Poisson oranlarını belirlemek amacıyla yapılan sismik çalışmalarda ortalama Poisson oranları andezitler için 0.16, andezitik breşler için ise 0.33 olarak belirlenmiştir (Tablo

2). Dinamik Poisson oranları hesaplanırken, Bowles (1996) tarafından önerilen eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$\nu = (V_p^2 - 2 \times V_s^2) / (2 \times V_p^2 - 2 \times V_s^2) \quad (1)$$

Burada;  $V_p$ : P dalga hızı,  $V_s$ : S dalga hızıdır.

**Tablo 2.** Kaya kütlelerine ait  $V_p$ ,  $V_s$  hızları ve poisson oranı değerleri

Serim No	Birim	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	Poisson oranı ( $\nu$ )
1. Hat	Andezitik Breş	1320	630	0.32
	Andezit	2400	1500	0.18
2. Hat	Andezitik Breş	900	480	0.30
	Andezit	2350	1470	0.18
3. Hat	Andezitik Breş	1550	760	0.34
	Andezit	2000	1290	0.14
4. Hat	Andezitik Breş	1100	560	0.33
	Andezit	2600	1640	0.17
5. Hat	Andezitik Breş	1400	650	0.36
	Andezit	2500	1560	0.18
6. Hat	Andezitik Breş	1370	680	0.34
	Andezit	2040	1295	0.16
7. Hat	Andezitik Breş	950	460	0.35
	Andezit	2040	1360	0.10

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4. 1. Kaya Kütlelerinin Taşıma Kapasitesi

Baraj eksen yerindeki andezit ve andezitik breşlerin taşıma kapasitesi hesaplamalarında farklı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik eşitlikler kullanılmıştır.

Kulhawey ve Carter (1992) tarafından önerilen Nihai taşıma kapasitesi ( $q_u$ ) eşitlik (2) de verilmiş olup, eşitlikteki  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  parametreleri Hoek-Brown kaya kütle sabitleridir.  $\sigma_{ci}$  ise kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımıdır.

$$q_u = \sigma_{ci} [s^a + (m_b s^a + s)^a] \quad (2)$$

Wyllie (1992) tarafından önerilen izin verilebilir taşıma kapasitesi ( $q_a$ ) eşitlik (3) te verilmiş olup, bu eşitlikte F: güvenlik katsayısı (bu çalışma için 3 alınmıştır),  $C_{f1}$  ise temel şekline bağlı düzeltme faktörüdür (şerit temel için 1 alınmıştır).

$$q_a = \frac{C_{f1} s^{-0,5} \sigma_{ci} [1 + (m_b s^{-0,5} + 1)^{0,5}]}{F} \quad (3)$$

Bu eşitliklerden elde edilen kaya kütlelerinin taşıma kapasitesi değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

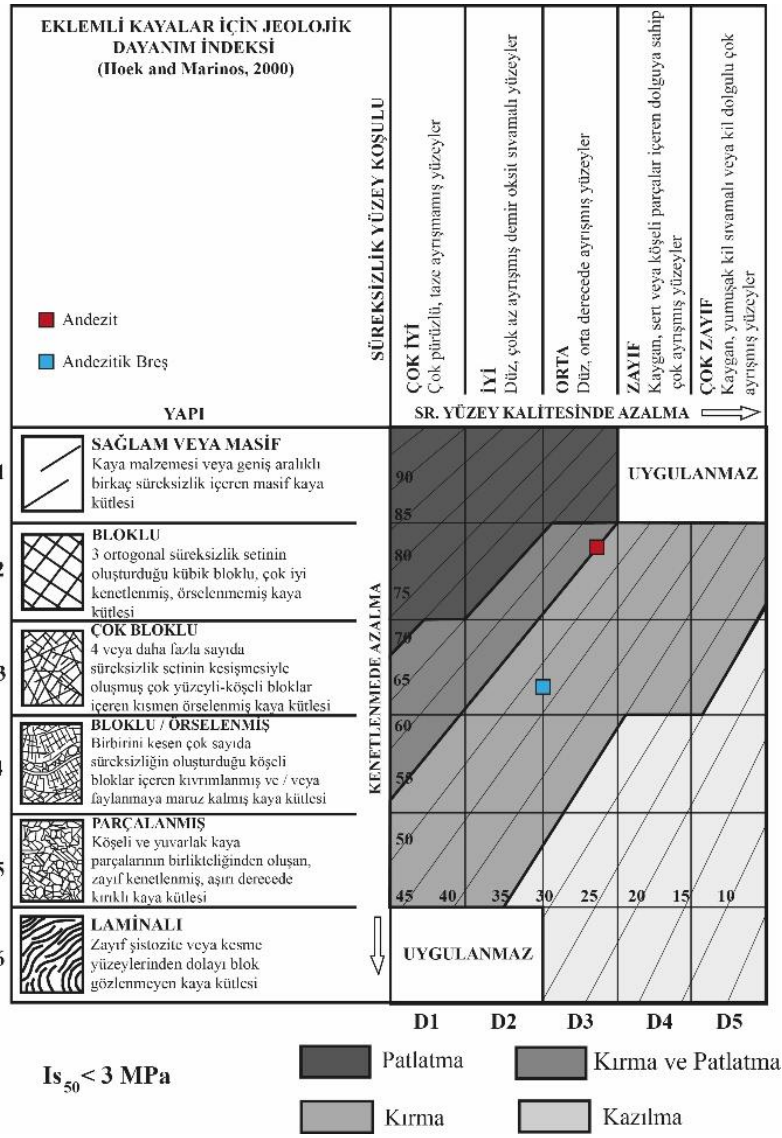
**Tablo 3.** Kaya kütlelerinin nihai ve izin verilebilir taşıma kapasitesi

Yazarlar	Eşitlik No	Kaya Kütleleri Andezit
Kulhawey ve Carter (1992)	2	31.07 (MPa)
Wyllie (1992)	3	10.44 (MPa)

Yapılan hesaplamalara göre andezit kaya kütlelerinin nihai taşıma kapasitesi 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında andezitik breşler sıyrılıp, baraj gövdesinin oturacağı temel kaya andezit kaya kütleleri olacağı için hesaplamalarda andezitik breşler dikkate alınmamıştır.

### 4. 2. Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği

Baraj eksen yeri ve rezervuar alanının kazısı esnasında, yapı maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de kayaçların kazılabilirliğinde hangi yöntemin kullanılacağıdır (Gurocak vd., 2008; Kaya vd., 2011). Bu sebeple, kazı yapılacak kayaçların kazılabilirlik durumlarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, andezit ve andezitik breş kayaçlarının kazılabilirliği Tsiambos ve Saroglu (2010) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama abağı yardımı ile belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kazılabilirliğin belirlenebilmesi için önerilen abak (Tsiambos ve Saroglu, 2010)

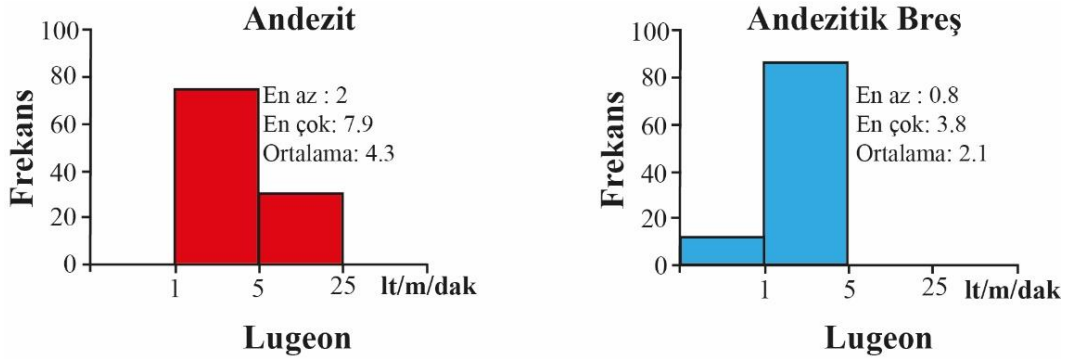
Hem baraj eksen yeri, hem de rezervuar alanında yapılacak kazılarda, özellikle baraj ekseninde, mühendislik özellikleri andezite göre zayıf olan andezitik breşin tamamen kazılması gerekmektedir. Şekil 6'daki abak incelendiğinde, andezitler için "kırma ve patlatma" yönteminin birlikte kullanılması önerilirken, andezitik breşler için "kırma yöntemi" kullanımının uygun olacağı öngörülmektedir.

#### 4. 3. Kaya Kütlelerinin Geçirimsizliği

Geçirimsizlik eksen yerinde yapılan basınçlı su testleri ve sonlu elemanlar tabanlı sızma analizleri ile değerlendirilmiştir. Öncelikle, inceleme alanında açılmış olan sondaj kuyularında 2m'lik deney zonlarında yapılan basınçlı su deneylerine ait veriler değerlendirilerek kaya kütlelerinin Lugeon (Lugeon, 1933) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen Lugeon değerleri Şekil 7'de verilen

histogramlar ile değerlendirilmiş ve geçirimsizlik sınıflarına göre yüzde dağılımları ise Tablo 4' de verilmiştir. Elde edilen deney verilerine göre andezitler az geçirimsiz-geçirimsiz (ortalama 4.3 Lugeon) , andezitik breşler ise az geçirimsiz-geçirimsizdir (Ortalama 2.1 Lugeon). Andezitik breşler tamamen kazı ile kaldırıldığı için, analizlerde andezitlerin ortalama K değeri olan  $2.99 \times 10^{-5}$  değeri kullanılmıştır.

Sadece sondaj noktaları ile sınırlı olan bu veriler sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilerek baraj eksen yeri için sızma analizleri yapılmıştır. Bu analizde 2-3m kalınlığa sahip olan andezitik breşler kazılarak, baraj ekseninin andezitler üzerine oturduğu kabul edilmiştir. RS2 (Rocscience, 2019) programında kullanılan girdi parametreleri Tablo 5'de verilmiş olup, eksen yeri Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak ile modellenmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Kaya kütlelerine ait Lugeon değerlerinin dağılımı ve istatistiksel değişimi

Tablo 4. Lugeon (1933)'un geçirimsizlik sınıflamasına göre çalışma alanındaki andezit ve andezitik breşlerin % dağılımı ve sınıflandırılması.

Lugeon sınır değerleri (l/m/dak)	Kaya Sınıfı	Andezit (%)	Andezitik Breş (%)
< 1	Geçirimsiz	0	13
1 - 5	Az Geçirimli	75	87
5 - 25	Geçirimli	25	0
> 25	Çok Geçirimli	0	0

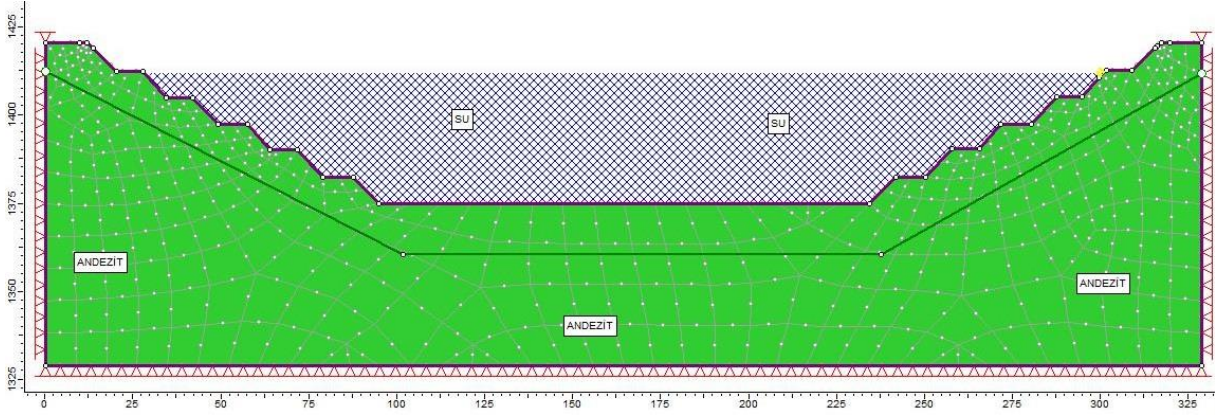
Yapılması planlanan atık barajı temel kayası olan andezitlerin az-geçirimli özellikte olması nedeni ile atık barajından meydana gelecek kaçakların yeraltı sularına etkisi kaçınılmazdır. Andezit ve andezitik breşler akifer özelliği göstermemesine rağmen, kaya kütlelerinde bulunan çatlak sistemleri atık barajında toplanacak atık suların yeraltı suyuna karışmasında etkili olacaktır. RS2 ile yapılan analiz modelinde 8 düğüm noktalı, dörtgen dereceli ağ sistemi kullanılmış olup (Şekil 8), eksen yerinde, rezervuar alanının tamamen atık su ile dolu olduğu durum için yapılan sızma analizi (Şekil 9) sonucunda elde edilen düşey geçirimsizlik değerleri  $1.5 \times 10^{-6} \text{m/s}$  ile  $2.99 \times 10^{-5} \text{m/s}$

arasında değişim göstermektedir. Bu durum eksen yeri ve göl alanında yayılım gösteren kaya kütlelerinin geçirimsiz özellikte olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca yaklaşık 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde (Şekil 9) meydana gelen su kaçakları  $2.35 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$  ile  $5.22 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$  arasında değişmektedir. Bu su sızıntıları kaya kütleleri akifer özellikte olmadığı için oldukça küçük değerlerdedir. Ancak bu durum meydana gelecek olası bir sızma durumunda bile yeraltı suyunun kirlenmesine neden olacak değerdedir. Bu nedenle, atık baraj yerinde sızıntıların önlenmesi amacıyla ek önlemlerin alınması gerekmektedir.

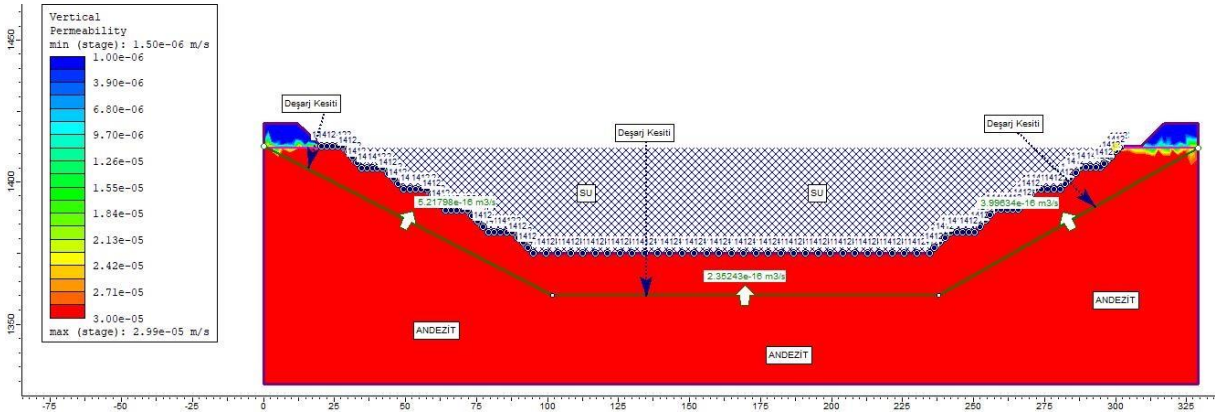
Tablo 5. Sayısal analizde kullanılan parametreler

Andezit	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$m_i$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	D	K (m/sn)	$E_m$ (GPa)	Hoek - Brown sabitleri		
									mb	s	a
Eksen Yeri	64	54	25	26.87	0.16	0.7	$2.99 \times 10^{-5}$	5.39	3.45	0.005	0.502
Yenilme Kriteri	Genelleştirilmiş Hoek-Brown								Rezidüel Hoek-Brown sabitleri		
Malzeme Tipi	Plastik								mb	s	a
Hidrolik Model	Basit								1.72	0.002	0.502





Şekil 8. Atık barajı II eksen yerinin sonlu elemanlar ağ sistemi ile modellenmesi

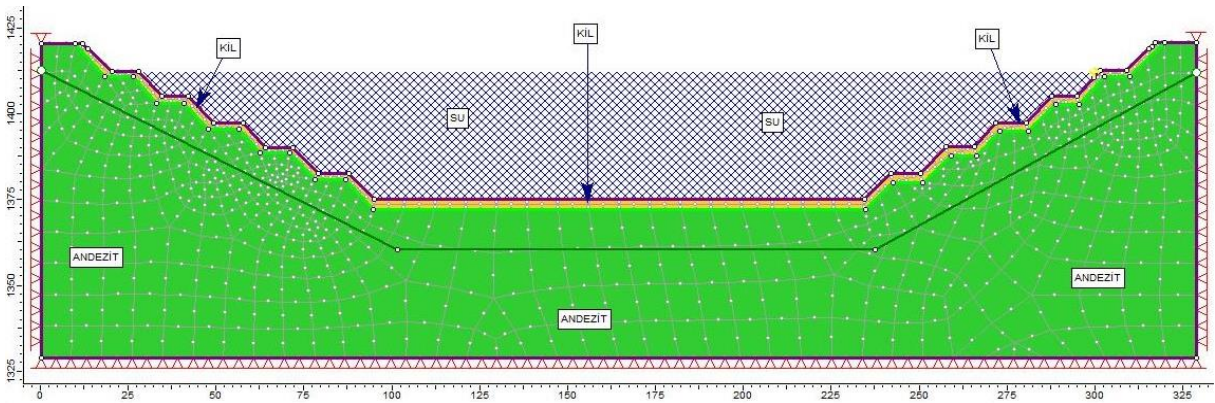


Şekil 9. Atık barajı II için yapılan sonlu elemanlar sızma analizi

#### 4. 4. Atık Baraj Yeri ve Rezervuar Alanında Geçirimsizlik Uygulamaları

Atık baraj yeri rezervuar alanında yapılan sızma analizi değerlendirildiğinde, kaya kütlelerinin geçirimsiz olması yeraltı suyu kirlenmesinin kaçınılmaz olduğu göstermektedir. Bu durumu önlemek için baraj eksen yerinde ve rezervuar alanında önlem alınması gerekmektedir.

Geçirimsizliği sağlamak amacıyla ilk önce ince bir kil tabakası (35-40 cm) serilmesi ve sıkıştırılması (Şekil 10) sonucunda sızmanın kontrol altına alınıp, alınmadığını belirlemek için yeniden sayısal analizler yapılmıştır. Sayısal analizlerde andezit kaya kütleleri için Tablo 5'deki veriler kullanılmış olup, sıkıştırılmış kilin mühendislik özellikleri ise Tablo 6'de verilmiştir.



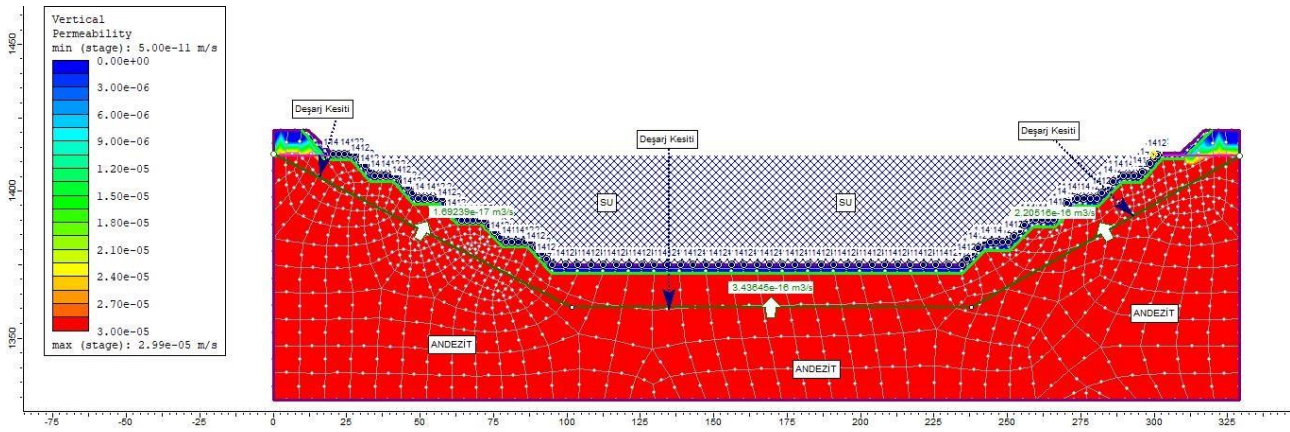
Şekil 10. Atık barajı eksen yerinin iyileştirme sonrası (kil sıkıştırma) sonlu elemanlar ağ sistemi ile modellenmesi

**Tablo 6.** Rezervuar alanına serilecek kilin malzeme özellikleri

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	$\nu$	$\Phi$ (Pik)	c (Pik) (MPa)	$\Phi$ (Artık)	c (Artık) (MPa)	$K_s$	$K_2/K_1$
<b>Kil</b>	15.4	3.8	0.4	26°	0.035	16°	0.012	1.24x10 <sup>-9</sup>	1

Analiz sonucunda elde edilen düşey geçirimsizlik değerleri  $5.00 \times 10^{-11}$  m/s olmuştur. Bu durum, yüzeyde yapılan kil sıkıştırma sonucunda geçirimsiz bir taban oluşturduğunu (T.C. Resmi Gazete, 2015) ve barajdan olabilecek sızıntıların engellendiğini ifade etmesine (Şekil 10) ve

yaklaşık 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde (Şekil 11) meydana gelen atık su kaçaqları  $1.69 \times 10^{-17}$  m<sup>3</sup>/s ile  $2.21 \times 10^{-16}$  m<sup>3</sup>/s gibi sıfıra yakın değerlere düşmesine karşın, hala olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir.

**Şekil 11.** Atık barajında iyileştirme sonrası sonlu elemanlar sızma analizi

Bu sızıntıları önleyebilmek için sıkıştırılan doğal kil tabakanın üzerine daha güvenli bir geçirimsizlik ortamı sağlanması amacı ile sırasıyla jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit serilmelidir. Bu uygulamalardan sonra rezervuar alanı ve eksen yeri tamamıyla geçirimsiz hale getirilmiş olacak olup, olası bir yeraltı suyu kirlenmesi engellenmiş olacaktır.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, inşa edilmesi planlanan Gümüştaş Atık Depolama Barajı II'nin eksen yeri ve rezervuar alanı mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. İnceleme alanında Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'nun üst kısımlarında bulunan andezit ve andezitik breşler yüzeyleme vermektedir. Andezitlerin üzerinde bulunan andezitik breşlerin kalınlıklarının 2-3m olması ve rezervuar alanının hacimsel olarak genişlemesinden dolayı tamamen kazılarak kaldırılması öngörülmektedir.

Andezit ve andezitik breşlerin kazılabilirlikleri Tsiambos ve Saroglu'na göre değerlendirilmiş

olup, andezitik breşlerin "kırma yöntemi" ile andezitlerin ise "kırma ve patlatma" yöntemi ile kazılacağı belirlenmiştir. Andezitlerin nihai taşıma kapasitesi değerleri 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiş ve taşıma kapasitesi açısından herhangi bir problem yaşanmayacağı sonucuna varılmıştır. Atık barajı eksen yeri ve rezervuar alanında yapılan sızma analizleri (rezervuar alanı tamamen atık ile dolu olması durumunda) andezit kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin  $1.5 \times 10^{-6}$  m/s ile  $2.99 \times 10^{-5}$  m/s arasında değiştiğini göstermiştir. Bu değerler atık barajında biriktirilecek olan atığın yeraltı suyunu kirletebileceğini ve geçirimsizliği sağlamak amacıyla ek önlemlerin alınması gerektiğini göstermiştir. Olumsuzluğun Baraj eksen yeri ve rezervuar alanına 35-40cm kalınlığında kil tabakası serilip sıkıştırılarak, bu sızma problemini ne ölçüde engellenebileceğini belirlemek amacıyla yapılan sayısal analizler sonucunda geçirimsizlik değeri  $5 \times 10^{-11}$  m/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde meydana gelen atık su kaçaqlarına ait deşarj değerleri  $1.69 \times 10^{-17}$  m<sup>3</sup>/s ile  $3.44 \times 10^{-16}$  m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir. Bu değerler çok



düşük değerler olmasına rağmen, hala olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, uygulanan doğal kil sıkıştırmanın üstüne sırasıyla jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit serilmesi ve böylece ortamın tamamen geçirimsiz duruma getirilmesi önerilmiştir. Baraj eksen yeri ve rezervuar alanında yapılacak bu uygulamalardan sonra herhangi sızmanın ve dolayısıyla herhangi bir yeraltı suyu kirlenmesinin oluşması engellenmiş olacaktır.

### Katkı Belirtme

Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen, çalışma süresince bütün olanaklarından yararlandığı Gümüştaş Madencilik A.Ş.'ye, yardımlarını esirgemeyen Genel Koordinatör Erdal Güldoğan'a, Uğur Ölgen ve Korhan Çubukçu'ya teşekkür eder.

### Kaynaklar

- Alemdag, S., Gurocak, Z., Solanki, P. ve Zaman, M., 2008. Estimation of Bearing Capacity of Basalts at Atasu Dam Site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 79–85.
- Alemdag, S., 2015. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1099–1110.
- Arslan, M. ve Aliyazıcıoğlu, I., 2001. Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gumushane) Volcanic Rocks: Implications for the Eocene Evolution of Eastern Pontide Arc Volcanism, Northeast Turkey. *International Geology Review*, 43, 595–610.
- Bostanci, H.T., Alemdag, S., Gurocak, Z. ve Gokceoglu, C., 2018. Combination of Discontinuity Characteristics and GIS for Regional Assessment of Natural Rock Slopes in a Mountainous Area (NE Turkey). *CATENA*, 165, 487-502.
- Bowles, J.E., 1996. *Foundation Analysis and Design*, (Fifth Ed.): New York, McGraw-Hill Inc. 1230p.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*: New York, Wiley Interscience, 251p.
- Ersoy, H., Bulut, F., Ersoy, A.F. ve Berkün, M., 2008. Municipal Solid Waste Management and Practices in Coastal Cities of the Eastern Black Sea: A Case Study of Trabzon City, NE Turkey.

*Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(3), 321–333.

- Ersoy, H., Karahan, M., Gelişli, K., Akgün, A., Anılan, T., Sünnetçi, M.O. ve Yahşi B.K., 2019. Modelling of the Landslide-Induced Impulse Waves in the Artvin Dam Reservoir by Empirical Approach and 3D Numerical Simulation. *Engineering Geology*, 249, 112–128.
- Foyo, A., Sanchez, M. A. ve Tomillo, C., 2005. A Proposal for a Secondary Permeability Index Obtained from Water Pressure Tests in Dam Foundations. *Engineering Geology*, 77, 69–82.
- Gurocak, Z., Alemdag, S. ve Zaman, M., 2008. Rock Slope Stability and Excavatability Assessment of Rocks at the Kapıkaya Dam Site, Eastern Turkey. *Engineering Geology*, 96(1-2), 17-27.
- Gurocak, Z. ve Alemdag, S., 2012. Assessment of Permeability and Injection Depth at the Atasu Dam Site (Turkey) Based on Experimental and Numerical Analyses. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 71, 221–229.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostanci, H.T. ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity Controlled Slope Failure Zoning for a Granitoid Complex: A fuzzy Approach. *Rock Mechanics and Engineering, Volume 5: Surface and Underground Projects*, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1-25.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. T. ve Corkum, B., 2002. Hoek–Brown Failure Criterion-2002 Edition. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> North American Rock Mechanics Symposium*. Toronto, Canada 1, 267–273.
- Hoek, E., Carter, T. G. ve Diederichs, M. S., 2013. *Quantification of the Geological Strength Index Chart*. 47<sup>th</sup> US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, San Francisco, USA.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. In: Ulusay R, Hudson JA (Eds.), *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*. Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.
- Kanık, M. ve Ersoy, H., 2019. Evaluation of the Engineering Geological Investigation of the Ayvalı Dam Site (NE Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 89.
- Karaguzel, R. ve Kilic, R., 2000. The Effect of the Alteration Degree of Ophiolitic Melange on Permeability and Grouting. *Engineering Geology*, 57, 1–12.

- Kaya, A., Bulut, F., Alemdag, S., 2011. Applicability of Excavatability Classification Systems in Underground Excavations: An Example of Konakönü Tunnel, Trabzon, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(25), 5331-5341.
- 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 Sciences*, 20, 137–159.
- Kulhawy, F.H. ve Carter, J.P., 1992. Settlement and Bearing Capacity of Foundations on Rock Masses and Socketed Foundations in Rock Masses. In: Bell F.G. (Ed.), *Engineering in Rock Masses*. Butterworth–Heinemann, Oxford, pp. 231–245.
- Lugeon, M., 1933. *Barrages et Geologic Methods de Recherche Terrasement et un Permeabilisation*. Litrairedes Universite, Paris.
- Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29417, 15 Temmuz 2015.
- Moosavi, S.A., Goshtasbi, K., Kazemzadeh, E., Alokı Bakhtiari, H., Esfahani, M. R. ve Vali, J., 2012. Relationship Between Porosity and Permeability with Stress Using Pore Volume Compressibility Characteristic of Reservoir Rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 231-239.
- Noorzad, R. ve Manavirad E., 2012. Bearing Capacity of Two Close Strip Footings on Soft Clay Reinforced with Geotextile. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 623-639.
- Rad, H. S., Mohitazar M. ve Dizadji M., 2013. Distinct Element Simulation of Ultimate Bearing Capacity in Jointed Rock Foundations. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4427–4434.
- Rocscience, 2007. *Roclab v1.03 Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion*. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2019. *RS2 9.0 Finite Element Groundwater Seepage*. Geomech Software and Res. Rocsci, Toronto.
- Türkmen, S., Tağa, H. ve Özgüler, E., 2013. Effect of Construction Material on Dam Type Selection of the Büyük Karacay Dam (Hatay, Turkey). *Geotechnical and Geological Engineering*, 31, 1137–1149.
- Tsiambaos, G. ve Saroglou, H., 2010. Excavatability Assessment of Rock Masses Using the Geological Strength Index (GSI). *Bulletin of Engineering Geology and the Environmental*, 69(1), 13-27.
- Wang, J.S.Y., Trautz, R.C., Cook, P.J., Finsterle, S., James, A.L. ve Birkholzer, J., 1999. Field Tests and Model Analyses of Seepage into Drift. *Journal of Contaminant Hydrology*, 38(1–3), 323–347.
- Wyllie, D. C., 1992. *Foundations on Rock*: London, Chapman and Hall, 457p.

## Some Regression Methods Based on Principal Components

### *Temel Bileşenlere Dayalı Bazı Regresyon Yöntemleri*

**Fatma Sevinç KURNAZ\***

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 34220, İstanbul*

• Geliş tarihi / Received: 02.11.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 22.04.2020

#### **Abstract**

Principal component analysis (PCA) is commonly used technique in data processing and dimensionality reduction. However, PCA is very sensitive to outliers. To deal with this problem, the robust principal component analysis (RPCA) using Projection-Pursuit (PP) is a very appealing method. On the other hand, combining PCA on explanatory variables with least squares regression yields to principal component regression (PCR). Taking into consideration this general structure of PCR, we combine (R)PCA with OLS and MM regression estimators and show the performances of examined methods on extensive simulation studies and real data examples.

**Keywords:** Ordinary Least Squares, Principal Component Analysis, Principal Component Regression, Robustness

#### **Öz**

*Temel Bileşen Analizi (TBA) veri işleme ve boyut indirgeme için sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Ancak, TBA verideki sapan değerlere karşı oldukça duyarlıdır. Bu problemle başa çıkmak için iz düşüm takibini (projection pursuit) temel alan dayanıklı TBA kullanımı oldukça dikkat çekici bir yöntem olarak ileri sürülmüştür. Diğer taraftan, Temel Bileşen Regresyonu (TBR), TBA ile en küçük kareler regresyonunun birleşimi olarak görülebilmektedir. Bu çalışmada, TBR'nin bu genel yapısı dikkate alınarak, sapan değerlere karşı dirençli olan versiyonları üzerinde çalışılmıştır. İncelenen yöntemlerin performans karşılaştırmaları detaylı bir benzetim çalışması ve çeşitli gerçek veri kümeleri üzerinde gösterilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** *En Küçük Kareler, Temel Bileşen Analizi, Temel Bileşen Regresyonu, Dayanıklılık*

\*Fatma Sevinç KURNAZ; fskurnaz@yildiz.edu.tr, Tel: (0212) 383 72 67, orcid.org/0000-0002-5958-7366

## 1. Introduction

The primary work in science and technology is modeling a dependent variable by one or several explanatory variables. For such a modeling, the ordinary least squares (OLS) regression is the most common method performed directly with the values of the explanatory variables. However, in presence of multicollinearity among explanatory variables, the OLS estimator can give wrong information, and if the number of variables exceeds the number of observations ( $n \leq p$ ) it can even not be computed. These problems are quite common in many applications such as chemometrics, medicine, social sciences, etc. For such situations, the principal component regression (PCR) is a very useful alternative that is the combination of the Principal Component Analysis (PCA) and the OLS estimator. The PCR solves the problem of data collinearity reducing the number of variables. But the obtained variables, are no longer the original measured variables but linear combinations thereof. The linear combinations for PCR are the principal component (PC) scores of variables obtained by PCA. Furthermore, the PCR also allows solving the computational problem of high dimensional data. Kendall (1957) proposed the PCR, Hotelling (1957) introduced it in an article in the same year, and a very famous application was implemented by Jeffers (1967), but it still keep to be a cornerstone in the literature and are still a hot research topic of regression methods. For a short overview, see (Varmuza and Filzmoser, 2008).

On the other hand, most real world data sets include outliers that follow different pattern when compared with others in data set. Outliers may cause a negative effect on regression methods besides PCA, especially in high dimensional data, where the influence of observations is more critical because the sample size  $n$  is remarkably less than the number of explanatory variables  $p$ . Even one massive outlier can heavily distort the results of these methods. In addressing this problem, the robust principal component analysis (RPCA) methods have been proposed with diverse modifications (Maronna, 1976; Campbell, 1980; Li and Chen, 1985; Croux and Haesbroeck, 2000; Hubert et al., 2002; Hubert et al., 2005; Croux and Ruiz-Gazen, 2005; Croux et al., 2007). In this paper we consider the RPCA method proposed by (Li and Chen, 1985), which is constructed using the projection-pursuit (PP) (Huber, 1985). The idea is straightforward: a robust measure of variance is taken instead of taking the variance as a projection index. Theoretical advantages of this

idea are examined by Li and Chen (1985) and Cui (2003), and recently this method is studied in detailed by Croux and Ruiz-Gazen (2005). Obtaining RPCs with this way, several algorithms are introduced such as (Li and Chen, 1985; Johnson and Wichern, 1998; Xie et al., 1993), but these algorithms are not made publicly available. Equivalent to Xie et al. (1993) more stable versions are studied by (Hubert et al., 2002) and (Croux and Ruiz-Gazen, 2005). The algorithm proposed by Xie et al. (1993) is called as CR algorithm which is very simple, fast to compute and easy to implement. However, disadvantages of the CR algorithm for high dimensional regression applications are discovered by (Croux et al. 2007). Recently, a new algorithm is proposed to deal with this problem and it is much more precise, while still being computationally efficient (Croux et al., 2007). This algorithm is called as the GRID algorithm. Both of CR and GRID algorithms are freely available R package and it can be downloaded from (<http://www.R-project.org>) as the library `pcaPP`. For the other proposals of RPCA, besides the PP based approach, we suggest to see in (Croux and Haesbroeck, 2000; Maronna, 2005).

The aim of this paper is to focus on the estimation methods include robustness, taking the pure idea of the PCR using PCA and RPCA with some regression methods and then compare them with each other. Although the proposed methods can be seen very straightforward, to the best of our knowledge, there is not any performance comparison of them in the literature. In order to fill this gap, during this paper, we aim to provide some practical hints for use of these methods.

The outline of this paper is as follows. In Section 2 we recall the classical OLS estimator and its robust counterpart MM estimator. In Section 3, we remind PCA and RPCA. Then, we introduce the combination of OLS and MM estimators with PCA and RPCA. In Section 4, the comparison results and discussion are given throughout extended simulation studies. Section 5 shows the performances using real data sets, the prostate cancer data, the forest fires data, the glass vessels data and the NCI data. The final Section 6 includes conclusion.

## 2. Classical Regression Methods

Let us take into consideration the classical linear regression model

$$y = X\xi + \epsilon, \quad (1)$$

where  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  is dependent variable with  $n$  observations;  $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p)$  is the  $n \times p$  data matrix which enjoys the information of the  $p$  explanatory variables and the  $n$  observations;  $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  is the true regression coefficient vector;  $\boldsymbol{\epsilon} = (\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n)$  is the error term with standard normal distribution.

The common method to estimate the true regression coefficients is the ordinary least squares (OLS) estimator, which is defined by

$$\hat{\boldsymbol{\xi}}_{OLS} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \tag{2}$$

Even though the OLS estimator has many attractive statistical properties as compared to other unbiased linear estimators, it can be affected by outliers in the data sets (Maronna et al., 2006). In order to deal with this problem, several alternative regression estimators are proposed such as S-estimator, M estimator and MM estimator (Maronna et al., 2006). We use the MM estimator that is robust to both types of outliers (Yohai, 1987). The MM regression estimator has a definition based on the M estimator of regression

$$\hat{\boldsymbol{\xi}}_M = \underset{\boldsymbol{\xi}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n \rho \left( \frac{r_i(\boldsymbol{\xi})}{\hat{\sigma}(\boldsymbol{\xi})} \right), \tag{3}$$

where  $\rho$  shows a predefined bounded function (Maronna et al., 2006). Here,  $\hat{\sigma}$  stands for the scale estimator of the residuals. The M estimator is not robust against outliers in the explanatory variables (Maronna et al., 2006), so-called leverage points, and thus the MM estimator uses as a robust residual scale estimator an M estimator of scale, which is the solution of the equation

$$\sum_{i=1}^n \tilde{\rho} \frac{r_i(\boldsymbol{\xi})}{\sigma(\boldsymbol{\xi})} = \delta, \tag{4}$$

with  $\tilde{\rho}$  taken e.g. as the bisquare function (Maronna et al., 2006), and the tuning constant  $\delta$ .

In data sets with many explanatory variables and lower observations, the classical low dimensional methods - OLS and MM estimators - may not be applicable because of high multicollinearity problem and the large number of explanatory variables. In such situations, there exist some alternatives providing both regression analysis and interpretative analysis, which is very attractive property for high dimensional data. A first approach can be to use a principal component analysis, followed by a (potentially OLS) regression, so called PCR. Another one is the

partial least squares regression (PLSR) (Varmuza and Filzmoser, 2008) providing a projection onto a few latent components, and it yields a vector of regression coefficients based on those latent components. The other alternative is to use the Lasso regression that is quite attractive in last decades which only uses a subset of explanatory variables (Zou and Hastie, 2005). In this paper we focus on the methods based on PCA because it is a mainstay tool and still a hot topic for applied sciences.

### 3. Principal Component Methods

PCA searches a linear combination of explanatory variables ensure that the maximum variance is extracted from the explanatory variables. Then it removes the obtained variance and searches the linear combination which explains the maximum proportion of the remaining variance, continue to computation of the next component until the number of components explains at least 80%, eventually 90% of the total variance.

Although PCA is very useful tool for high dimensional data structure, outliers may have severe influence on the results. Similar to the classical PCA, PP approach is proposed which yields the RPCA finding projections of the data which have maximal dispersion. Instead of using the variance as a measure of dispersion, a robust scale estimator  $S$  is used for the maximization problem. This approach was introduced by (Li and Chen, 1985), who proposed estimators based on maximizing (or minimizing) a robust scale. In this way, for  $n$  observations  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$  - all of the column vectors of dimension  $p$  - the first robust principal component (RPC) is defined as

$$\mathbf{a}_1 = \underset{\|\mathbf{a}\|=1}{\operatorname{argmax}} S^2(\mathbf{a}^T \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{a}^T \mathbf{x}_n), \tag{5}$$

where  $S^2$  shows the variance. A particular feature is that the PP-based approach for PCA allows sequential estimation of the PCs. The subsequent PCs are obtained by imposing orthogonality conditions. Clearly, let us have already computed the  $(k-1)$ th PC at hand. Then the direction of the  $k$ th component for  $1 \leq k \leq p$  is obtained by the unit vector maximizing the index  $S^2$  of the data projected on it. Each new obtained PC has to be orthogonal to all previously obtained components. This situation can be written mathematically as follows:

$$\mathbf{a}_k = \underset{\|\mathbf{a}\|=1, \mathbf{a} \perp \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a} \perp \mathbf{a}_{k-1}}{\operatorname{argmax}} S^2(\mathbf{a}^T \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{a}^T \mathbf{x}_n), \tag{6}$$



Note that if the variance is defined as a projection index, then the resulting method is the standard PCA. In this case,  $\mathbf{a}_1$  is the eigenvector of the sample covariance matrix of the data corresponding to the largest eigenvalue (Johnson and Wichern, 1998). Eq. (1) cannot be solved easily for the other choices of  $S$ . Some approximative algorithms can be used for such a case. In this paper, we use the GRID algorithm which is quite effective to computation of RPCA (Croux et al., 2007) and has the R package (Filzmoser et al., 2018).

On the other hand, from the perspective of regression, PCR is very common method that solves the problem of multicollinearity and reduces the number of explanatory variables by means of generating linear combinations of explanatory variables. The main idea of PCR is that instead of regressing the dependent variable on the explanatory variables directly, the principal components of the explanatory variables are used as explanatory variables, which means PCR is a combination of PCA and OLS estimator. This idea makes the PCR some kind of a regularized procedure and it is gained multitasking skills to the regression methods such as dimension reduction, easy interpretation and the most importantly such multitasking skills are available when data sets are high dimensional. Theoretically, PCA decomposes a data matrix  $\mathbf{X}$  into scores  $\mathbf{T}$  and loadings  $\mathbf{P}$ . For a predetermined number  $a$  of PCs,  $\mathbf{X}$  is reconstructed by

$$\mathbf{X} = \mathbf{TP}^T + \mathbf{E}, \tag{7}$$

where  $\mathbf{E}$  is the error term, which would be zero if all possible PCs would be used in the model. Note that  $\mathbf{y}$  is not considered in this step. In the linear regression model given Eq. (1), data matrix  $\mathbf{X}$  is replaced by scores matrix  $\mathbf{T}$  and the resulting equation is

$$\mathbf{y} = (\mathbf{TP}^T)\boldsymbol{\beta} + \mathbf{e}_T = \mathbf{T}\boldsymbol{\theta} + \mathbf{e}_T, \tag{8}$$

where  $\boldsymbol{\theta} = \mathbf{P}^T\boldsymbol{\beta}$  and  $\mathbf{e}_T$  is the error term. This indeed solves multicollinearity problem because the information of the highly correlated explanatory variables is compressed in few score vectors that are uncorrelated. OLS estimator can now be computed by

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = (\mathbf{T}^T\mathbf{T})^{-1}\mathbf{T}^T\mathbf{y}, \tag{9}$$

where note that the new explanatory variables, so called PCs, are no longer the original measured  $x$ -variables and the estimator  $\boldsymbol{\theta} = \mathbf{P}^T\boldsymbol{\beta}$  corresponds

to space of PCA scores. One could obtain the regression coefficients in the original space as follows:

$$\boldsymbol{\theta} = \mathbf{P}^T\boldsymbol{\beta}. \tag{10}$$

Because of PCR still keeps to be cornerstone in high dimensional data structure, taking the general idea of PCA, RPCA can be used in regression as a solution to the problem of outliers in data besides the problems of multicollinearity and high dimensionality. As in PCR, considering RPCs as in inputs for the linear regression, we use OLS estimator and called the resulting method as *rpcaOLS*. However, in this part, an obvious question emerges, whether the OLS should be replaced by any choice of robust estimator in order to improve the prediction ability with the components selection. Therefore, another approach is to construct the MM regression estimators regressing on RPCs spaces. The obtained estimators with this idea are called as *pcaMM* and *rpcaMM* estimators. From this perspective, one could generally think these methods as a kind of regularized procedure by means of using only a subset of all RPCs for regression. More clearly, the proposed estimators have two main stages analogously to PCR. First stage is to apply PCA or RPCA on the explanatory variables and second stage is to perform a regression of response variable on the obtained PCs in the first stage.

### 3.1. Choosing the Optimal Number of Components

The classical approach is to determine the number of PCs is leave one-out cross-validation (CV) based on root mean squared prediction error (RMSPE). We take into consideration the similar idea to estimate the number of PCs. But rather than the classical approach CV, we use generalized cross-validation (GCV) which can be seen as a rotation-invariant form of the CV.

On the other hand, we would like to draw attention that, in the context of PCR, it is popular to center the data matrix  $\mathbf{X}$  at the PCA stage since PCR required the use of PCA on data matrix  $\mathbf{X}$  and PCA is sensitive to centering of the data. From this perspective, as in PCA, RPCA are performed on the centered data matrix  $\mathbf{X}$ .

## 4. Simulation Studies

We design 16(= 4 × 2 × 2) different cases for each of “low dimensional data” and “high

dimensional data sets using arguments the sizes (4 cases), the magnitude of correlations among variables (2 cases) and the different level of contamination in data - with %0 and %10 (2 cases). Therefore, in total, we examine the performance of the compared methods based on 32 different scenarios. In each case, the number of replications is 100.

**4.1. Design of Simulation Schemes for Low Dimensional Data**

We take into consideration scenarios by means of generating low dimensional data sets with  $(n, p) = \{(100,50), (50,20), (500,20), (500,100)\}$ . The true response variable is computed by

$$y_i = 1 + x_i^T \beta + \varepsilon_i, \tag{11}$$

where the error term  $\varepsilon_i$  is distributed according to a standard normal distribution  $N(0,1)$  for  $i = 1, \dots, n$ . Here, the data matrix  $X = (x_j)$  is generated using two different ways. Firstly, we think the design matrix  $X$  from  $N_p(0, \Sigma)$  with  $\Sigma = \rho^{|j-k|}$ ,  $1 \leq j, k \leq p$ , where high level of correlation is determined by  $\rho = 0.9$ . Secondly, we take the explanatory variables forming a block structure (BS) generating the observations of the blocks of design matrix  $X$  from  $X_a \sim N_{p_a}(0, \Sigma_a)$  with  $\Sigma_a = \rho^{|j-k|}$ ,  $1 \leq j, k \leq p_a$ , and from  $X_b \sim N_{p_b}(0, \Sigma_b)$  with  $\Sigma_b = \rho^{|j-k|}$ ,  $1 \leq j, k \leq p_b$ . Here,  $X = (X_a, X_b)$  with  $p = p_a + p_b$ . We take  $\rho_a = 0.9$  to allow for a high correlation among the half of explanatory variables, and  $\rho_b = 0.5$  for a middle correlation among the half of explanatory variables.

For the simulation scenarios with outliers, we think explanatory variables with BS and the first 10% of the observations is replaced by values of independent normal distributions  $N(50,1)$  for each variables, respectively. Therefore, adding leverage points to the data is finished. In order to add vertical outliers, the error terms for these outliers are replaced by values from  $N(20\hat{\sigma}_y, 1)$  instead of  $N(0,1)$ , where  $\hat{\sigma}_y$  corresponds to the estimated standard deviation of the clean response vector. With this way, in total, we consider 16 scenarios with 8 clean data and 8 contaminated data.

**4.2. Design of Simulation Studies for High Dimensional Data**

We take into consideration scenarios by means of generating high dimensional data sets with

$(n, p) = \{(60,100), (50,1000), (40,200), (80,5000)\}$ . The true response variable is computed as in Eq. (11), where the error term  $\varepsilon_i$  is distributed according to a standard normal distribution  $N(0,1)$ , for  $i = 1, \dots, n$ . Here, the data matrix  $X = (x_j)$  is obtained forming a block structure (BS) generating the observations of the blocks of design matrix  $X$  from  $X_a \sim N_{p_a}(0, \Sigma_a)$  with  $\Sigma_a = \rho^{|j-k|}$ ,  $1 \leq j, k \leq p_a$ , and from  $X_b \sim N_{p_b}(0, \Sigma_b)$  with  $\Sigma_b = \rho^{|j-k|}$ ,  $1 \leq j, k \leq p_b$ . Here,  $X = (X_a, X_b)$  with  $p = p_a + p_b$ . We take  $\rho_b = 0.9$  to allow for a high correlation among the each of blocks. Additionally, we take  $\rho_a = 0.9$  and  $\rho_b = 0.5$  to have both high correlation and middle correlation among the different blocks.

For the simulation scenarios with outliers, we take the same idea as in low dimensional data. That is, in order to add leverage points, we replace the first 10% of the observations with the values of independent normal distributions  $N(50,1)$  for each variables, respectively. Then, the error terms for these outliers are replaced by values from  $N(20\hat{\sigma}_y, 1)$  instead of  $N(0,1)$ , where  $\hat{\sigma}_y$  represents the estimated standard deviation of the clean response vector. Therefore, in total, we consider 16 scenerios with 8 clean data and 8 contaminated data.

**4.3. Performance Measures**

The prediction ability of the discussed methods are done using training and test data sets generated according to the sampling schemes explained in Section 4.1 and 4.2. In order to fit the models, we used the training data and to evaluate the models, we used the test data. Each test data is generated outlier free.

As a performance measure, we consider the root mean squared prediction error (RMSPE) given by

$$RMSPE = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \right), \tag{12}$$

where  $\hat{y}_i = x_i^T \hat{\xi}$  and  $m$  is the replication number.

Another performance measure is the accuracy of the coefficient estimate as a quality criterion, which is called "bias" as follows

$$bias(\hat{\xi}) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \hat{\xi}_i)^2} \right), \tag{13}$$

where  $m$  is the replication number.

These evaluation measures are calculated for the generated data in each of simulation replications separately, and then averaged in Tables. The replication number  $m$  is 100. The smaller the value for these criteria, the better the performance of the method.

**4.4. Simulation Results**

**4.4.1. Simulation Results for Low Dimensional Data**

Table 1 lists the results of RMSPE and bias for clean low dimensional data with different data

structures explained in Subsect. 4.1. These results are sorted in ascending order to see changes according to the rate of  $p/n$ . For the lowest rate 2 with both multicollinearity levels, the  $pcaOLS$  has the best RMSPE and bias values. The good performance of the  $pcaOLS$  continues for the rate 2.5 with BS. The  $rpcaOLS$  outperforms with the same rate but multicollinearity level is highest. With the higher rate 5 and 25, OLS is better than the other competitors. Most of the results of the bias for compared methods are quite close to each other.

**Table 1.** The Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE) and bias results for clean low dimensional data, averaged over  $m = 100$  runs.

		The results of RMSPE and bias					
		OLS	MM	pcaOLS	pcaMM	rpcaOLS	rpcaMM
(100,50)	(BS)						
	RMSPE	2.08	2.71	<b>1.83</b>	1.90	1.89	1.99
	bias	0.12	0.15	<b>0.11</b>	0.12	<b>0.11</b>	<b>0.12</b>
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	1.99	2.61	<b>1.49</b>	1.52	1.51	1.54
	bias	<b>0.11</b>	0.15	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>
(50,20)	(BS)						
	RMSPE	1.70	2.02	<b>1.52</b>	1.58	1.54	1.60
	bias	<b>0.14</b>	0.16	<b>0.14</b>	0.15	0.15	0.16
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	1.75	2.01	1.25	1.26	<b>1.24</b>	1.25
	bias	0.15	0.18	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>
(500,100)	(BS)						
	RMSPE	<b>1.25</b>	1.28	1.42	1.44	1.44	1.45
	bias	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	<b>1.25</b>	1.29	1.53	1.54	1.54	1.55
	bias	<b>0.04</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
(500,20)	(BS)						
	RMSPE	<b>1.05</b>	<b>1.05</b>	10.8	1.08	1.08	1.08
	bias	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	<b>1.03</b>	1.04	1.09	1.09	1.09	1.09
	bias	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.05	<b>0.04</b>	0.05

Table 2 shows the results of RMSPE and bias for contaminated low dimensional data with different structures explained in Subsect. 4.1 We sort the results in ascending order of the rate  $p/n$ . First three level of  $p/n$ ., which are 2, 2.5 and 5, gives

the best performance with  $pcaMM$  for both BS and highest level of multicollinearity. The last scenario with the highest rate shows different results. In this case, classical MM estimator performs better than other competitors.

**Table 2.** The Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE) and bias results for contaminated low dimensional data, averaged over  $m = 100$  runs.

		The results of RMSPE and bias					
		OLS	MM	pcaOLS	pcaMM	rpcaOLS	rpcaMM
(100,50)	(BS)						
	RMSPE	14.08	14.14	9.60	<b>1.83</b>	9.71	1.87
	bias	0.35	0.35	0.29	<b>0.10</b>	0.32	0.11
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	61.92	66.02	53.83	<b>1.61</b>	54.19	1.61
	bias	0.57	0.63	0.60	<b>0.10</b>	0.62	0.11
(50,20)	(BS)						
	RMSPE	7.09	1.93	5.18	<b>1.54</b>	5.26	1.56
	bias	0.31	0.18	0.29	<b>0.16</b>	0.30	0.17
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	16.40	2.01	13.25	<b>1.33</b>	13.35	1.35
	bias	0.53	0.18	0.50	<b>0.15</b>	0.50	<b>0.15</b>
(500,100)	(BS)						
	RMSPE	7.31	1.96	5.36	<b>1.62</b>	5.43	1.60
	bias	0.29	0.17	0.27	<b>0.16</b>	0.28	<b>0.16</b>
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	74.51	67.71	123.78	<b>4.19</b>	123.77	4.24
	bias	0.33	0.31	0.42	<b>0.04</b>	0.43	0.05
(500,20)	(BS)						
	RMSPE	4.16	<b>10.5</b>	4.16	1.08	4.16	1.08
	bias	8.76	<b>0.04</b>	0.08	<b>0.04</b>	0.08	<b>0.04</b>
	( $\rho = 0.9$ )						
	RMSPE	8.76	<b>1.05</b>	10.02	1.09	10.03	1.09
	bias	0.10	<b>0.04</b>	0.11	<b>0.04</b>	0.11	<b>0.04</b>

**4.4.2. Simulation Results for High Dimensional Data**

Table 3 summaries the results of RMSPE and bias belong to clean high dimensional data with different structures explained in Subsect. 4.2. These results are sorted in descending order for

the rate of  $p/n$ . Because of the computational problems, we exclude the classical methods OLS and MM estimators for high dimensional data in this part. Table 3 shows that the pcaOLS outperforms in all cases.

**Table 3.** The Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE) and bias results for clean high dimensional data, averaged over  $m = 100$  runs.

		The results of RMSPE and bias			
		pcaOLS	pcaMM	rpcaOLS	rpcaMM
(60,100)	(BS)				
	RMSPE	<b>5.05</b>	5.15	13.75	18.93
	bias	<b>0.54</b>	0.55	1.12	2.08
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	<b>1.84</b>	1.91	9.68	13.69
	bias	<b>0.17</b>	0.18	0.88	1.58
(40,200)	(BS)				
	RMSPE	<b>19.09</b>	20.12	32.39	43.95
	bias	<b>2.55</b>	2.63	3.91	8.42
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	<b>9.14</b>	9.39	25.39	42.89
	bias	<b>1.35</b>	1.44	3.90	6.89
(50,1000)	(BS)				
	RMSPE	<b>96.66</b>	96.87	100.80	105.82
	bias	<b>10.79</b>	10.82	11.44	15.82
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	<b>128.12</b>	128.26	131.30	136.71
	bias	<b>16.25</b>	16.47	16.74	20.40
(80,5000)	(BS)				
	RMSPE	<b>234.76</b>	234.84	235.87	241.27
	bias	20.29	20.75	<b>20.20</b>	28.09
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	<b>305.29</b>	305.72	306.12	312.25
	bias	<b>28.34</b>	30.15	28.63	32.29

Table 4 shows the results of RMSPE and bias for contaminated high dimensional data with different structures explained in Subsect. 4.2. With the rate of  $p/n = 0.6, 0.2$  ve  $0.05$ , the *pcaMM* performs

better than other alternatives. In the last situation, which corresponds to quite high number of variables and low sample size with the rate  $0.016$ , the *pcaMM* outperforms under the RMSPE.

**Table 4.** The Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE) and bias results for contaminated high dimensional data, averaged over  $m = 100$  runs.

		The results of RMSPE and bias			
		pcaOLS	pcaMM	rpcaOLS	rpcaMM
(60,100)	(BS)				
	RMSPE	3.71	<b>2.21</b>	11.89	13.69
	bias	0.36	<b>0.23</b>	2.94	2.78
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	7.44	<b>1.69</b>	11.31	9.49
	bias	0.78	<b>0.18</b>	2.24	1.92
(40,200)	(BS)				
	RMSPE	4.78	<b>3.81</b>	60.69	60.71
	bias	0.74	<b>0.56</b>	12.01	12.94
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	8.72	<b>2.78</b>	22.07	39.14
	bias	1.25	<b>0.36</b>	7.43	8.80
(50,1000)	(BS)				
	RMSPE	9.74	<b>9.23</b>	355.16	126.16
	bias	1.21	<b>1.11</b>	66.71	34.51
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	11.66	<b>8.94</b>	162.81	185.32
	bias	1.42	<b>1.01</b>	50.45	55.89
(80,5000)	(BS)				
	RMSPE	<b>305.29</b>	305.72	306.12	312.25
	bias	<b>28.34</b>	30.15	28.63	32.29
	(BS $\rho = 0.9$ )				
	RMSPE	21.50	21.00	3075.10	326.60
	bias	<b>2.22</b>	2.37	572.25	46.79

Note that the evaluation measures of compared methods are inflating with increasing rate of  $p/n$ . Moreover, the results of *rpcaOLS* and *rpcaMM* are inflating more than the other competitors *pcaOLS* and *pcaMM*. Although *RPCA* based methods mostly yield such poor results, *PCA* based results do as well. For example, the RMSPE results with  $p/n = 0.016$  (BS), the *pcaOLS* outperforms with 305.29. The reason can be the poor results of the *PCA* and *RPCA* spaces for these specific data structures.

### 5. Real Data Applications

Although *PCA* based regression methods are of great use for high dimensionality problems, they can already be useful when applied to low dimensional problems. Therefore, the first and second examples are dedicated to show the performances of the discussed methods on low dimensional data sets. The third and fourth real data examples focus on the high dimensional data sets. In the matter of prediction performance for

each real data example, the trimmed root mean squared prediction error (trimmed RMSPE) is computed using leave-one-out cross-validation (CV). At the beginning of the analysis for each data set, the number of component is determined by GCV as described in Subsection 3.1.

#### 5.1. Prostate Cancer Data

Firstly, we consider the Prostate Cancer data set in order to show the performances of the discussed methods on a real data example. This data set is studied by (Stamey et al., 1989), analyzed by (Friedman et al., 2001) for prediction and available in R (R Foundation for Statistical Computing, 2010) It includes  $n = 97$  observations and 9 variables. We determine the *lbph*, which corresponds to 4th variable, as a response variable and it represents the log of the amount of benign prostatic hyperplasia. Therefore, the number of explanatory variables is 8.



**Table 5.** Prostate Cancer data: number of components is determined as  $k = 2$  by GCV, and trimmed root mean squared prediction error from leave-one-out cross validation of the optimal models.

Method	Trimmed RMSPE
OLS	0.8538
MM	<b>0.7399</b>
pcaOLS	1.3189
pcaMM	1.3081
rpcaOLS	1.2978
rpcaMM	1.2855

Note that the prostate cancer data set has quite low number of explanatory variables, and the determined number of PCs by GCV is 2. Table 5 displays trimmed RMSPE values for each method. To the best of our knowledge, there is no evidence that the prostate cancer data has any outliers. Table 5 shows that the classical MM estimator performs better than other competitors, and the classical OLS estimator follows it.

**5.2. Forest Fires Data**

For an illustration on a real data example with low dimensionality we consider the Forest Fires data with the number of observations  $n = 517$  and the number of variables  $p = 13$ . This data set is recently gathered from the northeast region of Portugal and includes spatial, temporal, components from the Canadian Fire Weather Index (FWI) and four weather conditions. This problem was modeled as a regression problem aiming to estimate the burned area. Therefore, 13th variable, *area*, is determined as a response variable. This data set is available in webpage <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Forest+Fire+s>.

**Table 6.** Forest Fires data: number of components is determined as  $k = 2$  by GCV, and trimmed root mean squared prediction error from leave-one-out cross validation of the optimal models.

Method	Trimmed RMSPE
OLS	120.9887
MM	<b>3.2184</b>
pcaOLS	103.5546
pcaMM	3.3139
rpcaOLS	109.9360
rpcaMM	3.3150

Table 6 represents the results of trimmed RMSPE of compared methods based on leave-one-out CV. The number of PCs is computed by GCV as 2. The OLS, pcaOLS and rpcaOLS perform quite poor. One can say because of the affect of the outliers in data set, they yield such violated results. On the other hand, the classical MM estimator outperform, followed by pcaMM and rpcaMM.

**5.3. Glass Spectra Data**

First example for high dimensional data is the archaeological glass vessels data, which is analyzed by (Janssens et al., 1998), from the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> century. The number of glass vessels isn = 180 and each of these glass vessels was analyzed by an electron-probe X-ray microanalysis (EXPMA) leading to  $p = 1920$  spectra for each vessel. The idea of taking the spectra in the range 15 to 500, which have highest frequencies, instead of taking all variables of size  $p = 1920$  is used as in (Maronna, 2011). The resulting data set has  $n = 180$  observations and  $p = 486$  variables which have high multicollinearity. As response variable, we choose the oxide lead (PbO).

**Table 7.** Glass Spectra data: number of components is determined as  $k = 78$  by GCV, and trimmed root mean squared prediction error from leave-one-out cross validation of the optimal models.

Method	Trimmed RMSPE
pcaOLS	0.0091
pcaMM	<b>0.0077</b>
rpcaOLS	0.0116
rpcaMM	0.0117

Table 7 displays the performances of the discussed methods on the Glass Vessels data set. The number of PCs computed by GCV is 78. The pcaMM estimator yields a best performance, followed by the pcaOLS. The rpcaMM shows poorest performance.

**5.4. NCI Data**

The prediction ability of the discussed methods is done using training and test data sets generated according to the sampling schemes explained in Section 4.1 and 4.2. In order to fit the models, we used the training data and to evaluate the models, we used the test data. Each test data is generated

outlier free. The other example for high dimensional data is the cancer data, which measures 60 human cancer cell lines, from the National Cancer Institute (NCI). This data set is available in webpage <http://discover.nci.nih.gov/cellminer/>. It is known that the 40th observation includes all missing values. Therefore, we exclude it from calculation and the number of observations is  $n = 59$ . The gene expression data is obtained with an Affymetrix HG-U133A chip and normalized using the GCRMA method. The resulting data includes  $p = 22.283$  predictors. As a response variable we choose one of the expression variables, which is ADPRT-6, which corresponds to 4th of them. In this data, 13th observation determined as an outlier (Alfons et al., 2013).

In Table 8, we show the performances of the compared methods on a quite high dimensional data set. The number of PCs is determined as 9 at the beginning of the computation. Results show that the pcaMM outperforms for this data set and followed by pcaOLS.

**Table 8.** NCI data: number of components is determined as  $k = 13$  by GCV, and trimmed root mean squared prediction error from leave-one-out cross validation of the optimal models.

Method	Trimmed RMSPE
pcaOLS	1.8590
pcaMM	<b>1.2094</b>
rpcaOLS	5.6125
rpcaMM	3.3342

## 6. Conclusions

PCA based methods are very attractive in many respects, especially for high dimensional data. By combining different scale measures as Projection Index, different types of PCA are introduced in literature. One important version of such different types is the RPCA. In this paper, we take into consideration RPCA using PP. Using the idea of PCR, we combine the PCA with MM besides the RPCA with OLS and MM, and thus we have obtained the pcaMM, the rpcaOLS and the rpcaMM estimators. These methods are compared throughout extensive simulation studies and real data examples. We consider the low/high dimensional and clean/contaminated data structures for different sizes in simulation studies. Four real data examples - two for low dimensional

and two for high dimensional - are performed to illustrate the effectiveness of the methods.

For low dimensional data examples (both simulations and real data) we also consider the classical OLS and MM estimators for comparisons. While the real data examples are resulting with best performances of the pcaMM estimators, simulation studies are resulting mostly with best performances of the pcaOLS and pcaMM. When the number of observations increased, the classical OLS (clean cases) and MM (contaminated cases) estimators have become better in low dimensional data examples. High dimensional real data examples yield to best results with the pcaMM.

The performance of different estimation methods usually depends on the data set and therefore on the nature of data structure. Unluckily, there is no general rule or guideline for the choice of the method for both low and high dimensional data sets that is ideally convenient for the data at hand in the literature. But our extensive simulation studies and real data examples show using RPCA does not improve the results, but combining PCA with MM estimator provides very promising results. We deduce that the classical estimators, OLS and MM, can be preferred for low dimensional data. But for high dimensional data, the pcaMM works quite well.

## References

Alfons, A., Croux, C. and Gelper, S., 2013. Sparse Least Trimmed Squares Regression for Analyzing High-Dimensional Large Data Sets. *Annals of Applied Statistics*, 7, 226-248.

Campbell, N.A., 1980. Robust Procedures in Multivariate Analysis: Robust Covariance Estimation. *Applied Statistics*, 29, 231-237.

Croux, C. and Haesbroeck, G., 2000. Principal Component Analysis Based on Robust Estimators of the Covariance or Correlation Matrix: Influence Functions and Efficiencies. *Biometrika*, 87, 603-618.

Croux, C. and Ruiz-Gazen, A., 2005. High Breakdown Estimators for Principal Components: The Projection-Pursuit Approach Revisited. *Journal of Multivariate Analysis*, 95, 206-226.

Croux, C., Filzmoser, P. and Oliveira, M.R., 2007. Algorithms for Projection-Pursuit Robust Principal Component Analysis. *Chemometrics and Laboratory Systems*, 87, 218-225.

- Cui, H., He, X. and Ng, K.W., 2003. Aysptotic Distribution of Principal Components Based on Robust Dispersions. *Biometrika*, 90, 953-966.
- Filzmoser, P., Fritz, H. and Kalcher, K., 2018. *pcaPP: Robust PCA by Projection Pursuit*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://CRAN.R-project.org/package=pcaPP> R Package Version 1.9-73.
- Friedman, J., Hastie, T. and Tibshirani, R., 2001. *The Elements of Statistical Learning*. vol. 1: Berlin Springer Series in Statistics Springer.
- Hotelling, H., 1957. The Relations of the Newer Multivariate Statistical Methods to Factor Analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 10, 69-79.
- Huber, P.J., 1985. Projection Pursuits. *The Annals of Statistics*, 13, 435-525.
- Hubert, M., Rousseeuw, P.J. and Verboven, S., 2002. A Fast Method for Robust Principal Components with Applications to Chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 60, 101-111.
- Hubert, M., Rousseeuw, P.J. and Vanden Branden, K., 2005. ROBPCA: A New Approach to Robust Principal Component Analysis. *Technometrics*, 47(1), 64-79.
- Janssens, K., Deraedt, I., Freddy, A. and Veekman, J., 1998. Composition of 15-17<sup>th</sup> Century Archeological Glass Vessels Excavated in Antwerp, Belgium. *Mikrochimica Acta*, 15, 253-267.
- Jeffers, J.N.R., 1967. Two Case Studies in the Application of Principal Component Analysis. *Applied Statistics*, 16, 225-236.
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W., 1998. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 4<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, New York.
- Li, G. and Chen, Z., 1985. Projection-Pursuit Approach to Robust Dispersion and Principal Components: Primary Theory and Monte Carlo. *Journal of the American Statistical Association*, 80, 759-766.
- Kendall, M.G., 1957. *A Course in Multivariate Anaysis*, London: Griffin.
- Maronna, R.A., 1976. Robust M-Estimators of Multivariate Location and Scatter. *The Annals of Statistics*, 4, 51-67.
- Maronna, R.A., 2005. Principal Components and Orthogonal Regression Based on Robust Scales. *Technometrics*, 47, 264-273.
- Maronna, R.A., Martin, R.D. and Yohai, V.J., 2006. *Robust Statistics Theory and Methods*, John Wiley and Sons Ltd.: England.
- Maronna, R.A., 2011. Robust Ridge Regression for High-Dimensional Data. *Technometrics*, 53, 44-53.
- R Development Core Team, 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org>
- Stamey Thomas, A., Kabalin John, N., McNeal John, E. et al., 1989. Prostate Specific Antigen in the Diagnosis and Treatment of Adenocarcinoma of the Prostate. II. Radical Prostatectomy Treated Patients. *The Journal of Urology*, 141, 1076-1083.
- Varmuza, K. and Filzmoser, P. 2008. *Multivariate Statistical Anaysis in Chemometrics*, CRC Press: Taylor and Francis Group.
- Xie, Y., Wang, Y., Liang, Y., Sun, L., Song, X. and Yu, R.Q., 1993. Robust Principal Component Analysis by Projection Pursuit. *Chemometrics*, 7, 527-541.
- Yohai, V.J., 1987. High Breakdown Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression. *The Annals of Statistics*, 15, 642-656.
- Zou, H. and Hastie, T. 2005. Regularization and Variable Selection via the Elastic Net. *Journal of Royal Statistical Society Series B*, 67, 301-320.

## İki Farklı Lokasyona ait Altın Otunun (*Helichrysum arenarium*) Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırılması

### *Determination and Comparison of Volatile Compounds of Gold Grass (*Helichrysum arenarium*) from Two Different Locations*

Adil UMAZ<sup>\*1,a</sup>, Kader UMAZ<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 47200, Mardin

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 21280, Diyarbakır

• Geliş tarihi / Received: 18.09.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 04.05.2020

#### Öz

Bu çalışmada, 2019 yılı Haziran-Ağustos ayında iki farklı bölgede toplanan Altın Otunun (*Helichrysum arenarium*) Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) yöntemi kullanılarak uçucu bileşenleri Gaz Kromatografisi-Kütle Spektroskopisi (GC-MS) ile belirlendi. Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otu örneğinde toplam 21 adet uçucu bileşen tespit edilirken, Giresun'un Şebinkarahisar İlçesi'nin dağlık bölgelerindeki Altın Otu örneğinde toplam 33 adet uçucu bileşen tespit edildi. Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otunda  $\alpha$ -sedren (%26.65),  $\alpha$ -pinen (%14.97),  $\alpha$ -humulen (%10.65), aromadendren (%6.79),  $\alpha$ -kurkumen (%6.31), germakren B (%4.43),  $\alpha$ -kadinen (%3.82), ökaliptol (%3.57),  $\alpha$ -duprezianen (%3.57) ve limonen (%2.69) uçucu ana bileşen olarak tespit edilirken, Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna ait örnekte  $\alpha$ -pinen (%47.63),  $\alpha$ -himakhalen (%17.01),  $\alpha$ -humulen (%5.21),  $\delta$ -kadinen (%4.98),  $\gamma$ -kadinen (%4.01) ve ökaliptol (%3.46) uçucu ana bileşen olarak tespit edildi.

**Anahtar kelimeler:** *Helichrysum arenarium*, SPME/GC-MS, Uçucu Bileşenler

#### Abstract

In this study, volatile components by using Solid Phase Micro Extraction (SPME) method of Gold Grass (*Helichrysum arenarium*) collected in two different regions in June-August 2019 were determined by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). While A total of 21 volatile components were detected in the sample of Golden Grass around Bitlis Nemrut Crater Lake, a total of 33 volatile components were detected in the sample of Golden Grass in the mountainous areas of Şebinkarahisar District of Giresun. While in the Golden Grass around Bitlis Nemrut Crater Lake  $\alpha$ -cedrene (26.65%),  $\alpha$ -pinene (14.97%),  $\alpha$ -humulene (10.65%), aromadendrene (6.79%),  $\alpha$ -curcumene (6.31%), germacrene B (4.43%),  $\alpha$ -cadinene (3.82%), eucalyptol (3.57%),  $\alpha$ -duprezianene (3.57%) and limonene (2.69%) were detected as the volatile main component, in the Golden Grass sample in the mountainous areas of Şebinkarahisar District of Giresun  $\alpha$ -pinene (47.63%),  $\alpha$ -himachalene (17.01%),  $\alpha$ -humulene (5.21%),  $\delta$ -cadinene (4.98%),  $\gamma$ -cadinene (4.01%) and eucalyptol (3.46%) were detected as the volatile main component.

**Keywords:** *Helichrysum arenarium*, SPME/GC-MS, Volatile Components

\*a Adil UMAZ, adilumaz@gmail.com, Tel: (0546) 492 29 30, orcid.org/0000-0003-2438-5454

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6039-3692

## 1. Giriş

*Helichrysum* ismi, Yunanca'da güneş anlamına gelen "helios" ve altın anlamına gelen "chrysos" kelimelerinden türemiştir (Liu vd., 2019). *Helichrysum arenarium* bitkisi Asteraceae familyasına ait olup çok yıllık otsu bir bitkidir. Halk arasında altın otu, sonsuza dek süren, ölümsüz çiçek veya solmaz çiçek olarak bilinir (Czinner vd., 2000; Albayrak vd., 2010; Eroğlu vd., 2010; Moghadam vd., 2014; Figas vd., 2016; Liu vd., 2019).

Dünyada 600'ün üzerinde *Helichrysum* türü olup Amerika, İskandinavya, Atlantik, Avrupa, Balkanlar, Rusya, Sibirya, Kafkasya, Küçük Asya, Orta Asya, Moğolistan ve Çin de dahil olmak üzere geniş bir coğrafi bölgenin bozkırlarında, kumlu ve yarı sert topraklarda yetişen, 90 cm yüksekliğinde boylanan çok yıllık bir bitkidir (Jarzycka vd., 2013; Reidel vd., 2017; Kutluk vd., 2018). *Helichrysum* türü Türkiye florasında 15'i endemik olan ve Anadolu'da yaygın olarak bulunan 27 taksonla temsil edilmektedir (Albayrak vd., 2010).



Şekil 1. Altın Otu (*Helichrysum arenarium*) bitkisi

Bazı farmakolojik veriler göre *Helichrysum arenarium*'un çiçeğinin flavonoidler, uçucu yağlar, yağ asitleri, karotenoidler, steroidler, acı maddeler, polifenoller, vitaminler, mineral tuzları, polisakaritler, glikozitler, kumarinler, kateşinler ve proantosiyanidinler de dahil olmak üzere fenolik bileşikler bakımından zengindir. Ayrıca astragalin, luteolin, kaempferol vb. gibi bileşenleri de içermektedir (Rančić vd., 2005; Eroğlu vd., 2010; Jarzycka vd., 2013; Liu vd., 2019).

*Helichrysum arenarium*'un çiçeği özellikle antibakteriyel, antiviral, antifungal, antienflamatuar, antiproliferatif, antimikrobiyal,

antialerjik, antioksidan, antiradikal, kolinerjik, hepatoprotektif ve detoksifikasyon aktiviteleri de dahil olmak üzere birçok biyolojik aktiviteye sahiptir (Tepe vd., 2005; Mao vd., 2017; Liu vd., 2019). Halk hekimliğinde karaciğer ve safra kesesi rahatsızlıklarında, lumbago tedavisinde, mide ağrısı, astım, artrit bozuklukları, sistit ve sarılık tedavisinde, cilt enfeksiyonları, solunum ve sindirim sistemi bozuklukları, böbrek taşı tedavisinde, üro-genital bozukluklar gibi çeşitli rahatsızlıkları tedavi etmek için kullanılmıştır. Ayrıca kozmetik endüstrisinde kokusu için uzun yıllardır kullanılmaktadır (Liu vd., 2019).

Ülkemizde Anadolu'da yaygın olarak bitkisel çay olarak kullanılır (Eroğlu vd., 2010). Güney Afrika'da, tüberkülozu ve ilgili semptomları tedavi etmek için ve geleneksel olarak Orta Avrupa'da antiseptik ve spazmolitik ilaçlar olarak kullanılır (Gradinaru vd., 2014; Moghadam vd., 2014; Reidel vd., 2017; Akin ve Saki, 2019).

Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) yöntemini ilk olarak 1990 yılında uçucu bileşikler analiz etmek için Arthur ve Pawliszyn tarafından kullanılmıştır. SPME yöntemi sayesinde ekstraksiyon yapılmadan ve organik çözücü kullanılmadan katı numuneler analiz edilebilir. Bu yüzden SPME yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kullanımı kolay, nispeten ucuz, çözücüsüz ve hassas bir tekniktir (Umaz vd., 2019). Bu çalışmada, Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki ve Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarına ait Altın Otunun (*Helichrysum arenarium*) uçucu bileşenlerinin SPME/GC-MS yöntemiyle belirlenmesi ve karşılaştırması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Bitki Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan iki farklı lokasyona ait Altın Otu örnekleri Haziran-Ağustos 2019 ayları arasında çiçeklenme döneminde Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresinden ((38° 37' 10" K), (42° 14' 28" D), yükseklik 2.628 m) ve Giresun'un Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarından ((40° 23' 34" K), (38° 18' 33" D), yükseklik 1.569 m) toplandı. Bitkilere ait örnekler Mardin Artuklu Üniversitesi Herbaryumuna getirilerek etiketlendi ve saklandı. Bitki materyallerinin taksonomik teşhisi yapılarak doğrulandı. Ardından toplanan bitki örnekleri gölgelik ve hava akışının olduğu bir yerde kurutuldu. Elde edilen numuneler 10 mL'lik kapaklı vial içine konularak deneysel çalışmalarda kullanıldı.



## 2.2. Bitki Örneklerinin Analizi

İki farklı lokasyona ait Altın Otu bitkisinin uçucu bileşenleri Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) ile birleştirilmiş Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) yöntemiyle belirlenmiştir. SPME yöntemiyle, 10 mL'lik vial içine 0.5 g kurutulmuş Altın Otu bitkisi konularak 25 dk. boyunca 60°C'de bekletildi. Ardından SPME aparatı yardımıyla 100 µm kalınlığında Polidimetilsilokzan (PDMS) kaplı slika fiber ile bitki örneklerinin uçucu bileşenleri absorbe edildi. Daha sonra GC-MS (Shimadzu QP-2020) cihazının kapiler kolonuna (Restek Rtx-5MS 30 m x 0.25 mm, 0.25 µm) enjekte edildi. Dedektör ve enjektör sıcaklıkları 250°C ve Fırın sıcaklığı 40°C'de 2 dakika boyunca bekledikten sonra dakikada 4°C'lik artışla 250°C'ye ulaşılacak şekilde programlandı. İyonlaştırma türü olarak EI (70 eV) ve taşıyıcı gaz olarak Helyum (1.2 mL/dk.) kullanıldı. Uçucu bileşenlerin belirlenmesinde Wiley, NIST Tutor (W9N11) ve FFNSC kütüphanesinden yararlanılmıştır. Alıkonma indis (Retention Indices (RI)) değerleri, C7-C30 alkan karışım standartlarına göre hesaplandı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otuna ait uçucu bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e bakıldığında Altın Otuna ait örnekte 21 adet uçucu bileşen tespit edildi. Tablo 1'de görüldüğü üzere  $\alpha$ -sedren (%26.65),  $\alpha$ -pinen (%14.97),  $\alpha$ -humulen (%10.65), aromadendren (%6.79),  $\alpha$ -kurkumen (%6.31), germakren B (%4.43),  $\alpha$ -kadinen (%3.82), ökaliptol (%3.57),  $\alpha$ -duprezianen (%3.57) ve limonen (%2.69) uçucu ana bileşen olarak tespit edildi. Elde edilen verilerin kromatogramı Şekil 2'de görülmektedir.

Literatürde, Altın Otuna ait örnekte uçucu bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada ana bileşen olarak di-epi- $\alpha$ -sedren (%17.90),  $\alpha$ -ylangen (%14.00), cyclosativen (%11.90), limonen (%11.40) ve  $\alpha$ -selinen (%8.20) saptanmıştır (Rančić vd., 2005). Yapılan başka bir çalışmada Altın Otuna ait örnekte  $\beta$ -spathulenol (%19.96),  $\alpha$ -bisabolol (%10.24), ledol (%10.02), aromadendren (%5.15) ve  $\alpha$ -eudesmol (%4.29) saptanmıştır (Liu vd., 2019). Ayrıca Altın Otunun çiçek ve yapraklarından elde edilen örnekte uçucu bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada  $\beta$ -pinen (%55.20),  $\alpha$ -pinen (%15.80) ve limonen (%5.20) saptanmıştır (Reidel vd., 2017). Literatüre bakıldığında Bitlis Nemrut Krater Gölü

çevresindeki Altın Otuna ait uçucu ana bileşenlerinin benzer olduğu görülmektedir.

Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otuna ait %1.18 Ester bileşikler, %0.66 Asit bileşikler, %66.12 Seskiterpen bileşikler, %23.35 Monoterpen bileşikler ve %8.69 Diğer bileşikler olduğu tespit edildi. Ayrıca, toplam terpen bileşikler %89.47 olarak tespit edildi. Literatürde, Altın Otun bitkisinin yapraklarından elde edilen örnekte %66.20 Seskiterpen bileşikler ve %20.01 Monoterpen bileşiklerinin olduğu saptanmıştır (Judžentienė vd., 2019). Judžentienė ve Butkiene 2006 yılında yaptığı bir çalışmada, Altın Otunun Monoterpen ve Oksijenli Monoterpen bileşiklerinin %4.0-13.9 arasında ve Seskiterpen bileşiklerinin ise %24.7-71.2 arasında olduğunu belirtmiştir (Judžentienė ve Butkiene, 2006). Bir başka çalışmada, Altın Otu bitkisinin toplam Terpen bileşikler %82.83 olarak saptanmıştır (Liu vd., 2019). Literatüre baktığımızda deneysel çalışmada bulduğumuz değerlerin birbiriyle örtüştüğü görülmektedir.

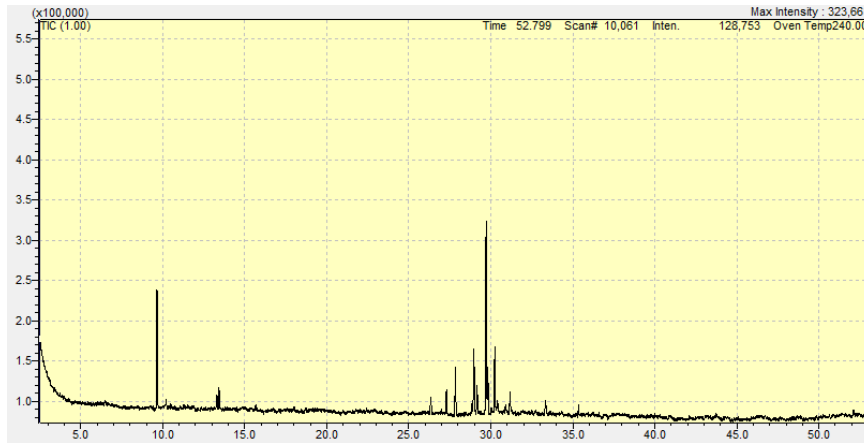
Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna ait uçucu bileşenleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'e bakıldığında Altın Otuna ait örnekte 33 adet uçucu bileşen tespit edildi. Tablo 2'de görüldüğü üzere  $\alpha$ -pinen (%47.63),  $\alpha$ -himakhalen (%17.01),  $\alpha$ -humulen (%5.21),  $\delta$ -kadinen (%4.98),  $\gamma$ -kadinen (%4.01) ve ökaliptol (%3.46) uçucu ana bileşen olarak tespit edildi. Elde edilen verilerin kromatogramı Şekil 3'de görülmektedir. Literatürde, Altın Otunun çiçek ve yapraklarından elde edilen örnekte uçucu bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada  $\beta$ -pinen (%55.20) ve  $\alpha$ -pinen (%15.80) saptanmıştır (Reidel vd., 2017). Radušienė ve ark., 2008 yılında yaptığı bir çalışmada, Altın Otunun çiçek kısımlarında trans-karyofilen ve  $\delta$ -kadinen bileşikler uçucu ana bileşen olarak tespit edilmiştir (Radušienė ve Judžentienė, 2008). Yapılan başka bir çalışmada  $\delta$ -kadinen (%9.00),  $\gamma$ -kadinen (%5.50) ve  $\alpha$ -humulen (%3.50) saptanmıştır (Judžentienė vd., 2019). Literatüre bakıldığında Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna ait uçucu ana bileşenlerinin benzer olduğu görülmektedir.

Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna ait %0.64 Alkol bileşikler, %0.37 Ester bileşikler, %0.36 Asit bileşikler, %37.48 Seskiterpen bileşikler, %57.22 Monoterpen bileşikler ve %3.94 Diğer bileşikler olduğu tespit edildi.

**Tablo 1.** Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresine ait Altın Otuğun uçucu bileşenleri

<b>Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otu (<i>Helichrysum arenarium</i>)</b>				
No	Uçucu Bileşenler	R.Time	RI	%
1	$\alpha$ -pinen	9.65	931	14.97
2	kampen	10.20	953	1.40
3	limonen	13.31	1030	2.69
4	ökaliptol	13.43	1033	3.57
5	$\alpha$ -terpinen	15.70	1018	0.72
6	pelargonik asit	22.43	1281	0.66
7	$\alpha$ -kopaen	26.35	1376	2.59
8	tetradekan	26.98	1399	0.67
9	$\alpha$ -duprezianen	27.30	1424	3.57
10	aromadendren	27.84	1439	6.79
11	$\alpha$ -gurjunen	28.85	1409	1.69
12	$\alpha$ -humulen	28.97	1450	10.65
13	germakren B	29.16	1481	4.43
14	$\alpha$ -sedren	29.72	1498	26.65
15	$\alpha$ -kurkumen	29.82	1501	6.31
16	$\beta$ -selinen	30.03	1485	0.95
17	10beta-H-kadina-1 (6), 4-dien	30.40	1520	2.41
18	nopil asetat	30.45	1529	1.18
19	$\gamma$ -kadinen	30.91	1513	1.26
20	$\delta$ -kadinen	31.17	1522	3.82
21	heksadekan	33.32	1559	3.02
<b>%Toplam Tanımlanmış Bileşikler</b>				100.00
<b>%Ester Bileşikleri</b>				1.18
<b>%Asit Bileşikleri</b>				0.66
<b>%Seskiterpen Bileşikleri</b>				66.12
<b>%Monoterpen Bileşikleri</b>				23.35
<b>%Diğer Bileşikler</b>				8.69

R.Time: Alıkonma zamanı, RI: Alıkonma indisi

**Şekil 2.** Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otuna ait GC-MS/SPME kromatogramı

Ayrıca, Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otu bitkisinin toplam terpen bileşikleri %94.70 olarak tespit edildi.

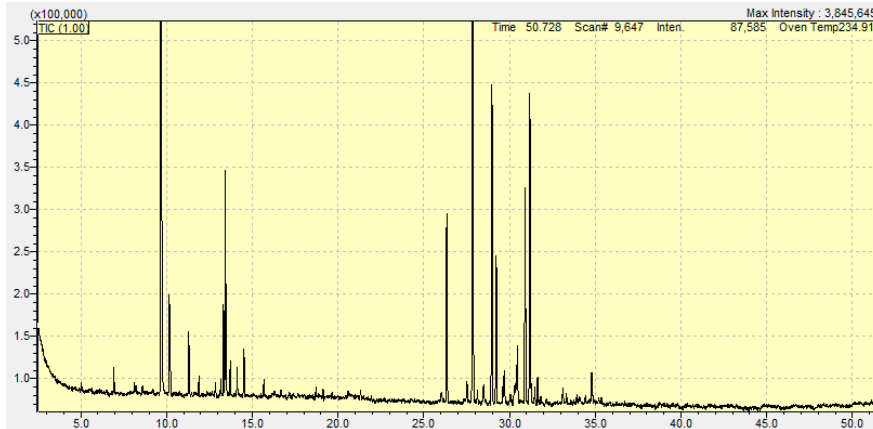
Literatürde, Altın Otun bitkisinin yapraklarından elde edilen örnekte %12.80 Seskiterpen bileşikleri ve %85.10 Monoterpen bileşiklerinin olduğu saptanmıştır. Altın Otu bitkisinin toplam terpen bileşikleri %94.00 olarak saptanmıştır (Reidel vd., 2017). Başka bir çalışmada, Altın Otuna ait Monoterpen bileşikleri %15.0-93.1 arasında ve

seskiterpen bileşikleri ise %1.1-25.5 arasında olduğu bildirilmiştir (Öztürk vd., 2014). Literatüre baktığımızda deneysel çalışmada bulduğumuz değerlerin birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. İki farklı lokasyona ait Altın Otu bitkisi karşılaştırıldığında Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otunun Monoterpen bileşiklerinin yüzdesi Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otununkiden daha yüksek olduğu tespit edildi.

**Tablo 2.** Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarına ait Altın Otunun uçucu bileşenleri

<b>Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otu (<i>Helichrysum arenarium</i>)</b>				
No	Uçucu Bileşenleri	R.Time	RI	%
1	kapril alkol	5.04	902	0.20
2	3-metil pentanol	6.93	921	0.30
3	$\alpha$ -pinen	9.67	931	47.63
4	$\delta$ -3-karen	10.16	957	1.81
5	$\beta$ -pinen	11.29	980	0.92
6	Mirsen	11.89	992	0.25
7	$\alpha$ -terpinen	12.85	1018	0.20
8	p-simen	13.16	1026	0.26
9	Limonen	13.32	1030	1.29
10	Ökaltirol	13.42	1033	3.46
11	(E)-beta-osimen	14.11	1060	0.37
12	$\gamma$ -terpinen	14.52	1061	0.65
13	Terpinolen	15.68	1087	0.22
14	linalil format	17.16	1140	0.10
15	İsorneol	18.72	1180	0.14
16	terpinen-4-ol	19.10	1177	0.16
17	heksil-3-metil-bütanoat	21.31	1251	0.14
18	$\alpha$ -amorfen	26.02	1385	0.27
19	$\alpha$ -kopaen	26.34	1376	2.91
20	$\alpha$ -himakhaleen	27.85	1450	17.01
21	aromadendren	28.48	1439	0.28
22	$\alpha$ -gurjunen	27.51	1409	0.33
23	$\alpha$ -humulen	28.97	1450	5.21
24	alloaromadendren	29.22	1462	2.36
25	$\beta$ -selinen	30.05	1485	0.09
26	$\alpha$ -bulnesen	30.32	1517	0.29
27	10beta-H-kadina-1 (6), 4-dien	29.60	1520	0.52
28	$\alpha$ -muuroolen	30.45	1500	1.76
29	$\gamma$ -kadinen	30.91	1513	4.01
30	$\delta$ -kadinen	31.18	1522	4.98
31	karyofillen oksit	33.11	1609	0.35
32	epi- $\alpha$ -muurolol	34.04	1640	0.89
33	guaiyl asetat	34.42	1654	0.13
<b>%Toplam Tanımlanmış Bileşikler</b>				99.49
<b>%Alkol Bileşikleri</b>				0.64
<b>%Ester Bileşikleri</b>				0.37
<b>%Asit Bileşikleri</b>				0.35
<b>%Seskiterten Bileşikleri</b>				37.48
<b>%Monoterpen Bileşikleri</b>				57.22
<b>%Diğer Bileşikler</b>				3.94

R.Time: Alıkınma zamanı, RI: Alıkınma indisi

**Şekil 3.** Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna ait GC-MS/SPME kromatogramı

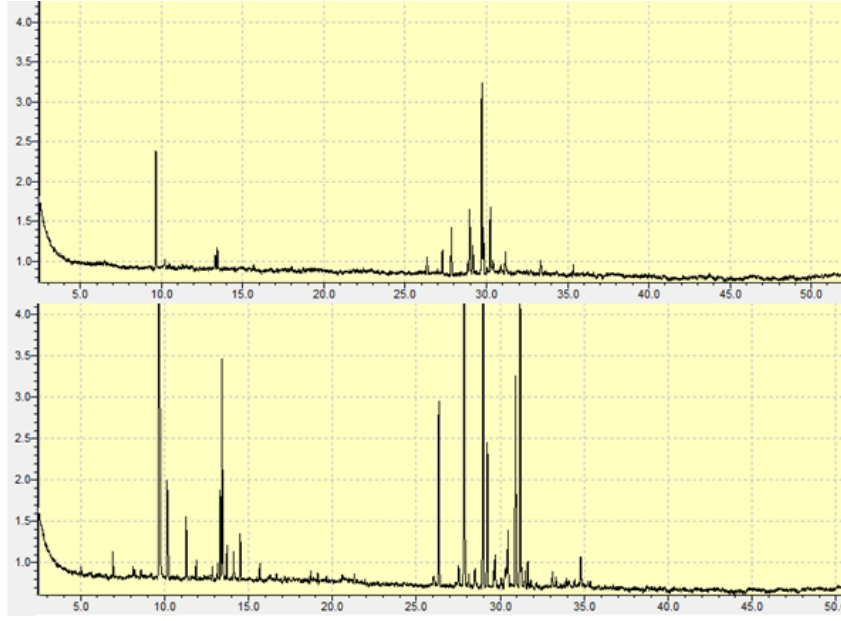
Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otunun Seskiterpen bileşiklerinin yüzdesi ise Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık

alanlarındaki Altın Otununkiden daha yüksek olduğu tespit edildi.

**Tablo 3.** Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresine ait altın Otu ve Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarına ait altın Otunun uçucu bileşenlerinin karşılaştırılması

No	Uçucu Bileşenler	B. N. K. G. Ç. Altın Otu			G. Ş. İ. D. A. Altın Otu		
		R. Time	RI	%	R. Time	RI	%
1	kapril alkol	-	-	-	5.04	902	0.20
2	3-metil pentanol	-	-	-	6.93	921	0.30
3	$\alpha$ -pinen	9.65	931	14.97	9.67	931	47.63
4	Kamfen	10.20	953	1.40	-	-	-
5	$\delta$ -3-karen	-	-	-	10.16	957	1.81
6	$\beta$ -pinen	-	-	-	11.29	980	0.92
7	Mirsen	-	-	-	11.89	992	0.25
8	$\alpha$ -terpinen	15.70	1018	0.72	12.85	1018	0.20
9	p-simen	-	-	-	13.16	1026	0.26
10	Limonen	13.31	1030	2.69	13.32	1030	1.29
11	Ökaliptol	13.43	1033	3.57	13.42	1033	3.46
12	(E)-beta-osimen	-	-	-	14.11	1060	0.37
13	$\gamma$ -terpinen	-	-	-	14.52	1061	0.65
14	terpinolen	-	-	-	15.68	1087	0.22
15	linalil format	-	-	-	17.16	1140	0.10
16	isoborneol	-	-	-	18.72	1180	0.14
17	terpinen-4-ol	-	-	-	19.10	1177	0.16
18	hekzil-3-metil-bütanoat	-	-	-	21.31	1251	0.14
19	pelargonik asit	22.43	1281	0.66	-	-	-
20	$\alpha$ -amorfen	-	-	-	26.02	1385	0.27
21	$\alpha$ -kopaen	26.35	1376	2.59	26.34	1376	2.91
22	tetradekan	26.98	1399	0.67	-	-	-
23	$\alpha$ -duprezianen	27.30	1424	3.57	-	-	-
24	$\alpha$ -gurjunen	28.85	1409	1.69	27.51	1409	0.33
25	$\alpha$ -himakhalen	-	-	-	27.85	1450	17.01
26	aromadendren	27.84	1439	6.79	28.48	1439	0.28
27	$\alpha$ -humulen	28.97	1450	10.65	28.97	1450	5.21
28	germakren B	29.16	1481	4.43	-	-	-
29	alloaromadendren	-	-	-	29.22	1462	2.36
30	10beta-H-kadina-1 (6), 4-dien	30.40	1520	2.41	29.60	1520	0.52
31	$\alpha$ -sedren	29.72	1498	26.65	-	-	-
32	$\alpha$ -kurkumen	29.82	1501	6.31	-	-	-
33	$\beta$ -selinen	30.03	1485	0.95	30.05	1485	0.09
34	$\alpha$ -bulnesen	-	-	-	30.32	1517	0.29
35	$\alpha$ -muurolen	-	-	-	30.45	1500	1.76
36	nopil asetat	30.45	1529	1.18	-	-	-
37	$\gamma$ -kadinen	30.91	1513	1.26	30.91	1513	4.01
38	$\delta$ -kadinen	31.17	1522	3.82	31.18	1522	4.98
39	karyofillen oksit	-	-	-	33.11	1609	0.35
40	hekzadekan	33.32	1559	3.02	-	-	-
41	epi- $\alpha$ -muurolol	-	-	-	34.04	1640	0.89
42	guaiyl asetat	-	-	-	34.42	1654	0.13
<b>%Toplam Tanımlanmış Bileşikler</b>				100.00	99.49		
<b>%Alkol Bileşikleri</b>				-	0.64		
<b>%Ester Bileşikleri</b>				1.18	0.37		
<b>%Asit Bileşikleri</b>				0.66	0.35		
<b>%Seskiterpen Bileşikleri</b>				66.12	37.48		
<b>%Monoterpen Bileşikleri</b>				23.35	57.22		
<b>%Diğer Bileşikler</b>				8.69	3.94		

**R. Time:** Alıkonma zamanı, **RI:** Alıkonma indisi, **B. N. K. G. Ç.:** Bitlis Nemrut Krater Gölü Çevresine ait, **G. Ş. İ. D. A.:** Giresun Şebinkarahisar İlçesinin Dağlık Alanlarına ait



**Şekil 4.** Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otu (A) ve Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otuna (B) ait GC-MS/SPME kromatogramların karşılaştırılması

Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresine ait Altın Otu ile Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarına ait Altın Otunun uçucu bileşenlerinin karşılaştırıldığında Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresine ait Altın Otu örneğinde 21 adet uçucu bileşeni varken, Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarına ait Altın Otu örneğinde ise 33 adet uçucu bileşeni tespit edildi. Tablo 3'e bakıldığında iki farklı lokasyona ait Altın Otunun toplamda 42 adet uçucu bileşenleri belirlendi. Yapılan SPME/GC-MS analizi sonucunda iki farklı lokasyona ait Altın Otu bitkisinin çakıştırılmış kromatogramı Şekil 4'te görülmektedir. Kromatogram incelendiğinde iki farklı yöre ait Altın Otunun 10-15 dakika ve 25-35 dakikalardaki alıkonma zamanları ve pik benzerliği örtüşmektedir. İki farklı lokasyona ait Altın Otunun uçucu bileşenlerinin farklı olması iklim ve coğrafi bölge farklılığından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Kutluk vd., (2018) yılında yaptığı bir çalışmada bitkilerin kimyasal bileşimlerinin değişkenliğinin genetik, coğrafi ve iklimsel faktörlerle bağlantılı olduğu belirtilmektedir (Kutluk vd., 2018).

$\alpha$ -pinen, monoterpen sınıfında olup antimikrobiyal ve antiinflatuar aktivite gösterdiği için geniş spektrumlu bir antibiyotik olarak işlev görmektedir. Ayrıca asetilkolin inhibitörü olarak da kullanılır.  $\alpha$ -pinen merhem ve kremlerde ana bileşen olarak da kullanılmıştır (Yaşar vd., 2017).

Limonen, monoterpen sınıfının bir üyesi olup güzel ve keskin bir kokuya sahiptir. Bu yüzden

temizlik ürünlerinde leke çıkarıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Limonen uçucu ana bileşeni, antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahiptir (Umaz vd., 2019).

$\alpha$ -humulen, humalan grubuna ait biyojenetik olarak ilişkili seskiterpenlerdir (Benelli vd., 2018).  $\alpha$ -humulen, kanser hücrelerine karşı ve in vivo çalışmalarda sitotoksik etkiye sahip oldukları bildirilmiştir (Pavithra vd., 2018).

Aromadendrenler, terpenler sınıfında olup ilk olarak okaliptüs ağacından izole edilmiştir. Ayrıca aromadendrenler antifungal, antibakteriyel, antiviral ve sitotoksik aktiviteler gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğu bildirilmiştir (Pavithra vd., 2018).

$\alpha$ -sedren, çam veya selvi botanik ailelerinden türetilmiş, sedir ağacı yağlarından oluşan bir seskiterpendir.  $\alpha$ -sedren yeni bir obezite karşıtı ilaç olarak görülmesine rağmen farmakokinetik özellikleri hakkında sınırlı bilgi mevcuttur (Kim vd., 2015).

Ökaliptol, birçok bitkide, özellikle de okaliptüs türlerinde mevcut olan monoterpenoid sınıfında olup antiinflatuar ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Kennedy-feitosa vd., 2019).

$\alpha$ -kurkumen, seskiterpen bileşik sınıfında olup antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Narjara vd., 2015).



#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, iki farklı lokasyona ait Altın Otu'nun uçucu bileşenlerinin SPME/GC-MS yöntemiyle tespit edilip karşılaştırması yapılmıştır. Altın Otu çiçeğinin antibakteriyel, antiviral, antifungal, antienflamatuar, antimikrobiyal, antialerjik, antioksidan, antiradikal ve kolinerjik gibi biyolojik aktiviteye sahip olması nedeniyle bu bitkinin ilaç ham maddesi olarak kullanılabilir olduğunu gösterir.

Bitlis Nemrut Krater Gölü çevresindeki Altın Otu bitkisinin uçucu bileşenlerinden biri olan  $\alpha$ -sedren obezite karşıtı yeni bir ilaç etken maddesi olarak kullanılması bu bitkinin obezite karşıtı bir ilaç olarak kullanılmasına olanak sağlar.

Giresun Şebinkarahisar İlçesinin dağlık alanlarındaki Altın Otu bitkisinin uçucu bileşenlerinden biri olan  $\alpha$ -pinen'in antimikrobiyal ve antiinflamatuar aktivite gösterdiği için bu bitki ilaç endüstrisinde geniş sepektrumlu bir antibiyotik olarak kullanılabilir olduğunu söyleyebiliriz.

#### Kaynaklar

Akin, M. ve Saki, N., 2019. Antimicrobial, DPPH Scavenging and Tyrosinase Inhibitory Activities of Thymus Vulgaris, *Helichrysum arenarium* and Rosa Damascena Mill. Ethanol Extracts by using TLC Bioautography and Chemical Screening Methods. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, 42(7-8), 204-216.

Albayrak, S., Aksoy, A., Sağdıç, O. ve Budak, Ü., 2010. Phenolic Compounds and Antioxidant and Antimicrobial Properties of *Helichrysum* Species Collected from Eastern Anatolia Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 34(4), 463-473.

Benelli, G., Govindarajan, M., Rajeswary, M., Vaseeharan, B., Alyahya, S.A., Alharbi, N.S. ve Maggi, F., 2018. Insecticidal Activity of Camphene, Zerumbone and  $\alpha$ -humulene from *Cheilocostus Speciosus* Rhizome Essential Oil against the Old-World Bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 781-786.

Czinner, E., Lemberkovic, É., Bihátsi-Karsai, E., Vitányi, G. ve Lelik, L., 2000. Composition of the Essential Oil from the Inflorescence of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. *Journal of Essential Oil Research*, 12(6), 728-730.

Eroğlu, H.E., Hamzaoğlu, E., Budak, Ü., Aksoy, A. ve Albayrak, S., 2010. Cytogenetic Effects of *Helichrysum arenarium* in Human Lymphocytes Cultures. *Turkish Journal of Biology*, 34(3), 253-259.

Figas, A., Tomaszewska-Sowa, M., Sawilska, A. ve Keutgen, A.J., 2016. Improvement of in Vitro Propagation and Acclimation of *Helichrysum arenarium* L. Moench. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 15(4), 17-26.

Gradinaru, A.C., Silion, M., Trifan, A., Miron, A. ve Aprotosoae, A.C., 2014. *Helichrysum arenarium* subsp. *arenarium*: Phenolic Composition and Antibacterial Activity against Lower Respiratory Tract Pathogens. *Natural Product Research*, 28(22), 2076-2080.

Jarzycka, A., Lewińska, A., Gancarz, R. ve Wilk, K.A., 2013. Assessment of Extracts of *Helichrysum arenarium*, *Crataegus Monogyna*, *Sambucus Nigra* in Photoprotective UVA and UVB; Photostability in Cosmetic Emulsions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 128, 50-57.

Judzentiene, A., ve Butkiene, R., 2006. Chemical Composition of the Essential Oils of Wild *Helichrysum arenarium* (L.) with Differently Colored Inflorescences from Eastern Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*, 18(1), 80-83.

Judžentienė, A., Charkova, T. ve Misiūnas, A., 2019. Chemical Composition of the Essential Oils from *Helichrysum arenarium* (L.) Plants Growing in Lithuanian Forests. *Journal of Essential Oil Research*, 31(4), 305-311.

Kennedy-feitosa, E., Cattani-cavaliere, I., Valente, M., Biomédicas, I.D.C. ve Federal, U., 2019. Phytomedicine Eucalyptol Promotes Lung Repair in Mice Following Cigarette Smoke-Induced Emphysema. *Phytomedicine*, 55, 70-79.

Kim, T.H., Yoo, S.D., Lee, H.S., Lee, K.M., Seok, S.H., Kim, M.G. ve Shin, B.S., 2015. In Vivo Absorption and Disposition of  $\alpha$ -cedrene, a Sesquiterpene Constituent of Cedarwood Oil, in Female and Male Rats. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 30(2), 168-173.

Kutluk, I., Aslan, M., Orhan, I.E. ve Özçelik, B., 2018. Antibacterial, Antifungal and Antiviral Bioactivities of Selected *Helichrysum* Species. *South African Journal of Botany*, 119, 252-257.

Liu, X., Jing, X. ve Li, G., 2019. A Process to Acquire Essential Oil by Distillation Concatenated Liquid-Liquid Extraction and Flavonoids by Solid-Liquid Extraction Simultaneously from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench Inflorescences under Ionic Liquid-Microwave

- Mediated. Separation and Purification Technology, 209, 164–174.
- Mao, Z., Gan, C., Zhu, J., Ma, N., Wu, L., Wang, L. ve Wang, X., 2017. Anti-atherosclerotic Activities of Flavonoids from the Flowers of *Helichrysum arenarium* L. Moench through the Pathway of Antiinflammation. Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters, 27(12), 2812–2817.
- Moghadam, H.D., Sani, A.M. ve Sangatash, M.M., 2014. Inhibitory Effect of *Helichrysum arenarium* Essential Oil on the Growth of Food Contaminated Microorganisms. Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 17(5), 911–921.
- Narjara, G., Pozzatti, P., Rigatti, F., Hömer, R., Alves, S.H., Augusto, C. ve Heinzmann, B.M., 2015. Antimicrobial evaluation of sesquiterpene  $\alpha$ -curcumene and Its Synergism with Imipenem. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 4(5), 434–436.
- Öztürk, B., Özek, G., Özek, T., Baser, K.H.C., 2014. Chemical Diversity in Volatiles of *Helichrysum plicatum* DC. Subspecies in Turkey. Records of Natural Products, 8(4), 373–384.
- Pavithra, P.S., Mehta, A. ve Verma, R.S., 2018. Aromadendrene Oxide 2, Induces Apoptosis in Skin Epidermoid Cancer Cells through ROS Mediated Mitochondrial Pathway. Life Sciences, 197, 19–29.
- Rančić, A., Soković, M., Vukojević, J., Simić, A., Marin, P., Duletić-Laušević, S. ve Djoković, D., 2005. Chemical Composition and Antimicrobial Activities of Essential Oils of *Myrrhis odorata* (L.) scop, *Hypericum perforatum* L and *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. Journal of Essential Oil Research, 17(3), 341–345.
- Radušienė, J., ve Judžentienė, A., 2008. Volatile Composition of *Helichrysum arenarium* Field Accessions with Differently Coloured Inflorescences. Biologija, 54(2), 116–120.
- Reidel, R.V.B., Cioni, P.L., Ruffoni, B., Cervelli, C. ve Pistelli, L., 2017. Aroma Profile and Essential Oil Composition of *Helichrysum* Species. Natural Product Communications, 12(9), 1507–1512.
- Tepe, B., Sokmen, M., Askin Akpulat, H. ve Sokmen, A., 2005. In Vitro Antioxidant Activities of the Methanol Extracts of Four *Helichrysum* Species from Turkey. Food Chemistry, 90(4), 685–689.
- Umaz, A., Baran, M.F., Güngören, M. ve Umaz, K., 2019. Mardin, Diyarbakır ve Gaziantep'te Güneşte Kurutulan Üzümlerin SPME/GC-MS Metoduyla Uçucu Bileşenlerinin Karşılaştırılması. Ejons (International Journal on Mathematics, Engineering & Natural Sciences), 9(3), 100–106.
- Yaşar, S., Güler, G., Beram, A., Coşkun, D. ve Ozansoy, D., 2017. Acı Yavşan Otu (*Artemisia absinthium* L.) Yaprak Uçucu Bileşenleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 8(2), 148-152.

# Sınır Koşulunda Öz Parametre Bulunduran Bir Sturm-Liouville Operatörü İçin Ters Nodal Problem

## *Inverse Nodal Problem for A Sturm-Liouville Operator with Eigenparameter in the Boundary Condition*

Sertaç GÖKTAŞ\*

Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 33343, Mersin

• Geliş tarihi / Received: 10.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 04.05.2020

### Öz

Bu çalışmada, sınır koşulunda öz parametre ve ikinci derece diferensiyel denkleminde birden fazla potansiyel bulunduran bir Sturm-Liouville problemi ele alınmıştır. Prüfer dönüşümü yardımıyla bu problemin özdeğerlerinin ve nodal parametrelerinin asimptotik formülleri bulunmuştur. Ayrıca, potansiyel fonksiyonlar için bir yapılandırma formülü elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nodal Noktalar, Nodal Uzunluklar, Potansiyel Fonksiyon, Prüfer Dönüşümü

### Abstract

*In this study, Sturm-Liouville problem with eigenparameter in the boundary condition and more than one potential in the second order differential equation is considered. Asymptotic formulas of the eigenvalues and nodal parameters of this problem are found by Prüfer substitution. In addition, a reconstruction formula is obtained for potential functions.*

**Keywords:** Nodal Points, Nodal Lengths, Potential Function, Prüfer Substitution

\*Sertaç GÖKTAŞ, srtcgoktas@gmail.com, Tel:(0324) 361 00 01- 14806, orcid.org/0000-0001-7842-6309

## 1. Giriş

Lineer diferansiyel operatörlerin spektral teorisinde, düz problemin ve ters problemin çeşitli özellikleri birçok yazar tarafından araştırılmıştır. Burada, düz problem: diferansiyel operatörlerin öz değerlerinin ve bu öz değerlere karşılık gelen öz fonksiyonların belirlenmesi problemi; ters problem ise özdeğer, özfonksiyon, saçılma verileri, normlaştırıcı sabitler, özdeğerlerin sıfırları gibi spektral karakteristikler kullanılarak denklemin katsayı fonksiyonlarının bulunması yani kısaca lineer operatörün biçiminin bulunması problemi olarak tanımlanır. Bu iki problemten ikincisi yani spektral analizin ters problemleri, matematik, fizik, mekanik, elektronik, jeofizik, meteoroloji, sismoloji, tıp ve bu gibi başka doğa bilimlerinde ortaya çıkan önemli problemlerin çözülmesinde önemli role sahiptir (Çakır, 2007).

Sturm-Liouville operatörü için ters problemlerin gelişmesinde önemli katkı Ambartsumyan (1929) tarafından formulüze edilen ve incelenen çalışma ile olmuştur. Fakat, bu çalışmanın aksine özdeğerlerin bir kümesinin operatörün biçimini belirlemede yeterli olmadığı anlaşıldı. Örneğin; Ambartsumyan'ın özdeğerlerin tek bir kümesinin bilinmesi" koşuluna ek olarak, Borg (1946) özdeğerlerin ikinci bir kümesinin bilinmesi veya  $q(x) = q(1-x)$  koşulunun sağlanmasının operatörün biçimini belirlemede yeterli olduğunu; Gel'fand ve Levitan (1951) normlaştırıcı sabitler kümesi kullanarak potansiyel fonksiyonun tek olarak belirlenebileceğini; Hoschtadt (1973) öz fonksiyonların indis kümesi

üzerinde bir mutlak toplam olarak potansiyel fonksiyonun elde edilebileceğini gösterdiler.

Son yıllarda, ters problemlerin yeni bir sınıfı olan ters nodal problemler teorisi yazarların dikkatini oldukça çekmiştir. Ters nodal problem ilk olarak McLaughlin (1988) tarafından ele alındı. Sturm-Liouville probleminde potansiyel fonksiyonu tek olarak belirlemek için sadece nodal noktaların (öz fonksiyonların sıfırlarının) bilgisinin yeterli olduğu ispatlandı (McLaughlin, 1988; Hald ve McLaughlin, 1989). Daha sonra, bazı yazarlar tarafından dikkate değer bazı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, bazı yazarlar çalışmalarında nodal noktalar yardımıyla potansiyel fonksiyonu ve türevlerini yeniden yapılandırmıştır (Chen vd., 2002; Koyunbakan ve Panakhov, 2007; Koyunbakan ve Yılmaz, 2008; Koyunbakan, 2009, 2011; Yang, 2014; Pinasco ve Scarola, 2015). Bu çalışmalara ek olarak bazı yazarlar sınır koşullarının öz parametreye bağlı olması durumunda ters nodal problemi ele aldılar (Browne ve Sleeman, 1996; Yılmaz ve Koyunbakan, 2010; Panakhov vd., 2010; Keskin ve Özkan, 2017; Şen, 2017, 2018).

Sturm-Liouville operatörünün birden fazla potansiyel fonksiyonu kapsamı bakımından klasik Sturm-Liouville operatöründen farklı ters nodal problemler bazı yazarlar tarafından çalışılmıştır (Guseinov ve Nabiev, 2000; Guseinov v.d. 2000; Nabiev, 2010; Goktas vd., 2018). Ayrıca, Kaplan (2019) bu tip bir operatörü ayrılabilir sınır şartlarıyla birlikte göz önüne alarak nodal noktalar yardımıyla ters problemin çözümüne ulaşmıştır.

Bu çalışmada,  $0 \leq x \leq \pi$  aralığında aşağıdaki problemi ele alacağız:

$$-y'' + \{q_0(x) + \lambda q_1(x) + \lambda^2 q_2(x)\} y = \lambda^6 y, \quad (1)$$

$$y(0) = 0, \quad (2)$$

$$y'(\pi) + \lambda^2 y(\pi) = 0. \quad (3)$$

Burada,  $\lambda$  bir öz parametre ve  $q_{k-1}(x), k = \overline{1,3}$  fonksiyonları  $[0, \pi]$  aralığında reel değerli sürekli fonksiyonlardır. Bu çalışmadaki amaç, Prüfer dönüşümü yardımıyla sınır koşullarının birinde öz parametre bulunduran (1)-(3) probleminin potansiyel fonksiyonları için bir yapılandırma formülü elde etmektir.

(1)-(3) probleminin  $\lambda_n$  öz değerlerine karşılık gelen  $y_n(x) = y(x, \lambda_n)$  öz fonksiyonlarının sıfırlarının kümesi olan  $\{x_j^n\}_{j=1}^{n-1}, n \geq 2$  kümesi nodal nokta kümesi diye adlandırılır.  $l_j^n = x_{j+1}^n - x_j^n, j = \overline{1, n-1}, n \geq 2$  değerine ise nodal uzunluk adı verilir.

## 2. Özdeğer ve Nodal Parametreler için Asimptotik Formüller

Bu bölümde, (1)-(3) probleminin öz değerleri ve nodal parametreleri (nodal noktalar ve nodal uzunluklar) için asimptotik formüller verilmiştir. Bu formüllerin hesaplanmasında Prüfer dönüşümü kullanıldı. (1)

denkleminin aşikar olmayan  $y(x)$  çözümü için bu dönüşüm aşağıdaki formda yazılır:

$$y(x) = s(x) \sin(\lambda^3 \theta(x)), \quad (4)$$

$$y'(x) = \lambda^3 s(x) \cos(\lambda^3 \theta(x)) \quad (5)$$

veya

$$\frac{y'(x)}{y(x)} = \lambda^3 \cot(\lambda^3 \theta(x)). \quad (6)$$

Burada,  $s(x)$  fonksiyonu genlik(amplitude) ve  $\theta(x)$  fonksiyonu ise faz(phase) olarak adlandırılır (Birkhoff ve Rota, 1982).

Diğer taraftan,

$$\frac{y''(x)}{y(x)} = \left( \frac{y'(x)}{y(x)} \right)' + \left( \frac{y'(x)}{y(x)} \right)^2$$

eşitliği yazılabilir. Son eşitlik ile birlikte (6) eşitliği (1) denkleminde göz önüne alınırsa

$$\theta'(x) = 1 - \frac{1}{\lambda^6} (q_0(x) + \lambda q_1(x) + \lambda^2 q_2(x)) \sin^2(\lambda^3 \theta(x)) \quad (7)$$

formülü elde edilir.

Bu çalışma boyunca, (1)-(3) problemi için kurulan teoremlerin ispatında  $\lambda = \lambda_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  olduğu varsayılacaktır (Shukurov, 2009).

**Teorem 2.1.**  $n \rightarrow \infty$  iken (1)-(3) probleminin öz değerlerinin asimptotik formülü aşağıdaki biçimdedir:

$$\lambda_n^3 = n + \frac{1}{2} + O\left(\frac{1}{\sqrt[3]{n}}\right). \quad (8)$$

**İspat.** (2) sınır koşulu ve (4) ten  $\theta(0) = 0$  elde edilir. Buna ek olarak, (3) sınır koşulundan  $\frac{y'(\pi)}{y(\pi)} = -\lambda_n^2$  ve

$x = \pi$  için (4), (5) eşitliklerinden  $\frac{y'(\pi)}{y(\pi)} = \lambda_n^3 \cot(\lambda_n^3 \theta(\pi))$  elde edilir. Bu son iki eşitlik birlikte dikkate alınır

$$\theta(\pi) = \frac{1}{\lambda_n^3} \operatorname{arccot}\left(-\frac{1}{\lambda_n}\right) = \frac{1}{\lambda_n^3} \left( \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi + O\left(\frac{1}{\lambda_n}\right) \right) = \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi}{\lambda_n^3} + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right)$$

bulunur.

$[0, \pi]$  aralığında (7) eşitliğinin her iki tarafının  $x$  e göre integrali alınır

$$\begin{aligned} \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi}{\lambda_n^3} + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right) &= \pi - \frac{1}{\lambda_n^6} \int_0^\pi q_0(x) \sin^2(\lambda_n^3 \theta(x)) dx - \frac{1}{\lambda_n^5} \int_0^\pi q_1(x) \sin^2(\lambda_n^3 \theta(x)) dx \\ &\quad - \frac{1}{\lambda_n^4} \int_0^\pi q_2(x) \sin^2(\lambda_n^3 \theta(x)) dx \\ &= \pi - \frac{1}{2\lambda_n^6} \int_0^\pi q_0(x) dx - \frac{1}{2\lambda_n^5} \int_0^\pi q_1(x) dx - \frac{1}{2\lambda_n^4} \int_0^\pi q_2(x) dx \\ &\quad + \frac{1}{2\lambda_n^6} \int_0^\pi q_0(x) \cos(2\lambda_n^3 \theta(x)) dx + \frac{1}{2\lambda_n^5} \int_0^\pi q_1(x) \cos(2\lambda_n^3 \theta(x)) dx \\ &\quad + \frac{1}{2\lambda_n^4} \int_0^\pi q_2(x) \cos(2\lambda_n^3 \theta(x)) dx. \end{aligned}$$



bulunur. Bu son ifadede,

$$\cos(2\lambda_n^3\theta(x)) = \frac{1}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \frac{d}{dx} [\sin(2\lambda_n^3\theta(x))]$$

formülü dikkate alınır

$$\begin{aligned} \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi}{\lambda_n^3} + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right) &= \pi - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^\pi q_m(x) dx \\ &+ \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^\pi \frac{q_m(x)}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \frac{d}{dx} [\sin(2\lambda_n^3\theta(x))] dx. \end{aligned} \tag{9}$$

eşitliği elde edilir. (9) eşitliğinin sağındaki son üç integrale kısmi integrasyon metodu uygulanır:

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \frac{q_0(x)}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \frac{d}{dx} [\sin(2\lambda_n^3\theta(x))] dx &= \frac{q_0(x)}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \sin(2\lambda_n^3\theta(x)) \Big|_{x=0}^{x=\pi} - \frac{1}{2\lambda_n^3} \int_0^\pi \sin(2\lambda_n^3\theta(x)) d\left(\frac{q_0(x)}{\theta'(x)}\right) \\ &= O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right). \end{aligned}$$

Benzer şekilde,

$$\int_0^\pi \frac{q_1(x)}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \frac{d}{dx} [\sin(2\lambda_n^3\theta(x))] dx = O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right) \text{ ve } \int_0^\pi \frac{q_2(x)}{2\lambda_n^3\theta'(x)} \frac{d}{dx} [\sin(2\lambda_n^3\theta(x))] dx = O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right).$$

Hesaplanan bu son üç değer (9) eşitliğinde göz önüne alınır

$$\frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi}{\lambda_n^3} + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right) = \pi - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^\pi q_m(x) dx + O\left(\frac{1}{\lambda_n^7}\right)$$

veya

$$\frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi}{\lambda_n^3} = \pi + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right)$$

elde edilir. Buradan,  $\frac{1}{1 \mp O(h(n))} = 1 + O(h(n))$  özelliği yardımıyla

$$\lambda_n^3 = \left(n + \frac{1}{2}\right) \left(1 + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right)\right)$$

formülü elde edilir. Diğer taraftan, bu son eşitlikte  $n \rightarrow \infty$  için limit alınır  $\lambda_n \approx \left(n + \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$  yaklaşık değeri bulunur.  $\lambda_n$  nın bu yaklaşık değeriyle birlikte, teorem 2.1 ispatlanmış olur.

**Teorem 2.2.**  $n \rightarrow \infty$  iken (1)-(3) probleminin nodal noktaları için asimptotik formül aşağıdaki biçimdedir:

$$x_j^n = \frac{j\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) dt + O\left(\frac{1}{\lambda_n^7}\right).$$

**İspat.**  $x = x_j^n$  olduğunu varsayalım. Bu durumda,  $x = x_j^n$  lar nodal noktalar (öz fonksiyonların sıfırları) olduğundan  $y(x_j^n) = 0$  dır. Bu durum, (4) eşitliğinde dikkate alınır  $\theta(x_j^n) = \frac{j\pi}{\lambda_n^3}$  değeri elde edilir.

$[0, x_j^n]$  aralığında (7) eşitliğinin her iki tarafının  $x$  göre integrali alınır

$$\frac{j\pi}{\lambda_n^3} = x_j^n - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) \sin^2(\lambda_n^3\theta(t)) dt$$

veya

$$\begin{aligned}
 x_j^n &= \frac{j\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) dt - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) \cos(2\lambda_n^3 \theta(t)) dt \\
 &= \frac{j\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) dt - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} \frac{q_m(t)}{2\lambda_n^3 \theta'(t)} d[\sin(2\lambda_n^3 \theta(t))]
 \end{aligned} \tag{10}$$

elde edilir.

(10) eşitliğinin sağındaki son üç integrale kısmi integrasyon metodu uygulanırsa, bu durumda  $m = \overline{0,2}$  için

$$\int_0^{x_j^n} \frac{q_m(t)}{2\lambda_n^3 \theta'(t)} d[\sin(2\lambda_n^3 \theta(t))] = -\frac{1}{2\lambda_n^3} \int_0^{x_j^n} \sin(2\lambda_n^3 \theta(t)) d\left(\frac{q_m(t)}{\theta'(t)}\right) = O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right)$$

bulunur. Bu nedenle

$$\sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} \frac{q_m(t)}{2\lambda_n^3 \theta'(t)} d[\sin(2\lambda_n^3 \theta(t))] = \frac{1}{\lambda_n^6} O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right) + \frac{1}{\lambda_n^5} O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right) + \frac{1}{\lambda_n^4} O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right) = O\left(\frac{1}{\lambda_n^7}\right)$$

dir. Bu son ifade (10) eşitliğinde dikkate alınırsa, aşağıdaki formül elde edilir:

$$x_j^n = \frac{j\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_0^{x_j^n} q_m(t) dt + O\left(\frac{1}{\lambda_n^7}\right).$$

Dolayısıyla, teorem 2.2 nin ispatı tamamlanır.

**Teorem 2.3.**  $n \rightarrow \infty$  iken (1)-(3) probleminin nodal uzunlukları için asimptotik formül aşağıdaki biçimdedir:

$$l_j^n = \frac{\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt + O\left(\frac{1}{\lambda_n^{10}}\right). \tag{11}$$

**İspat.** Yeterince büyük  $n \in \mathbb{N}$  için,  $[x_j^n, x_{j+1}^n]$  aralığında (7) eşitliğinin her iki tarafının  $x = t$  e göre integrali alınırsa

$$\begin{aligned}
 \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} \theta'(t) dt &= \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} \left(1 - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{\lambda_n^{6-m}} q_m(t) \sin^2(\lambda_n^3 \theta(t))\right) dt \\
 \theta(x_{j+1}^n) - \theta(x_j^n) &= l_j^n - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) \sin^2(\lambda_n^3 \theta(t)) dt \\
 \frac{\pi}{\lambda_n^3} &= l_j^n - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) \cos(2\lambda_n^3 \theta(t)) dt
 \end{aligned}$$

veya

$$l_j^n = \frac{\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt - \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) \cos(2\lambda_n^3 \theta(t)) dt \tag{12}$$

elde edilir.

Bu son eşitliğin sağ tarafındaki son eşitlikte son üç integral için yukarıdaki teoremlerde kullanılan benzer işlemler uygulanırsa,  $m = 0, 2$  için

$$\begin{aligned} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) \cos(2\lambda_n^3 \theta(t)) dt &= \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} \frac{q_m(t)}{2\lambda_n^3 \theta'(t)} d[\sin(2\lambda_n^3 \theta(t))] \\ &= -\frac{1}{2\lambda_n^6} \int_{j\pi}^{(j+1)\pi} \sin(2\xi) \frac{d}{dt} \left( \frac{q_m(t)}{\theta'} \right) d\xi \\ &= O\left(\frac{1}{\lambda_n^6}\right) \end{aligned}$$

bulunur. Burada,  $\xi = \lambda_n^3 \theta(t)$  için  $dt = \frac{d\xi}{\lambda_n^3 \theta'(t)}$  dir. Bu nedenle,

$$\sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) \cos(2\lambda_n^3 \theta(t)) dt = O\left(\frac{1}{\lambda_n^{10}}\right)$$

dir.

Bu son eşitlik (12) eşitliğinde dikkate alınır, aşağıdaki formül elde edilir:

$$l_j^n = \frac{\pi}{\lambda_n^3} + \sum_{m=0}^2 \frac{1}{2\lambda_n^{6-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt + O\left(\frac{1}{\lambda_n^{10}}\right).$$

Dolayısıyla, teorem 2.3 ispatlanır.

Goktas vd., (2018) yapmış oldukları çalışmada kullanılan yöntem benzer olarak,  $k = 3$  için (11) eşitliği

$$l_j^n = \frac{\pi}{\lambda_n^k} + \sum_{m=0}^{k-1} \frac{1}{2\lambda_n^{2k-m}} \int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt + O\left(\frac{1}{\lambda_n^{3k+1}}\right), \tag{13}$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Bu düzenleme  $q_{k-1}(x) \in C[0, \pi]$ ,  $k = \overline{1, 3}$  fonksiyonları için elde edilecek bir yapılandırma formülü için önemlidir. Dikkat edilirse, burada  $\lambda_n$  özdeğeri Goktas vd., (2018) çalışmasında hesaplanan özdeğerlerin ifadesinden farklı olarak teorem 2.1’de tanımlanmıştır. Bu nedenle,  $l_j^n$  nin (13) deki ifadesi, Goktas vd., (2018) çalışmasındakine şeklen benzese de tamamen farklıdır. Sonuç olarak, aşağıdaki teorem 3.1 ifadesinde ve ispatında  $\lambda_n^3 = n + \frac{1}{2} + O\left(\frac{1}{\sqrt[3]{n}}\right)$  olduğu dikkate alınacaktır.

### 3. Potansiyel Fonksiyonlar için Yapılandırma Formülü

Bu bölümde, nodal uzunluklar için elde edilen asimptotik formül yardımıyla (1) denkleminin potansiyel fonksiyonlarının belirgin bir formülü verilmiştir.

**Teorem 3.1.**  $q_{k-1}(x) \in C[0, \pi]$ ,  $k = \overline{1, 3}$  olsun. Bu durumda,  $j = j_n(x) = \max\{j : x_j^n < x\}$  olmak üzere  $n \rightarrow \infty$  iken (1)-(3) probleminin potansiyel fonksiyonları aşağıdaki biçimdedir:

$$q_{k-1}(x) = 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \lambda_n^{k+1} - \lambda_n^{k-1} + \frac{\pi}{l_j^n} (1 - \lambda_n) \right), \quad k = \overline{1, 3}.$$

**İspat.** (13) denklemindeki integraller için ortalama değer teoremi uygulanırsa,

$$l_j^n = \frac{\pi}{\lambda_n^k} + \sum_{m=0}^{k-1} \frac{1}{2\lambda_n^{2k-m}} q_m(z) l_j^n + O\left(\frac{1}{\lambda_n^{3k+1}}\right)$$

veya

$$\sum_{m=0}^{k-1} \lambda_n^m q_m(z) = 2\left(\lambda_n^{2k} - \frac{\lambda_n^k \pi}{l_j^n}\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^{k+1}}\right) \tag{14}$$

elde edilir. Burada,  $\lambda_n$  teorem 2.1 de tanımlanmıştır ve  $(x_j^n, x_{j+1}^n)$  aralığında en az bir  $z$  sayısı vardır ki

$$\int_{x_j^n}^{x_{j+1}^n} q_m(t) dt = q_m(z) \cdot l_j^n \text{ dir.}$$

$k = 1$  için, (14) eşitliğinden

$$q_0(z) = 2\left(\lambda_n^2 - \frac{\lambda_n \pi}{l_j^n}\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^2}\right) \tag{15}$$

bulunur ki burada  $n \rightarrow \infty$  için

$$q_0(x) = 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\lambda_n^2 - \frac{\lambda_n \pi}{l_j^n}\right)$$

fonksiyonu elde edilir.

Benzer şekilde,  $k = 2$  için, (14) ve (15) eşitliklerinden

$$q_0(z) + \lambda_n q_1(z) = 2\left(\lambda_n^4 - \frac{\lambda_n^2 \pi}{l_j^n}\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right)$$

veya

$$q_1(z) = 2\left(\lambda_n^3 - \lambda_n + \frac{\pi}{l_j^n}(1 - \lambda_n)\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^3}\right) \tag{16}$$

bulunur ki burada  $n \rightarrow \infty$  için

$$q_1(x) = 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\lambda_n^3 - \lambda_n + \frac{\pi}{l_j^n}(1 - \lambda_n)\right)$$

fonksiyonu elde edilir.

Son olarak,  $k = 3$  için, (14), (15) ve (16) eşitliklerinden

$$q_0(z) + \lambda_n q_1(z) + \lambda_n^2 q_2(z) = 2\left(\lambda_n^6 - \frac{\lambda_n^3 \pi}{l_j^n}\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right)$$

veya

$$q_2(z) = 2\left(\lambda_n^4 - \lambda_n^2 + \frac{\pi}{l_j^n}(1 - \lambda_n)\right) + O\left(\frac{1}{\lambda_n^4}\right) \tag{17}$$

bulunur ki burada  $n \rightarrow \infty$  için

$$q_2(z) = 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\lambda_n^4 - \lambda_n^2 + \frac{\pi}{l_j^n}(1 - \lambda_n)\right)$$

fonksiyonu elde edilir. Dolayısıyla, teorem 3.1 ispatlanır.

#### 4. Sonuç

Matematiksel fizik problemlerinde kısmi türevli diferensiyel denklemlerle karşılaşmaktadır. Fiziksel bir sürecin matematiksel bir tanımını yapmak için bu süreci tek olarak belirleyen bazı koşullara da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşullara, başlangıç veya sınır koşulları denmektedir. Bu tür problemler bazı metotlar yardımıyla öz parametre içeren adi diferensiyel denklemlere dönüştürülmektedir. Bu denklemlerden biri de Sturm-Liouville denklemdir. Mevcut çalışmada, Sturm-Liouville denklemi birden fazla fonksiyon içermesi bakımından klasik Sturm-Liouville denkleminde farklıdır. Buna ek olarak, problemin sınır koşullarının birinde öz parametre bulunmaktadır. Bu tür problemler için ters problem çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır. Bu çalışmada ise Prüfer dönüşümü kullanılmıştır. Bu dönüşüm yardımıyla, özdeğerlerin ve nodal parametrelerin asimptotik formülleri elde edilmiştir. Bu asimptotik formüllerin bilgisiyle, çalışmada ele alınan lineer operatörün biçimi bulunmuştur.

#### Kaynaklar

- Ambartsumyan, V.A., 1929. Über eine Frage der Eigenwerttheorie. Zeitschrift für Physik, 53, 690-695.
- Birkhoff, G. ve Rota, G.C., 1989. Ordinary Differential Equations, 4 edition: Ginn, John Wiley & Sons, 416p.
- Borg, G., 1946. Eine Umkehrung der Sturm-Liouvilleschen Eigenwertaufgabe. Acta Mathematica, 78(1), 1-96.
- Browne, P.J. ve Sleeman, B.D., 1996. Inverse Nodal Problems for Sturm-Liouville Equations with Eigenparameter Dependent Boundary Conditions. Inverse Problems, 12, 377-381.
- Chen, Y.T., Cheng, Y. H., Law, C.K. ve Tsay J., 2002. L1 Convergence of the Reconstruction Formula for the Potential Function. Proceedings of the American Mathematical Society, 130, 2319-2324.
- Çakır, A., 2007. Kompleks Potansiyele Sahip Sturm-Liouville Operatörleri için Ters Saçılma Problemi ve Bazı Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta, 58s.
- Gel'fand, I.M. ve Levitan, B.M., 1951. On the Determination of a Differential Equation from Its Spectral Function. Izvestiya Akademii Nauk

SSSR Seriya Matematicheskaya, 15(4), 309-360.

- Goktas S., Koyunbakan H. ve Gulsen T., 2018. Inverse Nodal Problem for Polynomial Pencil of Sturm-Liouville Operator. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 41, 7576-7582.
- Guseinov, I.M., Nabiev A.A. ve Pashaev R.T., 2000. Transformation Operators and Asymptotic Formulas for the Eigenvalues of a Polynomial Pencil of Sturm-Liouville Operators. Sibirskii Matematicheskii Zhurnal, 41, 554-566.
- Guseinov, I.M. ve Nabiev A.A., 2000. A Class of Inverse Problems for a Quadratic Pencil of Sturm-Liouville Operators. Differentsial'nye Uravneniya, 36(3), 418-420.
- Hald, O.L. ve McLaughlin, J.R., 1989. Solutions of Inverse Nodal Problems. Inverse Problems, 5, 307-347.
- Hoschtadt, H., 1973. The Inverse Sturm-Liouville Problem. Communications Pure and Applied Mathematics, 26, 715-729.
- Kaplan, M., 2019. n-Potansiyel İçeren Sturm-Liouville Operatörü için Ters Nodal Problem. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ, 25s.
- Keskin, B. ve Özkan, A.S., 2017. Inverse Nodal Problems for Impulsive Sturm-Liouville Equation with Boundary Conditions Depending on the Parameter. Advances in Analysis, 2(3), 151-156.
- Koyunbakan, H., 2009. Reconstruction of Potential Function for Diffusion Operator. Numerical Functional Analysis and Optimization, 30(1-2), 1-10.
- Koyunbakan, H., 2011. Inverse Problem for a Quadratic Pencil of Sturm-Liouville Operator. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 378, 549-554.
- Koyunbakan, H. ve Panakhov, E.S., 2007. Half Inverse Problem for Diffusion Operators on the Finite Interval. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 326, 1024-1030.
- Koyunbakan, H. ve Yılmaz, E., 2008. Reconstruction of the Potential Function and Its Derivatives for the Diffusion Operator. Verlag der Zeitschrift für Naturforsch, 63a, 127-130.
- McLaughlin, J.R., 1988. Inverse Spectral Theory Using Nodal Points as Data – A Uniqueness Result. Journal of Differential Equations, 73, 354-362.
- Nabiev A.A., 2010. On a Fundamental System of Solutions of the matrix Schrödinger Equation with a Polynomial Energy-Dependent Potential.



Mathematical Methods in the Applied Sciences, 33(11), 1372-1383.

Panakhov, E.S., Koyunbakan, H. ve İc, U., 2010. Reconstruction Formula for the Potential Function of Sturm–Liouville Problem with Eigenparameter Boundary Condition. Inverse Problems in Science and Engineering, 18 (1), 173–180.

Pinasco, J.P. ve Scarola, C.A., 2015. Nodal Inverse Problem for Second Order Sturm-Liouville Operators with Indefinite Weights. Applied Mathematics and Computation, 256, 819-830.

Shukurov, A. Sh., 2009. The Inverse Problem for a Diffusion Operator. Proceeding of IMM of NAS of Azerbaijan, 30, 105-110.

Şen, E., 2017. A Regularized Trace Formula and Oscillation of Eigenfunctions of a Sturm-

Liouville Operator with Retarded Argument at 2 Points of Discontinuity. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 40(18), 7051-7061.

Şen, E., 2018. Computation of Trace and Nodal Points of Eigenfunctions for a Sturm-Liouville Problem with Retarded Argument. Cumhuriyet Science Journal, 39(3), 597-607.

Yang, C. F., 2014. Inverse Nodal Problems for the Sturm–Liouville Operator with a Constant Delay. Journal of Differential Equations, 257(4), 1288-1306.

Yılmaz E. ve Koyunbakan H., 2010. Reconstruction of Potential Function and Its Derivatives for Sturm–Liouville Problem with Eigenvalues in Boundary Condition. Inverse Problems in Science and Engineering, 18(7), 935–944.

## Kalıp Tasarımının Isıl Şekillendirilmiş Ambalajın Kalınlık Dağılımı Üzerine Etkisi

### *The Effect of Plug Design on Thickness Distribution of Thermoformed Package*

**Olçay EKŞİ<sup>\*a</sup>, Neslihan YAVUZ<sup>b</sup>**

*Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 39100, Kırklareli*

• Geliş tarihi / Received: 25.02.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 06.05.2020

#### **Öz**

Isıl şekillendirme prosesi gerek otomotiv gerekse ambalaj sanayiinde en çok kullanılan proseslerden biridir. Bu çalışmada, Polivinil klorür (PVC) filmlerin, erkek kalıpla ısıl şekillendirme sonrası kalınlık dağılımları belirlenmiştir. Erkek kalıbın çapı ve erkek kalıbın dişi kalıp içerisindeki dalma derinliği artırılarak bir dizi ısıl şekillendirme işlemi yapılmış ve numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerdeki kalınlık dağılımı karşılaştırmalı olarak grafik yöntemle incelenmiştir. Erkek kalıp çapının ve erkek kalıbın dişi kalıp içerisindeki dalma derinliğinin artırılmasının ısıl şekillendirilen yarı mamullerde özellikle yan duvar ve taban kalınlık dağılımını değiştirdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Isıl Şekillendirme, Kalınlık Dağılımı, Kalıp Tasarımı

#### **Abstract**

*Thermoforming process is one of the most used processes in both automotive and packaging industry. In this study, thickness distributions of Polyvinyl chloride (PVC) sheets were determined after plug assisted thermoforming. By increasing the diameter of the plug and the plug depth inside the female mould, a series of thermoforming operation were performed and plug assisted thermoformed samples were obtained. Thickness distribution in thermoformed samples was examined comparatively using graphical method. It has been found that increasing the diameter of plug and the plug depth, changes thickness distribution particularly in the side wall and bottom of thermoformed semi-finished samples.*

**Keywords:** Thermoforming, Thickness Distribution, Plug Design

<sup>\*a</sup> Olçay EKŞİ; olcayeksi@klu.edu.tr, Tel: (0544) 293 38 43, orcid.org/0000-0002-2433-6700

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5232-6489

## 1. Giriş

Isıl şekillendirme dünya çapında farklı endüstriyel ürünlerin elde edilmesinde kullanılan bir üretim yöntemidir. Bu proses elektrik-elektronik, sağlık, inşaat, ambalajlama ve otomotiv başta olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle termoplastik levha yâda film malzemelerin geniş yüzey alanlı yarı mamullere dönüştürülmesinde çevrim zamanı ve maliyet açısından oldukça verimlidir. Rakip üretim yöntemlerinden, enjeksiyon kalıplama, plastik ekstrüzyon ve ekstrüzyon şişirme kalıplama yöntemlerine nazaran makine ve kalıp maliyetleri dikkate alındığında avantajlı bir prosestir (Penix, 1991; Throne, 1996; Crawford, 1998; Rosato vd., 2001;) Bunun yanında ısıl şekillendirme yöntemiyle elde edilen ürünlerin kalınlık dağılımlarının her noktasında aynı olmaması ve ürün kalıptan alındıktan sonra istenmeyen kısımların kesilerek atılması gibi ek işlemler bu yöntemin zayıf yönleridir. Kalınlık dağılımının ısıl şekillendirilmiş ürünlerde her noktada farklı olması ürünün dayanımını etkiler. Eğer ısıl şekillendirilmiş ürün bir gıda ambalajı ise, farklı kalınlık değerleri, farklı gaz ve oksijen geçirgenliği anlamına geleceği için ambalajlanan gıdanın raf ömrünü değiştirir. Dolayısıyla ısıl şekillendirilmiş ürünün kalitesi söz konusu olduğunda kalınlık dağılımının mümkün olduğu kadar ilk levha yâda film kalınlığına yakın olması bir gerekliliktir (Rosato ve Rosato, 2004; Barry vd., 2006; Pribble, 2013; Schwarzman ve Illig, 2018). Isıl şekillendirme yönteminde termoplastik hammadde etkin sızdırmazlığın sağlanması için öncelikle tutucu çerçeve tarafından sabitlenir. Sabitlenen hammadde farklı ısıtma teknikleriyle (fırında ısıtma, radyant ısıtıcılar ile ısıtma, kızılötesi ısıtma vb.) ısıtılabilir. Hammaddenin türüne göre uygun şekil verme sıcaklığına ulaşan ve tutucu çerçeve tarafından sabitlenen levha yâda film malzeme, dişi kalıp üzerine yerleştirilir. Vakum, pozitif hava basıncı ve/veya erkek kalıp kullanılarak tercihen bir ön gerdirmeye sonrası hammadde şekillendirilir. Soğuyarak katılaştıktan sonra kalıptan alınan yarı mamul istenmeyen kısımların kesilip atıldığı bir kesme kalıbı kullanılarak son şeklini alır. Erkek kalıp kullanılmayarak sadece vakum etkisinde ısıl şekillendirme yapılabilir. Bu durumda yöntem vakumla ısıl şekillendirme adını alır. Literatürde vakum ve ısı ile şekil verme yöntemi ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. O'Connor vd. (2013), ısıl şekillendirmeyi etkileyen parametrelerin daha iyi anlaşılması için yüksek sıcaklıkta iki eksenli deney verilerine dayanan, Polipropilen için termal davranışı da içine alan bir malzeme modeli öngörerek sonlu elemanlar yöntemini kullanmış,

erkek kalıp kullanarak ısıl şekillendirme yönteminin simülasyonu üzerine çalışmıştır. Çalışmaların sonucunda, gerçekleştirilen modellemenin iki eksenli deneysel verilere iyi bir şekilde uyum sağladığı gözlenmiş ve modellenmenin doğruluğu, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada erkek kalıp ile hammadde arasındaki sürtünmenin etkili parametrelerden biri olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra ısı transfer parametrelerinin de etkili olduğu belirlenmiştir. Hosseini vd. (2006), polimer içinde elastik deformasyonların heterojen bir şekilde birikmesi sonucu soğumanın ve gerilme gevşemesinin farklı hızlarda gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Bunun bir sonucu olarak test edilen üründe çarpılmalar meydana gelmiştir. Çarpılmaları en az seviyeye indirmek ya da mümkün olduğu durumlarda tamamen gidermek için elastik deformasyonların en az miktarda olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için iki aşamadan oluşan kalıp tasarlanmış ve kullanılmıştır. Morales vd. (2014), ısıl şekillendirilmiş bir parçanın, farklı üretim parametrelerinin değişiminden nasıl etkilendiğini araştırmıştır. Levha sıcaklığı, erkek kalıp malzemesi, erkek kalıp sıcaklığı, yüzey kalitesi, erkek kalıbın geometrisi ve hava basıncı değeri incelenen parametreler olarak belirlenmiştir. Erkek kalıbın malzemesinin değiştirilmesi sonucu; levha, erkek kalıba yapışabilmektedir. Bu durum, kalınlık dağılımını belirlemede sürtünmeye göre daha fazla rol oynamaktadır. Chen vd. (2008), 0.125 ve 0.2 mm kalınlıklardaki Polikarbonat (PC) filmlere ısıl şekillendirme yöntemiyle şekil vermiştir. Isıl şekillendirme gerçekleştirilirken, dişi kalıp sıcaklığı, erkek kalıp dalma derinliği, erkek kalıbın hızı, film malzemenin sıcaklığı ve erkek kalıbın bekleme süresi etkin parametreler olarak seçilmiş ve bunların kalınlık dağılımına etkileri incelenmiştir. Isıl şekillendirme ile oluşturulan yarımamullerin yan duvar kalınlıklarındaki değişimin artan dişi kalıp sıcaklığı, film malzeme sıcaklığı, erkek kalıp dalma derinliği ve erkek kalıp bekleme süresiyle arttığı, artan erkek kalıp hızıyla azaldığı belirlenmiştir. Moustafa vd. (2015), taşıyıcı ceppli bant üretimini ısıl şekillendirme ile denemiştir. Kalıp malzemesinin termal iletkenliğinin, ısıl şekillendirilmiş ürünün duvar kalınlık dağılımına etkisini incelemek amacıyla dört farklı kalıp takım malzemesi kullanılmıştır. Kalıp malzemesinin termal iletkenliğinin yüksek olması ve şekillendirme sıcaklığının sabit tutulması daha düzgün kalınlık dağılımına sahip taşıyıcı bant üretmeyi sağladığı aktarılmıştır. Wang ve Nied (1999), ısıl şekillendirme yönteminde polimer levhanın ısıtılması sonrasında sıcaklık kontrolü yaparak dağılımı optimize etmiş ve ısıl

şekillendirilmiş üründe daha iyi kalınlık dağılımı sağladığını gözlemlemiştir.

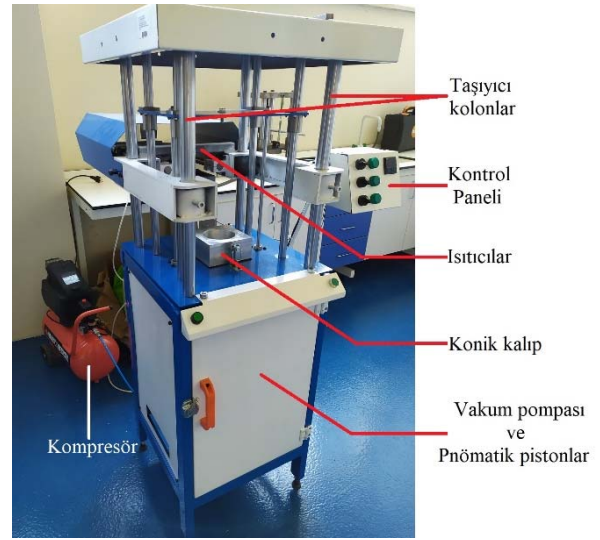
Ulusal literatürde erkek kalıp kullanarak ısıl şekillendirme ile ilgili oldukça sınırlı kaynak bulunmaktadır. Mevcut çalışmalarında daha ziyade ısıl şekillendirilen ürün ve toplam kalitesini etkileyen parametreler hakkında olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak, seri imalat ile üretim yapan birçok ambalaj firmasında kullanılan erkek kalıp malzemesi, çoğunlukla ısıl iletkenliği oldukça düşük termoplastik, termoset ya da belirli oranlarda karışımlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada ise, ısıl iletkenliği yüksek olan C1040 çelik malzeme seçilmiştir. Özellikle gıda ambalajlama makinelerinde kullanılan erkek kalıpların boyutları hemen hemen dişi kalıp boyutlarındadır. Erkek kalıp ve polimer levha-film, şekil verme esnasında dişi kalıbın iç yüzeyine ya temas eder ya da temas edecek kadar yakındır. Yine sektördeki çoğu ambalajlama makinesi pozitif hava basıncı kullanarak erkek kalıp ile ısıl şekillendirme yapmaktadır. Bu işlemlerde basınç 1 barın üzerine çıkabilmektedir. Mevcut çalışmada ise erkek kalıbın malzemesi, çapı ve dişi kalıp içerisindeki dalma derinliği değiştirilerek ürün kalınlık dağılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buna ek olarak şekil verme işlemi vakum kullanılarak gerçekleştirilmiş ve en yüksek basınç değeri 1 bar basıncın altında kalmıştır.

Bu çalışmada, PETKİM Petvinil S 23/59 renksiz şeffaf PVC film malzeme kullanılmıştır. 0.5 mm kalınlığa sahip PVC kullanılarak ilkin erkek kalıp kullanılmadan sadece vakum altında dişi kalıpla ısıl şekillendirme yapılmıştır. Ardından kalınlık dağılımı belirlenmiştir. Erkek kalıbın dişi kalıp içerisinde dalma derinliği için 35 mm seçilerek, 30, 35, 40, 45 ve 50 mm çaplı erkek kalıplar ile ısıl şekillendirme ile numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin kalınlık dağılımları grafik yöntemle belirlenmiştir. Erkek kalıp çapı 40 mm seçilerek dalma derinliği 25, 30, 35, 40 ve 45 mm olarak seçilmiş ve ısıl şekillendirme ile numuneler elde edilmiştir. Numunelere ait kalınlık dağılımı yine grafik yöntemle belirlenmiştir. Erkek kalıp çapının ve erkek kalıbın dişi kalıp içerisindeki dalma derinliğinin artırılmasının ısıl şekillendirilen yarı mamullerde özellikle yan duvar ve taban kalınlık dağılımını değiştirdiği tespit edilmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Çalışmada 0.5 mm kalınlığında şeffaf süspansiyon PVC (yoğunluk:0.56-0.62gr/cm<sup>3</sup>) film kullanılmıştır. Isıl şekillendirme, OYSAN Makine A.Ş tarafından üretilen laboratuvar tipi şekil verme

ünitesinde gerçekleştirilmiştir. 0.5 mm kalınlığa sahip PVC film malzeme şekillendirme öncesinde 150 x 150 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Isıl şekillendirme ünitesi Şekil 1’de gösterilmektedir. Isıl şekillendirme ünitesi kompresör, vakum pompası, pnömomatik regülatör ve pistonlar, ısıtıcılar, taşıyıcı kolonlar ve elektrik sisteminden oluşmaktadır. Isıtıcılar hareketli tipte olmakla beraber 25 x 25 cm<sup>2</sup> ısıtma alanına sahiptir. 3 adet konkav seramik rezistans ısıtıcıları teşkil etmektedir. Isıtıcı sıcaklığı 500 C°’ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 1. Laboratuvar tipi ısıl şekillendirme ünitesi

Film malzeme ilk olarak dişi kalıp üst yüzeyine yerleştirilir. Sonra tutucu çerçeve ile kalıp üst yüzeyine bastırılarak sıkıştırılır. Isıtıcılar çekilerek PVC film malzemenin ısıtılması için uygun konuma getirilir. 250 C° sıcaklığa sahip ısıtıcılar belirlenen süre boyunca PVC film malzemeyi belirlenen sıcaklığa kadar ısıtır. Isıtıcılar eski konumuna itilir. Pnömomatik tahrik ile erkek kalıp aşağı yönde belirlenen derinlikte hareket eder ve ön gerdirme işlemi tamamlanmış olur. Erkek kalıp film ile hala temasta iken vakum pompası çalıştırılarak, filmin dişi kalıbın şeklini alması sağlanır. Erkek kalıp yukarı yönlü hareket ederek eski konumuna geri döner. Vakum, numune şekillendikten 5 saniye sonra kesilir. Bu bekleme, numunenin vakum altında soğuyarak katılaşmasını sağlar ve çarpılmayı azaltmak içindir. Isıl şekillendirme öncesinde tutucu, film malzeme ve kalıp montajı Şekil 2’de gösterilmektedir.

Deneysel çalışmada konik geometrili 2024 serisi alüminyum dişi kalıp kullanılmıştır. Erkek kalıp malzemesi olarak C1040 çeliği seçilmiştir.



Şekil 2. Tutucu, PVC film ve konik dişi kalıp

Çalışmada kullanılan erkek kalıbın farklı çaptaki dairesel başlıkları ve derinlik ayarı için kullanılan burçlar, Şekil 3'te montajı ise Şekil 4'te verilmiştir.

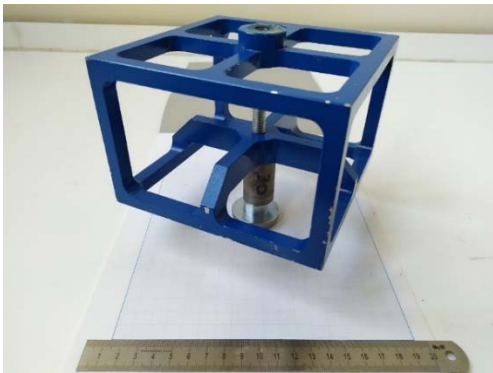


(a)



(b)

Şekil 3. (a) Erkek kalıbın farklı çaptaki dairesel zımbaları [mm], (b) Erkek kalıbın dalma derinliğini ayarlayan farklı yükseklikteki burçlar [mm]



Şekil 4. Erkek kalıp montajı

Çalışmada kullanılan dişi ısıl şekillendirme kalıbı alüminyumdan Talaşlı şekil verme yöntemiyle belirli bir kritere göre tasarlanarak üretilmiştir.

Kalıp boşluğunun yan duvarlarının draft açısı  $15^\circ$  olarak tasarlanmıştır. İç çap değeri 100 mm, derinlik ise 50 mm olarak belirlenmiştir. Isıl şekillendirme prosesinde üç farklı kritere göre ürün tasarımı, yani kalıp tasarımı yapılabilir. Bunlardan ilki alansal çekme oranı (Areal draw ratio), diğeri doğrusal ya da çizgisel çekme oranı (Linear draw ratio) ve sonuncusu ise ısıl şekillendirilen ürünün birbirine dik dış boyutlarının oranı olan (h:d) oranıdır (Throne, 1996). Bu kriterler bir ürünün pratik olarak ısıl şekillendirilebilir olup olmadığını ortaya koyabilmek için çıkarılmış eşitliklerdir. Erkek kalıbın kullanılması ve kullanılmaması durumunda bu eşitlikler farklı uygulanır. Ancak çalışmada kullanılan kalıbın kavite yüksekliğinin çapına oranı 1:2 olarak özel bir oran seçilmiş ve bu oranda üretilmiştir.  $\frac{1}{2}$  oranı sınır bir değerdir. Bu oran küçüldüğünde, ürün sıg (shallow) olarak isimlendirilir. Keza bu oran büyüdüğünde ürün derin (deep) olarak nitelendirilir. Isıl şekillendirme prosesinin ismini de çoğu durumda bu oran belirler. Dişi kalıbın taban çapı yaklaşık olarak 73 mm'dir. Erkek kalıp çapının ise en büyük değeri 50 mm olarak seçilmiştir. Hedef, erkek kalıp ile dişi kalıp arasında en az 10 mm boşluk kalmasını sağlayabilmektir. Bu yüzden erkek kalıbın en büyük çap değeri 50 mm seçilerek 5'er mm'lik düşüş ile 45, 40, 35, ve 30 mm seçilmiştir.

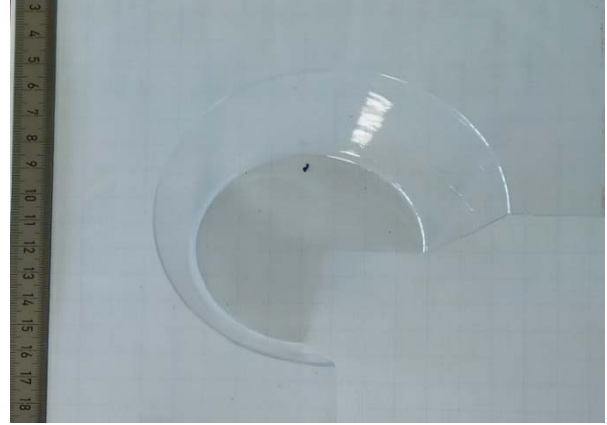
Endüstriyel kullanımda ısıl iletkenliği ve sürtünme katsayısı oldukça düşük polimer bazlı erkek kalıp malzemeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise, C1040 gibi ısıl iletkenliği oldukça yüksek ve universal tezgâhlar ile kolayca işlenebilecek erkek kalıpların üretilmesi amaçlanmıştır. Derinlik seçiminde ise 0-50 mm aralığı belirlenmiştir. Isıtılan PVC filmin, erkek kalıp temas etmeden önce yer çekimi etkisiyle, neredeyse 10-15 mm sarktığı tespit edilmiştir. Erkek kalıbın PVC filme etkin temasını sağlamak açısından dişi kalıbın üst yüzeyinden başlayarak 25, 30, 35, 40, 45 mm derinlik değerleri seçilmiştir. Çapın değişiminin etkisini incelemek için derinlik değeri sabit ve 5 farklı derinlik değerinden ortalama bir değer olan 35 mm, dalma derinliğinin etkisini incelemek için ise, yine 5 farklı çap değerinden ortalama değer olan 40 mm değeri seçilmiştir.

Isıl şekillendirilmiş ürünün kalınlık dağılımını etkileyen en önemli unsurlardan biri de sıcaklık dağılımıdır. Isıtıcı sıcaklığı PVC filmin degradasyonunu engellemek amacıyla  $250\text{ C}^\circ$ 'de sınırlandırılmıştır. Isıtma süresi ise seçilen erkek kalıp çapı ve dalma derinliği için başarılı bir ısıl şekillendirme operasyonu sonrasında her durum için ayrı belirlenmiştir. Isıtma işlemi sonrasında PVC film üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı



TESTO 871 Termal kamera kullanılarak belirlenmiştir. Özellikle erkek kalıpla şekil verme işlemlerinde ısıtma süreleri tespit edilmiş ve şekil vermenin hemen öncesinde termal görüntüler kaydedilerek ortalama sıcaklık belirlenmiştir. Artan erkek kalıp çapı ısıtma sürelerini artırmakta keza artan dalma derinliği de ısıtma sürelerini artırmaktadır. Artan ısıtma süreleri ısıllı şekillendirme sıcaklıklarını da artırmaktadır. Elde edilen ısıllı şekillendirilmiş konik PVC numunelerin dörtte biri kesip alınarak, bu çeyrek numune üzerinde kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Kalınlık dağılımının belirlenebilmesi için seçilen her ısıllı şekillendirme parametresi için 3 adet numune üretilmiş ve ortalama kalınlık değerleri alınmıştır. Numunenin tabanının merkezinden başlayarak toplam 28 farklı noktada, LYK 5318 Kalınlık komparatörü (hassasiyet:0.001mm) kullanılarak kalınlık dağılımı belirlenmiştir. Kalınlık ölçme cihazının ve ısıllı şekillendirilmiş numunelerin boyutları dikkate alınarak, 28 farklı nokta belirlenmiş ve kalınlık ölçümü yapılmıştır. ısıllı

şekillendirilmiş PVC konik numune Şekil 5'te verilmiştir. Ek olarak, ısıllı şekillendirme işleminin parametreleri Tablo 1'de verilmektedir.



**Şekil 5.** Isıllı şekillendirilmiş ve kalınlık ölçümü yapılmış PVC numune

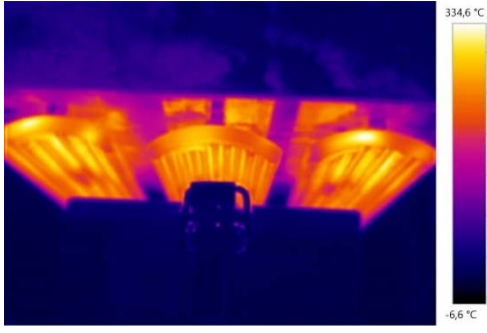
**Tablo 1.** PVC film malzemeye ait ısıllı şekillendirme parametreleri

Çap değeri (mm)	Dalma derinliği (mm)	Isıtma süresi (s)	Vakum değeri (mm.hg)	Isıtıcı sıcaklığı (C <sup>0</sup> )
<b>Dişi kalıpla ısıllı şekillendirme</b>				
-	-	30	640-660	250
<b>Sabit dalma derinliği(35 mm) ile ısıllı şekillendirme</b>				
30	35	60	640-660	250
35	35	75	640-660	250
40	35	90	640-660	250
45	35	105	640-660	250
50	35	120	640-660	250
<b>Sabit çap(40 mm) ile ısıllı şekillendirme</b>				
40	25	90	640-660	250
40	30	105	640-660	250
40	35	105	640-660	250
40	40	120	640-660	250
40	45	120	640-660	250

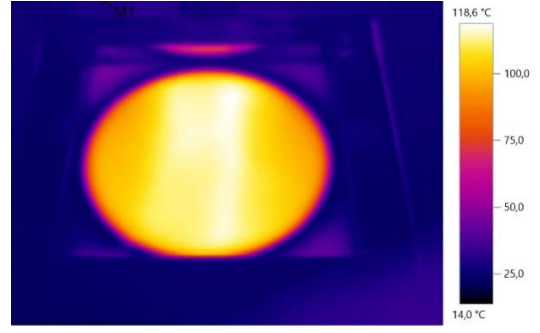
### 3. Bulgular

Isıtılmış film üzerindeki sıcaklık dağılımı ısıllı şekillendirilmiş numunenin kalınlık dağılımı üzerinde ciddi rol oynamaktadır. Bu yüzden her ısıtma süresine karşılık gelen termal görüntü TESTO firmasına ait bir yazılım ile analiz edilerek

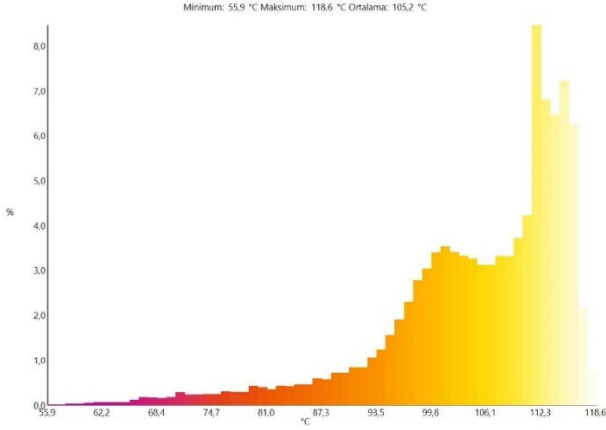
ortalama ısıllı şekillendirme sıcaklığı belirlenmiştir. Ortalama ısıllı şekil verme sıcaklıkları Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekil 6'da ise 250 C<sup>0</sup> sıcaklıktaki ısıtıcılar üzerinde tespit edilen farklı sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



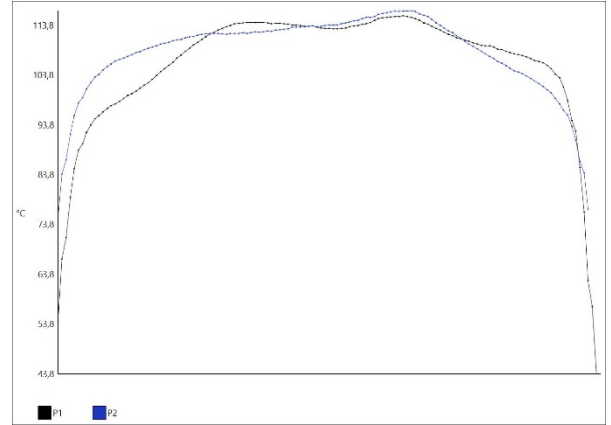
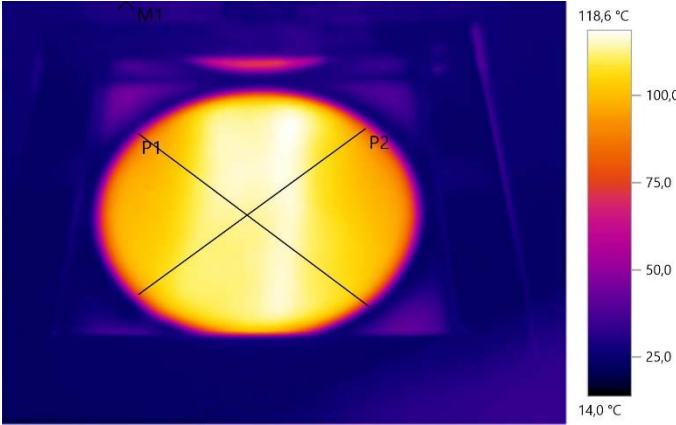
Şekil 6. 250 C° sıcaklıktaki ısıtıcılar üzerindeki sıcaklık dağılımı



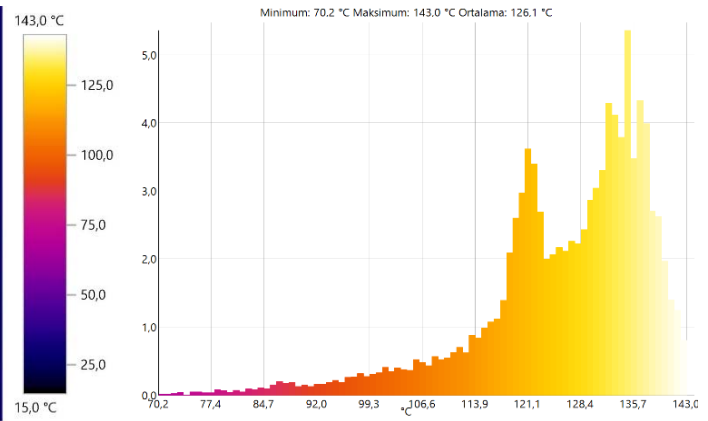
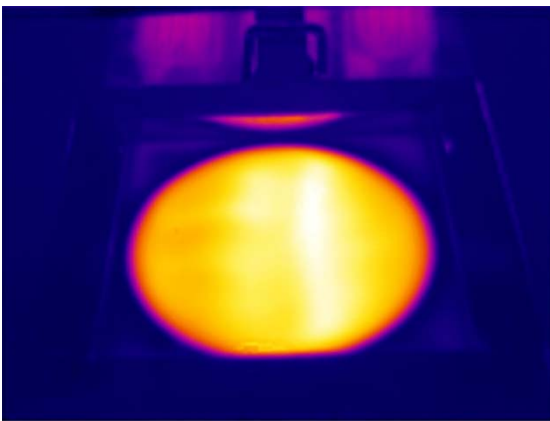
Şekil 7. 30 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı



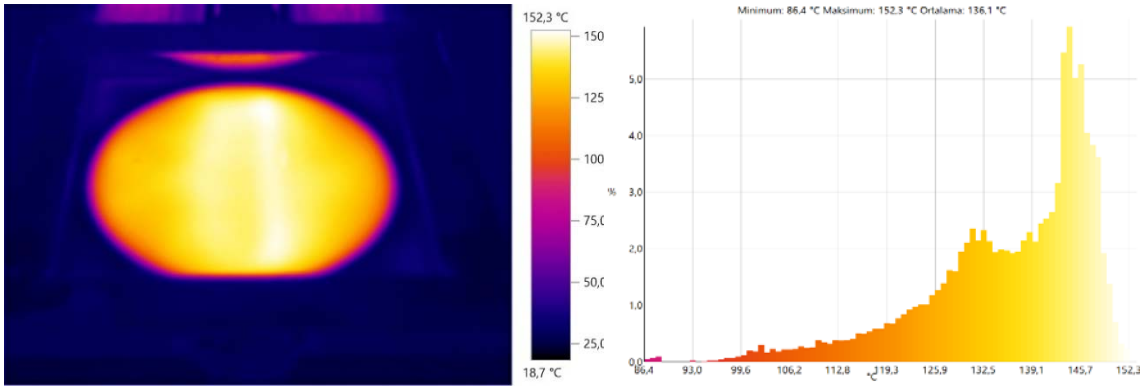
Şekil 8. 30 saniye ısıtma süresinde PVC'nin ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (105.2 C°)



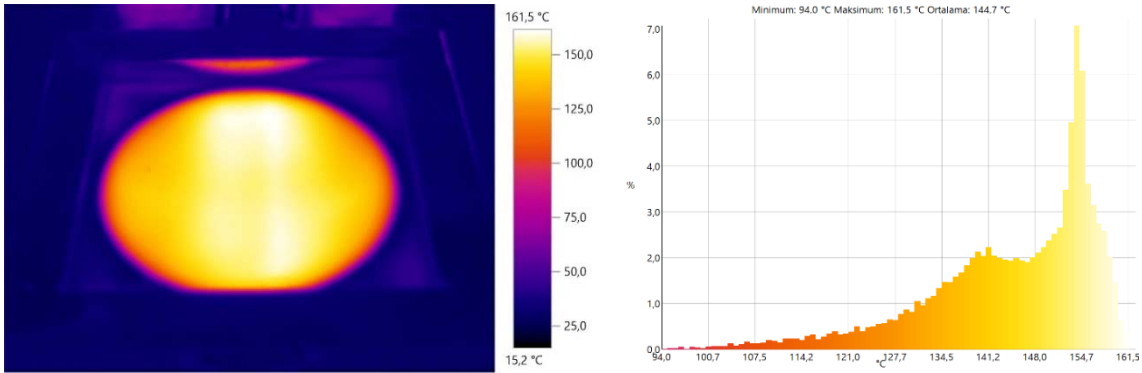
Şekil 9. P1 ve P2 doğrultularında alınan sıcaklık dağılımının karşılaştırılmalı incelenmesi



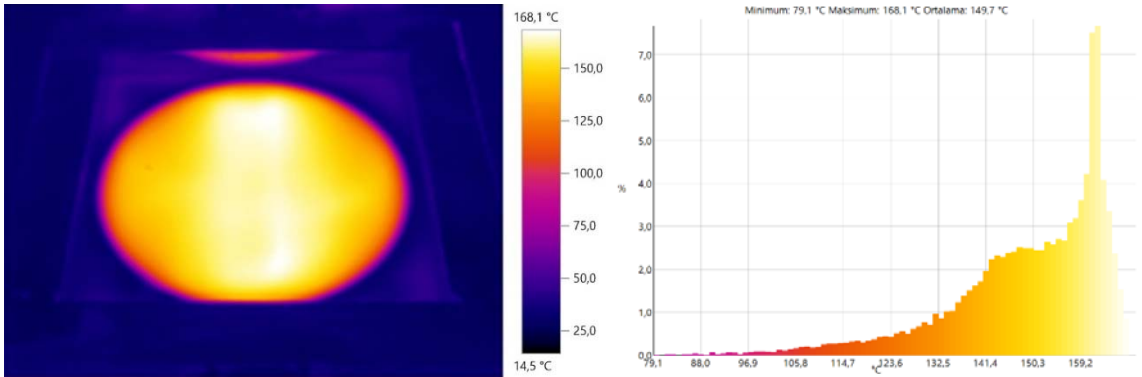
Şekil 10. 60 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (126.1 C°)



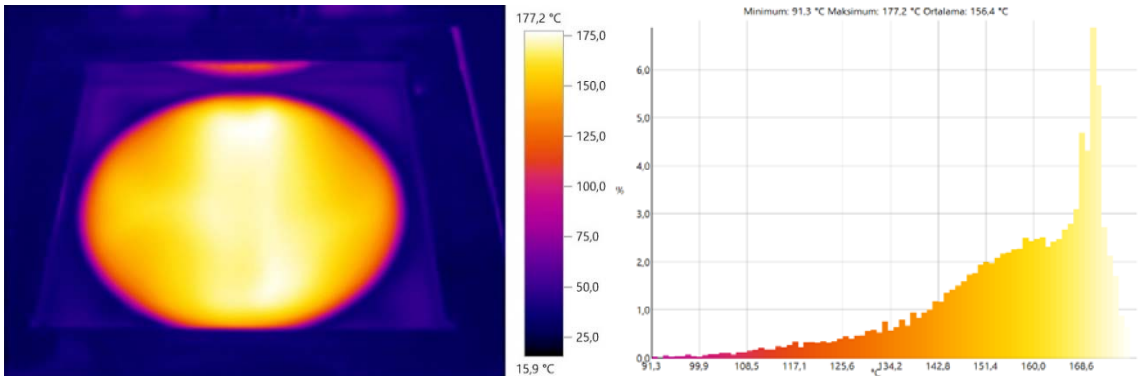
Şekil 11. 75 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (136.1 C°)



Şekil 12. 90 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (144.7 C°)



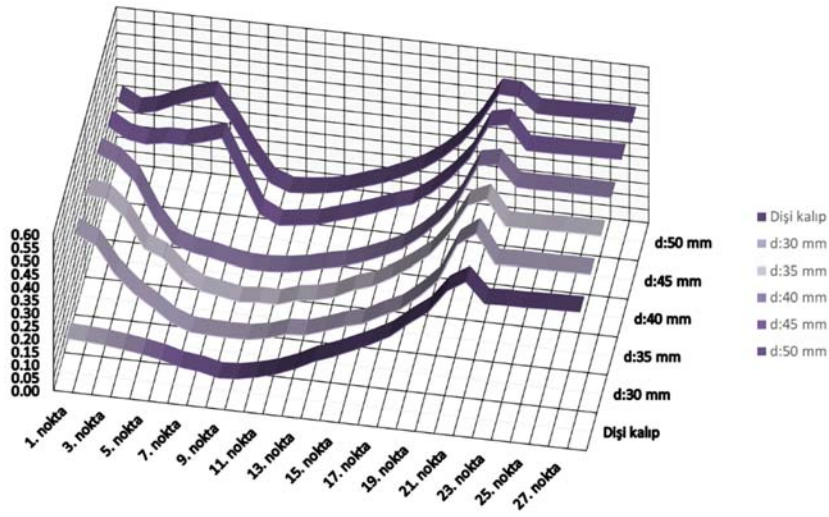
Şekil 13. 105 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (149.7 C°)



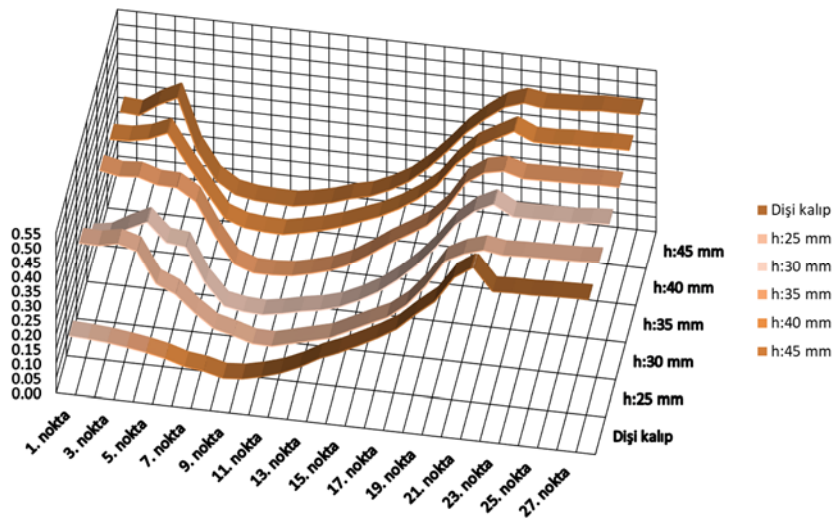
Şekil 14. 120 saniye ısıtma süresinde PVC film üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ortalama ısıl şekillendirme sıcaklığı (156.4 C°)

Termal görüntüler üzerinde ilk konumuna geri itilen ısıtıcıların termal yansımaları da bulunduğundan ortalama sıcaklık dağılımı alınırken filmin yüksek sıcaklıktaki, deforme olan elips şekilli alanı seçilmiştir. Termal görüntüler belirli bir açıyla alınabilmektedir. Laboratuvar tipi ısıtıcı şekillendirme ünitesinin boyutları, ısıtılmış filmin termal görüntüsünün tam üstten alınmasını engellemiştir. Termal kameranın odak uzaklığının dişi kalıbın üstündeki mesafeden daha fazla olması da yine termal görüntülerin belirli bir açıyla alınmasına neden olmuştur. Şekil 9’da, alınan farklı iki doğrultuda (P1, P2) sıcaklık dağılımının birbirinden farklı olduğu da gözlenmektedir. Bu unsur, kalınlık dağılımının farklı olmasına yol açan etkenlerden biridir. Özellikle sıcaklığın, ısıtılmış filmin alüminyum kalıp yüzeyine temas eden kısımlarında daha düşük olduğu buna karşın filmin kalıp yüzeyine temas etmeyen dairesel kısmında

görece daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak yine ısıtıcılara paralel yönde sıcaklığın, ısıtıcılara dik yöndeki dağılımından farklı olduğu da gözle muayene edilebilmektedir. Şekil 15 ve 16, deneysel çalışmada elde edilen kalınlık dağılımlarını vermektedir. Şekil 15, erkek kalıbın dişi kalıp içerisindeki dalma derinliği 35 mm seçilerek ve erkek kalıp çapı değiştirilerek ısıtıcı şekillendirilen numunelerin kalınlık dağılımını karşılaştırmalı olarak vermektedir. Şekil 16 ise erkek kalıp çapı 40 mm seçilerek ve erkek kalıbın dişi kalıp içerisindeki dalma derinliği değiştirilerek ısıtıcı şekillendirilen numunelerin kalınlık dağılımını karşılaştırmalı olarak vermektedir. Şekil 15 ve 16’da “Dişi kalıp” olarak verilen seri; erkek kalıp kullanılmadan ısıtıcı şekillendirilen numunelerin kalınlık dağılımını verdiği için bu şekilde adlandırılmıştır.



Şekil 15. Erkek kalıp çapının artırılması ile ısıtıcı şekillendirilen numunelerin karşılaştırmalı kalınlık dağılımları

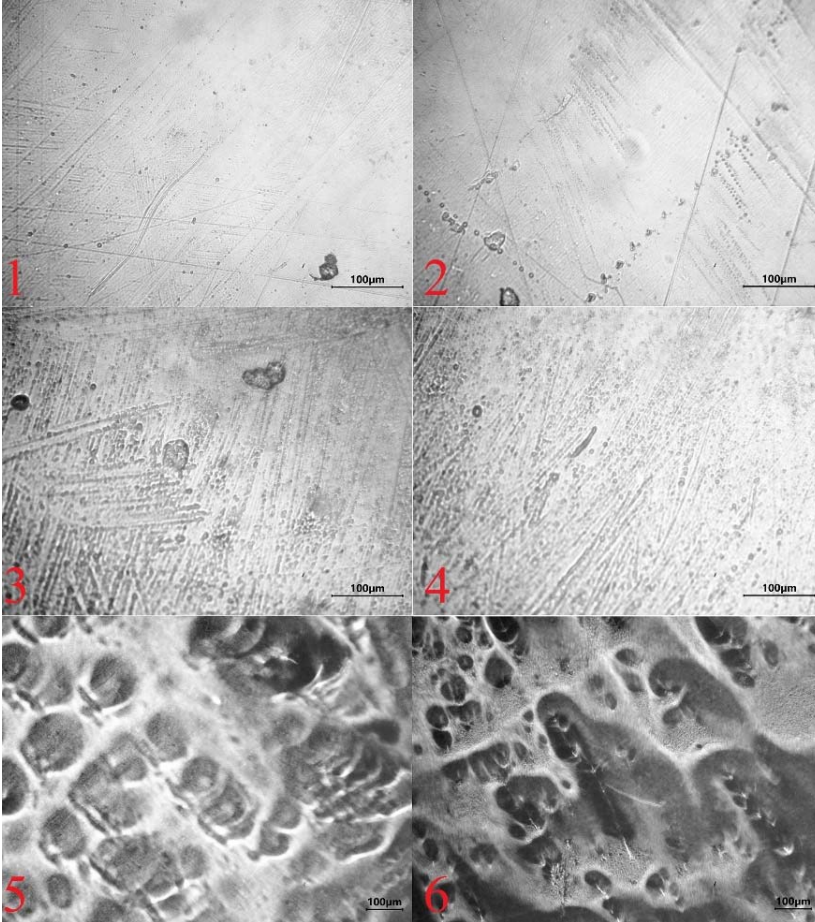


Şekil 16. Erkek kalıp dalma derinliğinin artırılması ile ısıtıcı şekillendirilen numunelerin karşılaştırmalı kalınlık dağılımları



Şekil 7, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te ısıtma öncesi PVC film malzemenin sıcaklık dağılımı verilmektedir. Isıtma süresinin artışı PVC film malzemenin ısıtma sıcaklığını da artırmıştır. Isıtma sıcaklıkları 30 saniye için 105.2 C°, 60 s için 126.1 C°, 75 s için 136.1 C°, 90 s için 144.7 C°, 105 s için 149.7 C°, 120 s için 156.4 C° olarak ölçülmüştür. PVC film malzeme yaklaşık 50 C°'lık bir sıcaklık farkıyla ısıtma sıcaklığına ulaştırılmıştır. Isıtma sıcaklığı; artan erkek kalıp çapıyla artış göstermiştir. Erkek kalıbın kullanılması, malzemedeki ısıtma sıcaklığını artırmıştır. Artan kalıp çapı ve dalma derinliği de malzemenin ısıtma sıcaklığını artırmıştır. Bunun nedeni, oda sıcaklığındaki çelik erkek kalıbın sıcak PVC film malzemeye temas ettiğinde film sıcaklığını düşürerek hızlı soğumaya yol açmasıdır. Çelik ısıyı iyi iletmediği için PVC ile temasta olduğu bölgelerde soğuma ve katılaşma hızla gerçekleşir ve bu bölgelerde şekil değiştirme meydana gelemez. Erkek kalıbın çapının artması ısıtılmış PVC film malzeme ile temas yüzeyinin arttığı anlamına gelir. Bu yüzden erkek kalıp çapı arttıkça ısıtma süresi artırılmış ve başarılı bir ısıtma işlemi için gerekli minimum sıcaklık değeri bulunmaya

çalışılmıştır. Aynı eğilim artan erkek kalıp dalma derinliği için de söylenebilir. Artan dalma derinliği, oda sıcaklığındaki çelik kalıbın, ısıtılmış PVC film ile daha uzun süre temas etmesi anlamına gelir. Bu nedenle artan derinlik ile ısıtma süresi artırılır ve başarılı bir ısıtma işlemi için gerekli asgari sıcaklık değeri bulunmaya çalışılmıştır. Ancak en yüksek dalma derinliği 45 mm ve en büyük çap değeri 50 mm için ısıtma sıcaklığı, erkek kalıbın kullanılmadığı duruma göre neredeyse 50 C°'lık artış göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, [Moustafa vd. \(2015\)](#); [Wang ve Nied \(1999\)](#)'in elde ettiği sonuçlarla benzerdir. Kalıp malzemesinin iletkenliğinin yüksek olması ve ısıtılmış polimer levhanın her noktasında eş sıcaklık verilerine sahip olması daha düzgün bir kalınlık dağılımına imkan tanımaktadır. Bu çalışmada ise, erkek kalıp malzemesinin iletkenliği yüksek bir malzeme olan çelik seçilmesi daha iyi bir kalınlık dağılımını desteklemekte, ancak ısıtılmış termoplastik filmin sıcaklık dağılımının farklı olması kalınlık değişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 17'de, 156.4 C°'de ısıtma işlemi yapılan numunelerde özellikle numune tabanının yüzeyinde meydana gelen değişimler, farklı büyütme oranlarıyla (10x, 20x) verilmiştir.

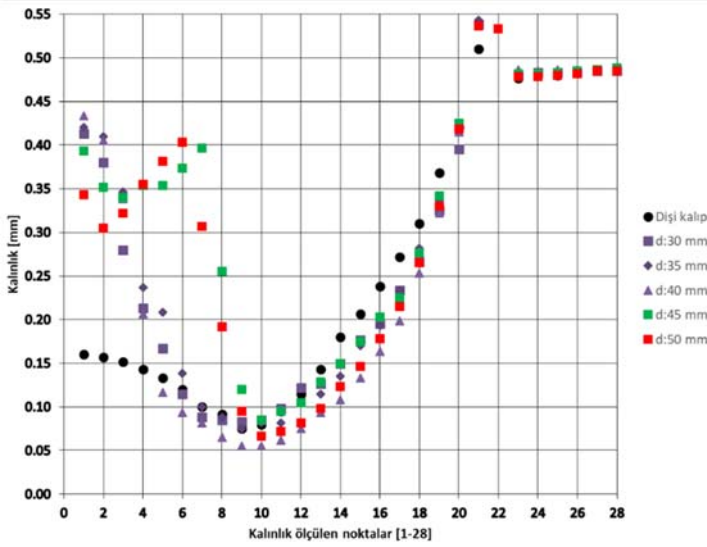


◀ **Şekil 17.** 1-2. Isıtma işlemi öncesi filmin yüzey görüntüleri (20x), 3-4. Sadece diş kalıbı ile ısıtma işlemi yapılan numunenin tabanından alınan görüntüler (20x), 5-6. 50 mm çaplı erkek kalıp kullanılarak ısıtma işlemi yapılan numunenin tabanına erkek kalıbın temas ettiği farklı iki noktadan alınan görüntüler (10x).

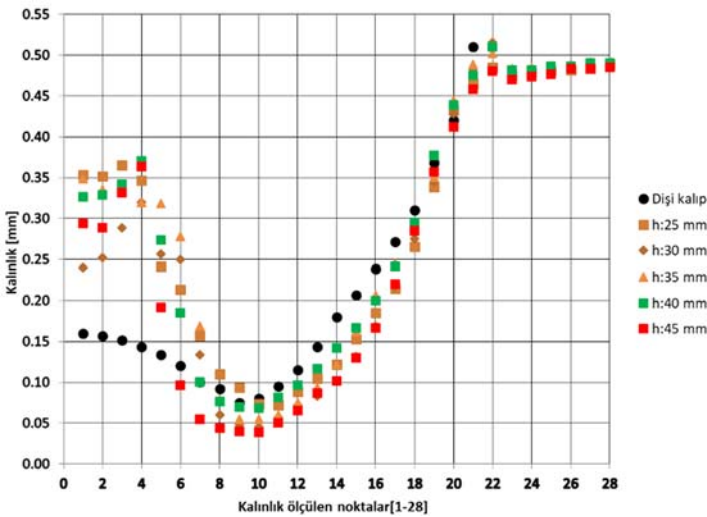


Şekil 18 ve 19’da, erkek kalıbın çapındaki artış özellikle numunelerin merkezindeki kalınlık değerlerini artırmıştır. Özellikle 8. noktaya kadar olan bölümde, erkek kalıp kullanılarak elde edilen ısıllı şekillendirilmiş numunelerin kalınlık değerleri, erkek kalıp kullanılmadan ısıllı şekillendirilenlerden daha yüksektir. Buda numunenin taban merkezindeki (1. nokta) ve tabanındaki (1-10. noktalar) kalınlığın erkek kalıp kullanımıyla arttığını doğrulamaktadır. Değişken dalma derinliği ve değişken çap uygulaması dikkate alındığında her iki senaryo içinde minimum kalınlık oluşumu 10. noktada gerçekleşmiştir. Ek olarak erkek kalıp kullanılarak ısıllı şekillendirilen numunelerin neredeyse tümünde ölçülen en düşük kalınlık değeri, erkek kalıp kullanılmadan ısıllı şekillendirilen numunelerinkinden daha düşük olmuştur. Yine erkek kalıp kullanımı her iki senaryo içinde numunelerin yan duvar kalınlıklarını dışı kalıpla ısıllı şekillendirilen numunelerinkine göre azaltmıştır (10-22. noktalar). Numune üst kenarında (23-28. noktalar) ise kalınlık dağılımı erkek kalıp kullanımından

etkilenmemiştir. Her iki senaryo için 21 ve 22. noktalarda kalınlık değerlerinde ani artışlar olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni bu bölgedeki yarıçap üzerinde kısmi katlanmaların oluşmasıdır. Ek olarak, özellikle Ø45 ve Ø50 mm ölçüsündeki erkek kalıp ile ısıllı şekillendirilen numunelerde 4. ve 8. noktalar arasında kalınlık azalması beklenirken artış olmuştur. Bunun nedeni ise daha önce de bahsedilen yüksek ısıllı şekillendirme sıcaklığı nedeniyle ısıtılan PVC filmin aşırı sarkması ve vakum etkisinde hızla şekil değiştirerek katlanmanın oluşmasıdır. Bu etki, değişken dalma derinliği için yapılan ısıllı şekillendirilmiş numunelerde görülmemektedir. Elde edilen veriler, Morales vd. (2014), ve Chen vd. (2008)’in sonuçlarıyla karşılaştırıldığında kalınlık dağılımını etkileyen unsurların aynı değişimi gösterdiği saptanmıştır. Özellikle kalıp malzemesi, boyutları ve dalma derinliğinin ısıllı şekillendirilen ürünün yan duvar kalınlıklarını değiştirdiği belirtilmiştir ve deneysel çalışmayı destekler niteliktedir.



◀ Şekil 18. Erkek kalıp çapının artırılması ile ısıllı şekillendirilen konik numunelerin karşılaştırılmalı kalınlık dağılımları



◀ Şekil 19. Erkek kalıp dalma derinliğinin artırılması ile ısıllı şekillendirilen konik numunelerin karşılaştırılmalı kalınlık dağılımları

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

PVC'nin ısıllı şekillendirilmesinde, erkek kalıp kullanımının, numunelerin özellikle taban merkezindeki ve yan duvar kalınlığını değiştirdiği belirlenmiştir. Ancak numunelerde oluşan en dūřuk kalınlık değerinde kayda değer bir değişim gōrūlmemiřtir. Artan erkek kalıp çapı ve dalma derinliği ile numunelerin ısıllı şekillendirme sıcaklığı da artmıştır. Yaklaşık 50 C°'lik bir sıcaklık farkı ile PVC film malzeme ısıllı şekillendirilebilmiştir. Bunu mōmkūn kılan ise PVC'nin zincir dizilişine gōre amorf yapıda bir mōhendislik termoplastiği olmasıdır. Kalınlık dağıllımını en çok etkileyen unsurlardan biri de; oda sıcaklığındaki elik erkek kalıbın sıcak film malzemeye temas ettiğinde ani soğumaya ve katılaşmaya neden olmasıdır. ısıllı şekillendirme öncesi film sıcaklık dağıllımının da yer yer farklılık gōstermesi kalınlık dağıllımına etki eden unsurlardanıdır. Elde edilen termal gōrūntūler, ısıtılmış film üzerindeki sıcaklık dağıllımının her noktada farklı olabileceğini ortaya koymuştur. ısıtılan PVC film üzerinde birbirine dik doğrultularda yapılan sıcaklık dağıllımı karşılaştırmasında bazı noktalarda 20 C°'yi bulan sıcaklık farkları tespit edilmiştir. Buna ek olarak erkek kalıp kullanımı ısıllı şekillendirilen numunenin yūzeyinde değerlişimlere yol açmıştır. Özellikle elik malzemeden imal edilen erkek kalıbın ısıllı şekillendirilen numuneye temas ettiği bōlgelerde mikron mertebesinde boşlukların oluştuğu tespit edilmiştir. PVC malzeme, amorf yapıda bir termoplastik olmasından dolayı gıda ambalajlama başta olmak üzere kaplanabilmekte ve farklı sektōrlerde kullanım alanı bulabilmektedir. Ek olarak, amorf yapıda olan diğer ısıllı şekillendirilebilen Polistiren (PS), Akrilonitril Būtadien Stiren (ABS), Polimetil Metakrilat (PMMA) ve Polikarbonat (PC) gibi farklı özellikleri olan termoplastikler de uygun ısıllı şekillendirme sıcaklığında benzer deformasyon özellikleri gōsterir. Ancak yarı kristalin yapıdaki Polipropilen (PP) ve Polietilen (PE) gibi ısıllı şekillendirme sıcaklık aralığı oldukça dar olan plastikler, PVC ile aynı deformasyon davranışını gōstermez.

#### Kaynaklar

- Barry, C.M.F., Baker, A-M. ve Mead, J.L., 2006. Introduction to Polymers and Plastics, in: Harper, C.A. (Eds.), Handbook of Plastics Technologies. McGraw-Hill Companies, New York.
- Crawford, R.J., 1998. Plastic Engineering: Oxford, Butterworth-Heinemann, 306-309 pp.

- Chen, S-C., Huang, S-T., Lin, M-C. ve Chien, R-D., 2008. Study on the Thermoforming of PC Films Used for In-Mold Decoration. International Communications in Heat and Mass Transfer, 35, 967-973.
- Hosseini, H., Berdyshev, B.V. ve Mehrabani-Zeinabad, A., 2006. A Solution for Warpage in Polymeric Products by Plug-Assisted Thermoforming. European Polymer Journal, 42, 1588-1600.
- Morales, R.A., Candal, M.V., Santana, O.O., Gordillo, A. ve Salazar, R., 2014. Effect of the Thermoforming Process Variables on the Sheet Friction Coefficient. Materials and Design, 53, 1097-1103.
- Moustafa, M., Dotchev, K., Wells, S., Bennett, N. ve Cawkell, J., 2015. Investigation of Thermoforming Tool Design and Pocket Quality. Journal of Thermal Engineering, 1, 670-676.
- O'Connor, C.P.J., Martin, P.J., Sweeney, J., Menary, G., Caton-Rose, P. ve Spencer, P.E., 2013. Simulation of the Plug-Assisted Thermoforming of Polypropylene Using a Large Strain Thermally Coupled Constitutive Model. Journal of Materials Processing Technology, 213, 1836-1843.
- Penix, J.A., 1991. Thermoforming of Plastic Film and Sheet, in: Berins, M.L. (Eds.), SPI Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc. Van Nostrand, New York, p. 383.
- Pribble, W.I., 2013. Introduction to Plastics Processing, in: DuBois, J.H., Pribble, W.I. (Eds.), Plastic Mold Engineering Handbook. Springer-Verlag, New York.
- Rosato, D. ve Rosato, D., 2004. Reinforced Plastics Handbook: Amsterdam, Elsevier, 1-18 pp.
- Rosato, D.V., Rosato, M.G. ve Schott, N.R., 2001. Plastics Institute of America Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook: New York, Springer-Verlag.
- Schwarzman, P. ve Illig, A., 2018. Thermoforming A Practical Guide: Munich, Hanser.
- Throne, J.L., 1996. Technology of Thermoforming: Munich, Hanser.
- Wang, C-H. ve Nied, H.F., 1999. Temperature Optimization for Improved Thickness Control in Thermoforming. Journal of Materials Processing and Manufacturing Science, 8, 113-126.

## The Weed Flora of Turkish Tea Plantations

### Türkiye'nin Çay Bahçelerindeki Yabancı Bitki Florası

Salih TERZİOĞLU<sup>\*1,a</sup>, Arzu ERGÜL BOZKURT<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Botany, Trabzon

<sup>2</sup>Artvin Çoruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Botany, Artvin

• Geliş tarihi / Received: 04.12.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 25.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 09.05.2020

#### Abstract

This study was performed to find out the vascular weed taxa of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) plantations in Turkey and determine the critical control periods of the taxa which are negatively affect both of crop quality and yield. These taxa were determined with the studies and observations of authors both in tea plantations and local herbarium (KATO). A total of 114 native and naturalized/cultivated vascular plant taxa were found out as weeds in tea plantations. The most noxious weed, which were unintentionally added to harvested shoots and negatively affected the tea quality, were underlined. The most commonly growing taxa in tea plantations in the region were: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Smilax excelsa* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt., *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore, *Calystegia silvatica* (Kit.) Griseb, *Commelina communis* L., *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus., *Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P. Beauw. and *Rubus* spp. A high number of the observed weed species are ecologically tolerated taxa which are naturalized in the region. Furthermore, of these taxa 9 are climbers and 14 are woody plants. The critical periods of weed control in tea plantations were derived from both literature and our ecological/phenological observations in tea plantations.

**Keywords:** Black Sea, *Camellia sinensis*, Tea, Turkey, Weed

#### Öz

Bu çalışma, Türkiye'deki çay (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) plantasyonlarının vasküler yabancı bitki taksalarını ve hem mahsul kalitesini hem de verimini olumsuz etkileyen bu taksonların kritik kontrol dönemlerini belirlemek için yapılmıştır. Bu taksonlar, çay plantasyonlarında ve lokal herbaryumda (KATO) yazarların çalışmaları ve gözlemleri ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında çay bahçelerinde yayılış gösteren toplam 114 adet doğal ve doğallaşmış damarlı bitki taksonu tespit edilmiştir. Hasat edilen sürgünlere kasıtsız olarak karıştırılan ve çay kalitesini olumsuz etkileyen en zararlı bitki taksonları vurgulanmıştır. Çay bahçelerinde en çok yayılan taksonlar; *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Smilax excelsa* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt., *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore, *Calystegia silvatica* (Kit.) Griseb, *Commelina communis* L., *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus., *Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P. Beauw. ve *Rubus* spp.'dir. Bu taksonların çoğu ekolojik toleransı yüksek ve ülkemizde doğallaşmış taksonlardır. Taksonlardan dokuz adeti tırmanıcı, 14 adeti de odunsu bitkidir. Çay bahçelerindeki yabancı bitkilerin kontrollerindeki kritik periyotlar hem literatürden hem de arazideki fenolojik/ekolojik gözlemlerimizden elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Karadeniz, *Camellia sinensis*, Çay, Türkiye, Yabancı Bitki

\*a Salih TERZİOĞLU, sterzi@ktu.edu.tr, Tel: (0533) 666 58 20, orcid.org/0000-0003-4146-3514

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0612-8120

## 1. Introduction

The tea plant (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), originates from Southeast Asia and approximately three billion kilograms of tea is consumed yearly in the world and it is now being cultivated in more than 30 countries (Hayat et al., 2015) including Turkey. The eastern Black Sea Region of Turkey receives the highest rainfall throughout the year in the country and tea cultivation is the most important subsistence source of farmers in the region. Starting from the province of Artvin/Hopa, tea plantations are spread to Fatsa/Ordu province extending the plantation range to Rize, Trabzon, Artvin and Giresun (Taşkın et al., 2015). With slight fluctuations compared to long years in the region, tea farming is done on area of approximately 75,890 ha in Turkey (Anonymous, 2012). Many exotic plant taxa have been hosted by tea cultivation areas depending on the current climate conditions, intense commercial activities with Asian countries and other natural reasons (Terzioğlu and Anşin, 2001; Terzioğlu and Coşkunçelebi, 2017; Farooq et al., 2017; Önen et al., 2015; Özaslan et al., 2017). On the other hand, Black Sea Region is located on one of the major bird migration routes of Turkey, many non-native plants can also be migrated to the North Eastern Anatolia from far distances. Especially in 1990s, bur cucumber (*Sicyos angulatus* L.) for example, which has been determined from Artvin, Rize, Trabzon, Giresun and Ordu provinces (Duman and Güner, 1996; Terzioğlu and Anşin, 1999; Terzioğlu et al., 2015), has increased its detrimental effects on both agricultural crops and natural plant taxa.

Tea plants grown in Turkey have recently been significantly affected by both insects (*Ricania simulans* Walker) (Ak et al., 2015) and weeds. Weeds may significantly reduce yield and impair crop quality, resulting in financial losses to the farmers (Kavaliauskaitė and Bobinas, 2006). Globally, weeds have been estimated to be responsible for about 10% reduction in crop yield (Froud-Williams, 2002). However, it is reported that the uncontrolled weed growth can cause 50-70% loss of tea productivity. Weeds are regarded as one of the most important factors among the critical factors limiting optimum productivity of tea plantations, (Deka and Barua, 2015). In parallel, the presence of native and naturalized plants in tea plantations negatively affects the black tea processing quality and make harvest difficult. The management effort to control these weeds also includes significant monetary costs. Determination of the important weed taxa in tea

plantations is the first step to increase the effectiveness of management practices by considering the biological/phenological characteristics of identified weedy taxa. Identification of taxa is the first step, and determining their density and frequency is the second step for weed control (Kaçan and Boz, 2015).

In the present study, native and naturalized vascular plant taxa in tea plantations of Black Sea Region, Turkey were identified and the most harmful ones were tried to underline. As well, it is aimed to determine the most effective time period for controlling depending both on literature and field observations.

For this purpose, the vascular plant taxa were determined with our long-term field studies and observations, and the data obtained from KATO (Herbarium of Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University). Undefined vascular plant taxa, observed in tea plantations, were firstly collected and their identification made by the authors in the KATO herbarium. Correspondingly, the literature on the related studies carried out in this region (Terzioğlu, 1998; Terzioğlu and Anşin, 1999; Gökdemir, 1998; Anşin and Terzioğlu, 2000; Terzioğlu and Anşin, 2001; Coşkunçelebi et al., 2007; Terzioğlu and Coşkunçelebi, 2017; Ergül Bozkurt, 2017) were studied in detail. All taxa, belonging to fern and seed plants, were listed on the alphabetical order of their genera in order to enable easy evaluation. These taxa were listed with the following characteristics, which are important in their controlling, together with their families (Table 1):

- ✓ Name of taxon,
- ✓ Family,
- ✓ Life form,
- ✓ Phytogeographic region,
- ✓ Type of damage,
- ✓ Period of control.

## 2. Results and Discussion

As a result of the study, 41 families and 99 genera were found making 114 native or naturalized vascular weed taxa distributed in tea plantations of Black Sea region, Turkey. Detailed information of these identified taxa are given in table 1 where the Turkish names were given according to Güner et al. (2012).

**Table 1.** Turkish names, Families, life form, phytogeographic region, type of damage and period of control of the determined taxa

Taxa	Turkish name	Family	Life form	Phytogeographic region	Type of damage	Period of control
* <i>Acalypha australis</i> L.	Burtam	Euphorbiaceae	Annual	Exotic	NP	Aug.-Oct.
* <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Kokarağaç	Simaroubaceae	Tree	Exotic, invasive	NP,S	May-Jun.
<i>Ajuga reptans</i> L.	Meryemsaçı	Lamiaceae	Rhizomatous, Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Mar.-Jun.
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. subsp. <i>barbata</i> (C.A.Mey.) Yalt.	Yeykin	Betulaceae	Tree	Euxine el.	NP,S	Apr.
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Tilkikuyruğu	Amaranthaceae	Annual	Invasive	NP,S	May.-Jul.
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Arsız zaylan	Asteraceae	Annual	-	NP,S	Jun.
* <i>Artemisia verlotiorum</i> Lamotte	Laz yavşamı	Asteraceae	Perennial	Exotic, invasive	NP,S	Oct.
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	Yel eğreltisi	Athyriaceae	Rhizomatous perennial	-	NP	Jun.
* <i>Bidens frondosa</i> L.	Yaprak suketeni	Asteraceae	Annual	Exotic, invasive	NP	Jul.-Sep.
<i>Blechnum spicant</i> (L.) Sm.	Tarak eğreltisi	Blechnaceae	Rhizomatous perennial	-	NP	Apr.-May.
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv.	Koru kılcanı	Poaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jun.-Sep.
<i>Brassica oleracea</i> L.	Lahana	Brassicaceae	Annual	-	NP	Mar.-May.
<i>Calystegia silvatica</i> (Kit.) Griseb.	Bürük	Convolvulaceae	Rhizomatous perennial	-	NP	Apr.-Aug.
<i>Campanula lactiflora</i> M. Bieb.	Kuspida	Campanulaceae	Perennial	Euxine el.	NP	Jul.-Sep.
<i>Campanula rapunculoides</i> L.	Elmacık	Campanulaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jul.-Sep.
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Çobançantası	Brassicaceae	Biannual	Cosmopolitan	NP	Jan.-Dec.
<i>Castanea sativa</i> Mill.	Kestane	Fagaceae	Tree	Euro-Sib. el.	NP,S	Jun.-Jul.
<i>Chenopodium album</i> L.	Aksirken	Amaranthaceae	Annual	-	NP	May.-Aug.
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Köygöçüren	Asteraceae	Perennial	-	NP	May.-Sep.
<i>Clinopodium grandiflorum</i> (L.) Kuntze	Kaba fesleğen	Lamiaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jun.-Oct.
<i>Clinopodium vulgare</i> L.	Yabani fesleğen	Lamiaceae	Perennial	-	NP	Jun.-Sep.
* <i>Commelina communis</i> L.	Mahmuza	Commelinaceae	Perennial	Exotic, invasive	NP	Aug.-Sep.
<i>Conyza albida</i> Willd. ex Spreng.	Ak çakalotu	Asteraceae	Annual	-	NP	Jul.-Dec.
* <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Selviotu	Asteraceae	Annual	Exotic, invasive	NP	Jul.-Dec.
* <i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	Duduka	Asteraceae	Annual	Exotic, invasive	NP	Aug.-Nov.
<i>Cucurbita maxima</i> Duch.	Helvacı kabağı	Cucurbitaceae	Annual	Cultivation	NP	-



Table 1 (continued)

Taxa	Turkish name	Family	Life form	Phytogeographic region	Type of damage	Period of control
<i>Cyclamen coum</i> Mill.	Yer somunu	Primulaceae	Tuberous, perennial	-	NP	Feb.-May.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Köpekdişi	Poaceae	Rhizomatous, perennial	-	NP	Apr.-Sep.
<i>Cyperus longus</i> L.	Karatopalak	Cyperaceae	Rhizomatous, perennial	-	NP	May.-Sep.
<i>Dactylis glomerata</i> L. subsp. <i>glomerata</i>	Domuzayrığı	Poaceae	Rhizomatous, perennial	Euro-Sib. el.	NP	May.-Jul.
<i>Daucus carota</i> L.	Yabani havuç	Apiaceae	Biannual	-	NP	Jun.-Sep.
* <i>Dichrocephala integrifolia</i> (L.f.) Kuntze	Kırtıkotu	Asteraceae	Annual	Exotic	NP	Jun.-Sep.
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Kızıl çatalotu	Poaceae	Annual	-	NP	Jun.-Oct.
<i>Dioscorea communis</i> (L.) Caddick & Wilkin	Dolanbaç	Dioscoreaceae	Tuberous, perennial	-	NP,S	Apr.-Jun.
* <i>Duchesnea indica</i> (Andrews) Focke	Sabunçileği	Rosaceae	Stoloniferous, perennial	Exotic	NP	Jul.
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Darıcan	Poaceae	Annual	-	NP	Jun.-Oct.
* <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Kazotu	Poaceae	Annual	Exotic	NP	Aug.-Oct.
* <i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyl.	Köriyaprağı	Lamiaceae	Annual	Exotic	NP	May.-Jul.
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	Hemşin şifaotu	Asteraceae	Biannual	Exotic, invasive	NP	Jun.-Sep.
<i>Fragaria vesca</i> L.	Dağ çileği	Rosaceae	Perennial	-	NP	Apr.-Jun.
<i>Frangula dodonei</i> Ard. subsp. <i>dodonei</i>	Barutağacı	Rhamnaceae	Shrub	Euro-Sib. el.	NP,S	Jun.-Jul.
<i>Galanthus rizehensis</i> Stern	Rize kardeleni	Amaryllidaceae	Bulbous	Euxine el.	NP	Jan.-Apr.
* <i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Kıllı beşpatçiçeği	Asteraceae	Annual	-	NP	Jun.-Aug.
<i>Geum urbanum</i> L.	Meryemotu	Rosaceae	Perennial	-	NP	May.-Jul.
<i>Hypericum calycinum</i> L.	Koyunkıran	Hypericaceae	Shrub	Euxine el.	NP	May.-Oct.
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Binbirdelik otu	Hypericaceae	Perennial	-	NP	Apr.-Sep.
* <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Kahkaha çiçeği	Convolvulaceae	Perennial	Exotic	NP,S	Jul.-Sep.
<i>Iris lazica</i> Albov	Laz süseni	Iridaceae	Rhizomatous	Euxine el.	NP	Feb.-Apr.
<i>Lactuca racemosa</i> Willd.	Çayır marulu	Asteraceae	Perennial	Euxine el.	NP	Jun.-Sep.
<i>Lamium album</i> L.	Balcak	Lamiaceae	Stoloniferous, perennial	Euro-Sib. el.	NP	May.-Aug.
<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L.	Sarı balcak	Lamiaceae	Perennial	-	NP	May.-Jun.
<i>Lapsana communis</i> L.	Şebrek	Asteraceae	Perennial	-	NP,S	May.-Oct.
<i>Lolium perenne</i> L.	Çim	Poaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Apr.-Aug.
<i>Luzula forsteri</i> (Sm.) DC.	Gevşek luzul	Juncaceae	Stoloniferous, perennial	Euro-Sib. el.	NP	Mar.-Jul.
<i>Lycopus europaeus</i> L.	Kurtayağı	Lamiaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jun.-Oct.
<i>Mercurialis annua</i> L.	Parşen	Euphorbiaceae	Annual	-	NP	Feb.-Jul.

Table 1 (continued)

Taxa	Turkish name	Family	Life form	Phytogeographic region	Type of damage	Period of control
<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A. Camus	Çin sakalotu	Poaceae	Annual	Invasive	NP	Aug.-Nov.
<i>Muscari armeniacum</i> Leichtlin ex Baker	Gâvurbaşı	Asparagaceae	Bulbous	-	NP	Mar.-Jul.
<i>Omphalodes cappadocica</i> (Willd.) DC.	Gök süreyre	Boraginaceae	Perennial	Euxine el.	NP	Mar.-May.
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.	Fırfırlıot	Poaceae	Perennial	-	NP	Jul.-Oct.
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Sarı ekşiyonca	Oxalidaceae	Perennial	Cosmopolitan	NP	Mar.-Aug.
* <i>Paspalum dilatatum</i> Poir.	Kürdan darısı	Poaceae	Rhizomatous, perennial	Exotic	NP	Aug.-Oct.
* <i>Paspalum distichum</i> L.	Yalan darısı	Poaceae	Rhizomatous-stoloniferous, perennial	Exotic	NP	Jun.-Oct.
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Fasülye	Fabaceae	Annual	Cultivation	NP,S	-
* <i>Phytolacca americana</i> L.	Şekerciboyası	Phytolaccaceae	Perennial	Exotic, invasive	NP,S	Jun.-Sep.
<i>Plantago major</i> L.	Sinirotu	Plantaginaceae	Perennial	-	NP	Apr.-Sep.
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Köyotu	Polygonaceae	Perennial	Cosmopolitan	NP	Jul.-Nov.
<i>Polygonum hydropiper</i> L.	Su biberi	Polygonaceae	Annual	-	NP	Aug.
* <i>Polygonum nepalense</i> Meissn.	Oğlakotu	Polygonaceae	Annual	Exotic	NP	May.-Sep.
* <i>Polygonum perfoliatum</i> L.	Kaplıçotu	Polygonaceae	Annual	Exotic, invasive	NP,S	Apr.-Jul.
<i>Polygonum persicaria</i> L.	Söğütotu	Polygonaceae	Annual	-	NP	Aug.-Dec.
<i>Polygonum thunbergii</i> Siebold & Zucc.	Gül madımak	Polygonaceae	Annual	Euxine el.	NP	Oct.
<i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth	Sivri pilunç	Dryopteridaceae	Rhizomatous, perennial	-	NP,S	May.
<i>Primula acaulis</i> (L.) L.	Çuhaçiçeği	Primulaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Mar.-Jun.
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Gelincikleme otu	Lamiaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	May.-Sep.
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.	Eğrelti	Dennstaedtiaceae	Rhizomatous, perennial	-	NP,S	Jun.
<i>Ranunculus ficaria</i> L. subsp. <i>bulbifera</i> (Marsden-Janchen) Lawalrée	Buğdaycık	Ranunculaceae	Perennial	-	NP	Mar.-Apr.
* <i>Rhus chinensis</i> Mill. var. <i>chinensis</i>	Çin sumacı	Anacardiaceae	Shrub	Exotic	NP,S	Jun.-Jul.
<i>Rhododendron luteum</i> Sweet	Zifin	Ericaceae	Shrub	Euxine el.	NP,S	Apr.-Sep.
<i>Rhododendron ponticum</i> L.	Kumar	Ericaceae	Shrub	Euxine el.	NP,S	Mar.-Aug.
* <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Yalancı akasya	Fabaceae	Tree	Exotic, invasive	NP,S	Apr.-Jun.
<i>Rubus canescens</i> DC.	Çoban kösteği	Rosaceae	Shrub	-	NP,S	May.-Aug.
<i>Rubus hirtus</i> Waldst. & Kit.	Tüntürük	Rosaceae	Shrub	-	NP,S	Jun.-Jul.

Table 1 (continued)

Taxa	Turkish name	Family	Life form	Phytogeographic region	Type of damage	Period of control
<i>Rubus ibericus</i> Juz.	Malina	Rosaceae	Shrub	-	NP,S	Jun.-Aug.
<i>Rumex pulcher</i> L.	Ekşilik	Polygonaceae	Perennial	Cosmopolitan	NP	May.-Aug.
<i>Salvia forskahlei</i> L.	Dolma yaprağı	Lamiaceae	Perennial	Euxine el.	NP	Jun.-Sep.
<i>Salvia glutinosa</i> L.	Oklu şalba	Lamiaceae	Perennial	Hyrcono-Euxine el.	NP	Jul.-Oct.
<i>Sambucus ebulus</i> L.	Mürver otu	Adoxaceae	Rhizomatous, perennial	Euro-Sib. el.	NP,S	Jul.-Aug.
<i>Sanicula europaea</i> L.	Sanikel	Apiaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	May.-Aug.
<i>Seneco vernalis</i> Waldst. & Kit.	Kanaryaotu	Asteraceae	Annual	-	NP	Mar.-Aug.
<i>Senecio vulgaris</i> L.	Taşakçilotu	Asteraceae	Annual	-	NP	Mar.-Aug.
<i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv.	Sıçansaçı	Poaceae	Annual	-	NP	Jul.-Oct.
* <i>Sicyos angulatus</i> L.	İtdolanbacı	Cucurbitaceae	Annual	Exotic, invasive	NP,S	Jul.-Oct.
<i>Sigesbeckia orientalis</i> L.	Saruteçan	Asteraceae	Annual	-	NP	Aug.
<i>Smilax excelsa</i> L.	Dikenucu	Smilacaceae	Climber	Euxine. el.	NP,S	May.
<i>Solanum americanum</i> Mill.	İtüzüümü	Solanaceae	Annual	Cosmopolitan	NP	Jun.-Nov.
<i>Solanum dulcamara</i> L.	Sofur	Solanaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP,S	May.-Sep.
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Eşekgevreği	Asteraceae	Biannual	-	NP	Mar.-Aug.
<i>Stachys sylvatica</i> L.	Hamısrıgan	Lamiaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jun.-Sep.
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Kuşotu	Caryophyllaceae	Annual	-	NP	Mar.-Jun.
<i>Symphytum ibericum</i> Steven ex M.Bieb.	Orman kafesotu	Boraginaceae	Stoloniferous, perennial	Euxine el.	NP	Mar.-Jul.
<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Schultz-Bip.	Beyaz papatya	Asteraceae	Perennial	-	NP	May.-Sep.
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	Kısamahmut	Lamiaceae	Rhizomatous, perennial	Euro-Sib. el.	NP	Jun.-Sep.
* <i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	Ak telgrafçiçeği	Commelinaceae	Perennial	Exotic, invasive	NP	May
<i>Trifolium pratense</i> L.	Çayır üçgülü	Fabaceae	Perennial	Cosmopolitan	NP	May.-Sep.
<i>Trifolium repens</i> L.	Ak üçgül	Fabaceae	Perennial	-	NP	Mar.-Sep.
<i>Tussilago farfara</i> L.	Öksürükotu	Asteraceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Mar.-Apr.
<i>Urtica dioica</i> L.	Isırğan	Urticaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP,S	Jun.-Sep.
<i>Vaccinium arctostaphylos</i> L.	Likarpa	Ericaceae	Shrub	Euxine el.	NP,S	May.-Jul.
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.	Sugedemesi	Plantaginaceae	Perennial	-	NP	Mar.-Nov.
<i>Veronica beccabunga</i> L.	At teresi	Plantaginaceae	Rhizomatous, perennial	-	NP	May.-Oct.
<i>Veronica persica</i> Poiret	Cırcamuk	Plantaginaceae	Perennial	Cosmopolitan	NP	Mar.-Nov.
<i>Vicia cracca</i> L.	Kuş fiği	Fabaceae	Perennial	Euro-Sib. el.	NP	Apr.-Aug.
* <i>Zea mays</i> L.	Mısır	Poaceae	Annual	Cultivation	NP,S	-

\*Naturalized/cultivated; Euro-Sib. el. : Euro-Siberian element; NP: Nutrient partnership; S: Shadow; Jan. : January; Feb. : February; Mar. : March; Apr. : April; Jun. : June; Jul. : July; Aug. : August; Sep. : September; Oct. : October; Nov. : November; Dec. : December.

The richest families (with the total number of taxa) were ; Asteraceae 18 taxa (15.78%), Poaceae 13 (11.40%), Lamiaceae 12 (10.52%), Polygonaceae 7 (6.14%), Fabaceae and Rosaceae 6 (5.35%) (Figure 1). Asteracea and Poaceae are the largest families and have the members with easily distributed diaspores. So, this result is not surprise. According to Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, 1965-1985), the phytogeographic regions of 43 plant taxa were determined. 21 taxa (18.42%) are Euro-Siberian element, 14 taxa (12.28%) are Euxine element, 1 taxon (0.87%) is Hircano- Euxine element, 7 taxa (6.14%) are cosmopolitan, 5 taxa (4.38%) are exotic, 2 taxa (1.75%) are invasive and 11 taxa (9.64%) are invasive-exotic. Pyhtogeographic regions of these taxa are shown in Figure 2.

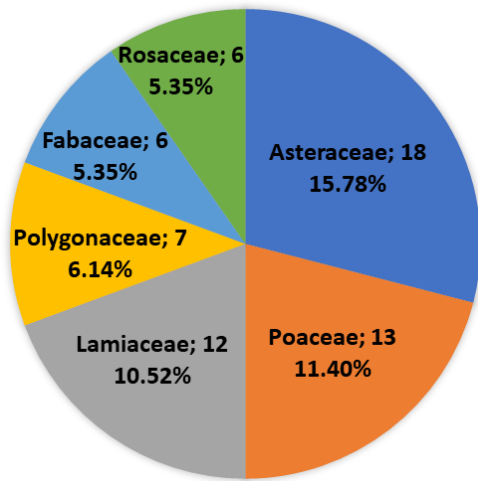


Figure 1. Families that have the most amount of taxa

The entire plantation areas are located in the NE Anatolian Region. Therefore, Euro-Siberian elements (18.42 %) have the highest percentage (Figure 2).

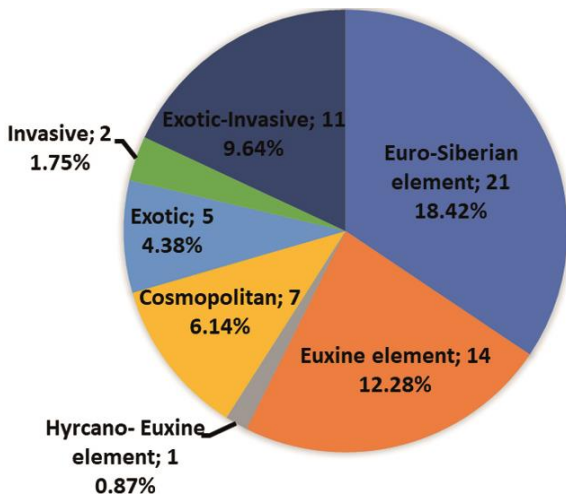


Figure 2. Phytogeographic regions of taxa

The following taxa are determined the most commonly growing ones in association with tea plants in tea plantations of Turkey: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Smilax excelsa* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt., *Crassocephalum crepidioides* (Benth) S. Moore, *Calystegia silvatica* (Kit.) Griseb, *Commelina communis* L., *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus., *Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P. Beauw. and *Rubus* spp.

Life forms of the evaluated 114 taxa are determined as follow: 42 taxa (36.84%) perennial, 4 taxa (3.50%) biannual, 32 taxa (28.07%) annual and 13 taxa (11.40%) woody. In addition, 13 taxa (11.40%) rhizomatous-perennial, 4 taxa (3.50%) stoloniferous perennial, 2 taxa (1.75%) bulbous, 2 taxa (1.75%) tuberous perennial, 1 taxon (0.87%) stoloniferous-rhizomatous perennial and 1 taxon (0.87%) rhizomatous. Period of controll (according to months, considering cover-abundance and flowering period) of determined taxa are as follow: 2 taxa (0.45%) January, 5 taxa (1.12%) February, 23 taxa (5.18%) March, 36 taxa (8.10%) April, 56 (12.61%) taxa May, 76 (17.11%) June, 78 taxa (17.56%) July, 72 taxa (16.21%) August, 54 taxa (12.16%) September, 28 taxa (6.30%) October, 10 (2.25%) for November, 4 taxa (0.90%) for December. The most effective periods of controll of the weeds were determined as March, April and May (Figure 3) which is the beginning of flowering period of the weeds (in another words; immature fruit or spore season).

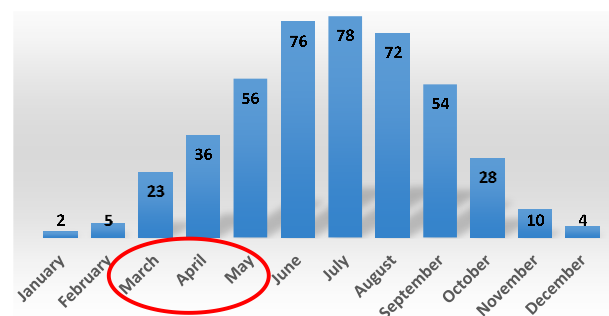


Figure 3. Start of period of weed control

Weed controlling period depends on different factors of which (1) biology of weed taxa and (2) age of plantations (and/or pruned season) are two of the most important ones (Figure 4).

Weeds are omnipresent and substantially reduce yield and quality of crops (Shrestha et al., 2019) and controlling them are crucial in young plantations for reducing mortality.



**Figure 4.** (a) Young tea plantation and (b) old tea plantations with pruned parcels

In NE Anatolia, tea harvesting season is between May to October and normally three times a year. But the flowering and/or seed and spore maturing period and weed controlling have started mainly from March and April. This is also the beginning of the critical period of crop development. Development of weed control strategies that lessen our reliance on herbicides for weed control may prove to be more cost effective (Hall et al., 1992). The suggestion is that the value of critical period studies rests with the eventual uncovering of the physiological basis for crop-weed competition and its eventual use for weed control (Weaver, 1984). Overlapping vegetation periods of cultivated plants and weeds result more problem than non-overlapping periods. So, we tried to determine the critical period of weed control in the present study. Most weed management professionals agree that management of invasive weeds must incorporate several methods to be successful (Walker and Buchanan, 1982; Sheley et al., 1996; Carruthers and D'Antonio, 2005; Beck, 2009). Classical biological control is an attractive alternative to other forms (mechanical etc.) of weed control (Beck, 2009). Manual and mechanical techniques such as pulling and cutting have been used traditionally in tea plantations. Weed control studies should started from April and repeated at least three times (before harvesting) in a year. On the other hand, dispersing time of mature diaspore of weed should be taking into account.

The tea plant is pruned every year by the farmers including 20% of the total owned area. Local people are tried to grow cultivated plants, such as beans, corns and potatoes, in the pruned tea plantations in first and/or second pruned year for

more family income. This results in yield reduction because of intensive pressure to tea plants in terms of nutrition and shading. Moreover, this causes the quality loss by mixing into the tea harvest. Biology, controlling methods and economic damages of the weed in tea plantations should be identified in detail. Thus, high-yielding dried tea can be achieved which importantly contribute economy of both local people and Turkey. Because of its highly sensitive growing conditions, especially depending on moist and hot climate, tea crop may be under the threat of climate change which is hosted determined and/or newly immigrate weeds in the region.

In spite of their negative impacts on crop production, weeds may also have positive socio-economic and other effects, because they are useful and serve as non-crop resources (Blanckaert et al., 2007; Srithi et al., 2017). As well, around the world, weeds are widely consumed and function as important sources of nutrients for local people (Srithi et al., 2017). For example, *Crassocephalum crepidioides* (redflower ragleaf) (Figure 5a) is one of the source of protein, natural antioxidant, and vitamins (Adjatin et al., 2013) and *Sicyos angulatus* (bur cucumber) (Figure 5b) is a source of honey (Terzioğlu et al., 2014).

### 3. Acknowledgement

This study was presented as oral presentation at the “International Agricultural Science Congress (09-12 May 2018, Van / Turkey)” and printed as abstract.





**Figure 5.** (a) *Crassocephalum crepidioides* and (b) *Sicyos angulatus* in tea plantations

## References

- Adjatin, A., Dansi, A., Badoussi, E., Sanoussi, A.F., Dansi, M., Azokpota, P., Ahissou, H., Akouegninou, A., Akpagana, K. and Sanni, A., 2013. Proximate, Mineral and Vitamin C Composition of Vegetable Gbolo [*Crassocephalum rubens* (Juss. ex Jacq.) S. Moore and *C. crepidioides* (Benth.) S. Moore] in Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 319–331.
- Ak, K., Güçlü, Ş., Eken, C. and Sekban, R., 2015. *Ricania simulans* (Walker, 1851) (Hemiptera: Ricaniidae) a new pest for Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 39(2), 179-186.
- Anonymous, 2012. Statistical bulletin. Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Rize, 42 p.
- Anşin, R. and Terzioğlu, S. 2000. Trabzon, Rize, Artvin Yörelerinde Bulunan Doğal ve Egzotik Tırmanıcı Bitkiler, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1, 27-33.
- Beck, K.G., 2009. Invasive Weeds of Colorado Forests and Rangeland. in: D.R., Kohli, R.K., Jose, S., Singh, H.P., Batish, D.R. (Eds.), *Invasive Plants and Forest Ecosystems*, Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 323-353.
- Blanckaert, I., Vancraeynest, K., Swennen, R.L., Espinosa-Garcia, F.J., Piñero, D. and Lira-Saade, R., 2007. Non-Crop Resources and the Role of Indigenous Knowledge in Semi-Arid Production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(1–2), 39–48.
- Carruthers, R.I. and D'Antonio, C.M. 2005. Science and Decision Making in Biological Control of Weeds: Benefits and Risks of Biological Control. *Biological Control*, 35(3), 366.
- Coşkunçelebi, K., Terzioğlu, S. and Vladimirov, V., 2007. A New Alien Species for the Flora of Turkey: *Bidens frondosa* L. (Asteraceae). *Turkish Journal of Botany*, 31, 477-479.
- Davis, P.H., 1965-1985. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, vol. 1-9, University Press, Edinburgh.
- Deka, J. and Barua, I.C., 2015. Weeds of tea fields and Their Control. National Seminar on Plant Protection in Tea: Recent Advances, Conference paper, February 26-27, Tea Research Association, Assam, India, pp. 55-56.
- Duman, H. and Güner, A., 1996. A New Record for the Flora of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 20, 383-384.
- Ergül Bozkurt, A., 2017. Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris* L.) Türkiye'deki Farklı Yetiştirme Ortamı Bölgelerinde Floristik, Fitososyolojik ve Ekolojik Yönlerden Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 325 s.
- Farooq, S., Tad, S., Onen, H., Gunal, H., Caldıran, U. and Ozaslan, C., 2017. Range Expansion Potential of Two Co-occurring Invasive Vines to Marginal Habitats in Turkey. *Acta Oecologica*, 84, 23–33.
- Froud-Williams, R.J., 2002. Weed competition.. in: R.E.L. Naylor (Ed.), *In Weed Management Handbook*, Oxford, UK, Blackwell Science, pp. 16-38.
- Gökdemir, Ş., 1998. Orman Fidanlıklarında (Ordu, Hendek ve Devrek) Belirlenen Yabancı Otlar ve Kimyasal Savaşmaları Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 143 s.
- Güner, A., Akyıldırım, B., Alkayış, M.F., Çingay, B., Kanoğlu, S.S., Özkan, A.M., Öztekin, M. and Tuğ, G.N., 2012. Türkçe Bitki Adları. in: Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. (Eds.), *Türkiye Bitkileri Listesi*

- (Damarlı Bitkiler), İstanbul, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 1290 s.
- Hall, M.R., Swanton, C.J. and Anderson, G.W., 1992. The Critical Period of Weed Control in Grain Corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 40, 441-447.
- Hayat, K., Iqbal, H., Malik, U. and Mushtaq, S., 2015. Tea and Its Consumption: Benefits and Risks. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 839-954.
- Kaçan, K. and Boz, Ö., 2015. The Comparison and Determination of the Weed Species in Conventional and Organic Vineyards. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(2), 169-179.
- Kavaliauskaitė, D. and Bobinas, Č., 2006. Determination of Weed Competition Critical Period in Red Beet. *Agronomy Research*, 4, 217-220.
- Önen, H., Özaslan, C. and Tad, S., 2015. *Sicyos angulatus* L., Invasive Plants Catalogue of Turkey. in: Önen, H. (Eds.), Ministry of Food, Agriculture and Livestock. Ankara, pp. 458-472.
- Özaslan, C., Önen, H. and Farooq, S., 2017. Mile-a-minute weed: A Lurking Peril for Tea Plantations in Black Sea Region, 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ, Turkey, Abstracts, p. 28.
- Sheley, R.L., Svejcar, T.J. and Maxwell, B.D., 1996. A Theoretical Framework for Developing Successional Weed Management Strategies on Rangeland. *Weed Technology*, 10(4), 766-773.
- Shrestha, J., Timsina, K.P., Subedi, S., Pokhrel, D. and Chaudhary, A., 2019. Sustainable Weed Management in Maize (*Zea mays* L.) Production: A Review in Perspective of Southern Asia. *Turkish Journal of Weed Science*, 22 (1), 133-143.
- Srithi, K., Balslev, H., Tanming, W. and Trisonthi, C., 2017. Weed Diversity and Uses: a Case Study from Tea Plantations in Northern Thailand, *Economic Botany*, 71(2), 147-159.
- Taşkın, M.B., Balcı, M., Soba, M.R., Kaya, E.C., Özer, P., Tanyel, G., Kabaoğlu, A., Turan, M.A. and Taban, S., 2015. Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium, Sulphur Concentrations of Tea-Farming Soils and Tea Plant Grown in East Black Sea Region. *Toprak Su Dergisi*, 4(2), 30-40.
- Terzioğlu, S., 1998. Uzungöl (Trabzon-Çaykara) ve Çevresinin Flora ve Vejetasyonu. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 304s.
- Terzioğlu, S. and Anşın, R., 1999. A contribution to exotic plants of Turkey: *Sicyos angulatus* L. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 359-362.
- Terzioğlu, S. and Anşın, R., 2001. A Chorological Study on Taxa Naturalized in the Eastern Black Sea Region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 305-309.
- Terzioğlu, S., Coşkunçelebi, K. and Başkent, E.Z., 2014. İt Dolanbacı (*Sicyos angulatus* L.) Tür Mücadele Eylem Planı, DKMP 12. Bölge Müdürlüğü, Rize, 49 p.
- Terzioğlu, S., Tüfekçioğlu, A. and Küçük, M., 2015. Vegetation and Plant Diversity of High-Altitude Mountains in Eastern Karadeniz (Black Sea) Region of Turkey and Climate Change Interactions. in: Öztürk, M., Rehman, H.K., Harum, I.F., Efe, R. (Eds.), *Climatic Change Impacts on High-Altitude Ecosystems*. Switzerland, Springer Cham, pp. 383-408.
- Terzioğlu, S. and Coşkunçelebi, K., 2017. *Rhus chinensis* var. *chinensis* (Anacardiaceae): A New Alien Record for the Flora of Turkey. *Phytologia Balcanica*, 23, 167-170.
- Walker, R.H. and Buchanan, G.A., 1982. Crop Manipulation in Integrated Weed Management Systems. *Weed Science*, 30 (1), 17-24.
- Weaver, S.E., 1984. Critical Period of Weed Competition in Three Vegetable Crops in Relation to Management Practices. *Weed Research*, 24, 317-325.

## On the Characterizations of Convolution Manifolds Obtained by Helix Hypersurfaces

*Helis Hiperyüzeyleri Tarafından Elde Edilen Konvolüsyon Manifoldların Karakterizasyonları Üzerine*

**Sema KAZAN\***

*Inonu University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 44280, Malatya*

• Geliş tarihi / Received: 09.09.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 06.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 13.05.2020

### Abstract

In this study, a submanifold obtained by tensor product of the immersions of two helix hypersurfaces obtained by planar curves is constructed. It is seen that, this submanifold is a convolution manifold with convolution metric and its minimality is examined. After, some characterizations are given by looking at the totally geodesic of same submanifold.

**Keywords:** Convolution Manifold, Helix Hypersurface, Planar Curve

### Öz

*Bu çalışmada, düzlemsel eğrilerden elde edilen iki helis hiperyüzey immersiyonlarının tensör çarpımları tarafından elde edilen bir altmanifold oluşturuldu. Bu altmanifoldun, konvolüsyon metrik ile birlikte bir konvolüsyon manifold olduğu görüldü ve bu manifoldun minimalliği incelendi. Daha sonra aynı altmanifoldun tamamen geodezikliğine bakılarak bazı karakterizasyonlar verildi.*

**Anahtar kelimeler:** Konvolüsyon Manifoldu, Helis Hiperyüzeyi, Düzlemsel Eğri

\*Sema KAZAN; sema.bulut@inonu.edu.tr; Tel: (0422) 377 36 06; orcid.org/0000-0002-8771-9506

**1. Introduction**

In 1993, B.Y.Chen has started the study of the tensor product immersion of two immersions of a given Riemannian manifold. Considering Chen's definition, F. Decruyenaere and his friends (Decruyenaere vd., 1993) have studied the tensor product of two immersions of different manifolds in general; under certain conditions, this realizes an immersion of the product manifold. In (Mihai vd., 1994/1995), tensor product surfaces of Euclidean plane curves have investigated. Also, authors have studied the tensor product of surfaces of a Euclidean space curve and a Euclidean plane curve in (Arslan vd., 2001). And, in Phd thesis (Aksoy, 2008), Aksoy has investigated the tensor products of a surface in Euclidean space and a curve in Euclidean plane.

On the other hand, Chen has introduced the notion of convolution manifolds, which is related to isometric immersions to Euclidean spaces in (Chen, 2003). It is note that, let  $N_1$  and  $N_2$  be two Riemannian manifolds with Riemannian metrics  $g_1$  and  $g_2$ , respectively, and let  $f$  be a positive differentiable function on  $N_1$ . The well-known notion of *warped product manifold*  $N_1 \times_f N_2$  is defined as the product manifold  $N_1 \times N_2$  equipped with the Riemannian metric given by  $g_1 + f^2 g_2$ . It is well-known that, the notion of warped product plays some important roles in differential geometry as well as in physics (O'Neill, 1983). The notion of convolution can be regarded as a natural extension of warped products. The notion of convolution products is defined as follows: Let  $N_1$  and  $N_2$  be two Riemannian manifolds equipped with metrics  $g_1$  and  $g_2$ , respectively. Consider the symmetric tensor field  $g_{f,h}$  of type (0,2) on the product manifold  $N_1 \times N_2$  defined by

$$g_{f,h} = h^2 g_1 + f^2 g_2 + 2fhdf \otimes dh \tag{1}$$

for some positive differentiable functions  $f$  and  $h$  on  $N_1$  and  $N_2$ , respectively. The symmetric tensor  $g_{f,h}$  is denoted by  ${}_h g_1 *_f g_2$ , which is called the *convolution* of  $g_1$  and  $g_2$  (via  $h$  and  $f$ ). The product manifold  $N_1 \times N_2$  equipped with  ${}_h g_1 *_f g_2$  is called a *convolution manifold*, which is denoted by  ${}_h N_1 *_f N_2$ . When the scale functions  $f$  and  $h$  are irrelevant, we simply denote  ${}_h N_1 *_f N_2$  and  ${}_h g_1 *_f g_2$  by  $N_1 \times N_2$  and  $g_1 *_g_2$ , respectively. We also investigate relations between usual product manifolds and convolution manifolds by considering the tensor product of a regular surface of Euclidean 3-space and a planar curve.

Let  $N$  be a Riemannian manifold equipped with a Riemannian metric  $g$ . The gradient  $grad\varphi$  of a function  $\varphi$  on  $N$  is defined by  $\langle grad\varphi, X \rangle = X\varphi$ , for vector fields  $X$  tangent to  $N$ . If  $N$  is a submanifold of a Riemannian manifold  $\tilde{M}$ , the formulas of Gauss and Weingarten are given by

$$\tilde{\nabla}_X Y = \nabla_X Y + \sigma(X, Y), \tag{2}$$

$$\tilde{\nabla}_X \xi = -A_\xi X + D_X \xi, \tag{3}$$

respectively, for vector fields  $X, Y$  tangent to  $N$  and normal to  $N$ . Here  $\tilde{\nabla}$  denotes the Riemannian connection on  $\tilde{M}$ ,  $\sigma$  the second fundamental form,  $D$  the normal connection and  $A$  the shape operator of  $N$  in  $\tilde{M}$ . The second fundamental form and the shape operator are related by  $\langle A_\xi X, Y \rangle = \langle \sigma(X, Y), \xi \rangle$ , where  $\langle, \rangle$  denotes the inner product on  $M$  as well as on  $\tilde{M}$ . A submanifold in a Riemannian manifold is called totally geodesic if its second fundamental form vanishes identically, or equivalently, its shape operator vanishes identically.

The Gauss equation of  $N$  in  $\tilde{M}$  is given by

$$\tilde{R}(X, Y; Z, W) = R(X, Y; Z, W) + \langle \sigma(X, Z), \sigma(Y, W) \rangle - \langle \sigma(X, W), \sigma(Y, Z) \rangle, \tag{4}$$

for  $X, Y, Z, W$  tangent to  $M$ , where  $R$  and  $\tilde{R}$  denote the curvature tensors of  $N$  and  $\tilde{M}$ , respectively. The covariant derivative  $\bar{\nabla}\sigma$  of  $\sigma$  with respect to the connection on  $TM \oplus T^\perp M$  is defined by

$$(\bar{\nabla}_X \sigma)(Y, Z) = D_X(\sigma(Y, Z)) - \sigma(\nabla_X Y, Z) - \sigma(Y, \nabla_X Z). \tag{5}$$

The Codazzi equation is

$$(\tilde{R}(X, Y)Z)^\perp = (\bar{\nabla}_X \sigma)(Y, Z) - (\bar{\nabla}_Y \sigma)(X, Z), \tag{6}$$

where  $(\tilde{R}(X, Y)Z)^\perp$  denotes the normal component of  $\tilde{R}(X, Y)Z$ .

Let  $E^m \otimes E^n$  denote the tensor product of two Euclidean spaces  $E^m$  and  $E^n$ . Then  $E^m \otimes E^n$  is isometric to  $E^{mn}$ . The Euclidean inner product  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  on  $E^m \otimes E^n$  is given by

$$\langle \alpha \otimes \beta, \gamma \otimes \delta \rangle = \langle \alpha, \gamma \rangle \langle \beta, \delta \rangle, \tag{7}$$

where  $\langle \alpha, \gamma \rangle$  denotes the Euclidean inner product of  $\alpha, \gamma \in E^m$  and  $\langle \beta, \delta \rangle$  the Euclidean inner product of  $\beta, \delta \in E^n$  (for more details about convolution manifolds, we refer to (Chen, 2002, 2003)).

Let  $M, N$  be two differentiable manifolds and  $f: M \rightarrow E^m, h: N \rightarrow E^n$  be two immersions. The direct sum map  $f \oplus h: M \times N \rightarrow E^{m+n}$  and tensor product map  $f \otimes h: M \times N \rightarrow E^{mn}$  are defined by

$$(f \oplus h)(p, q) = (f(p), h(q)), \tag{8}$$

$$(f \otimes h)(p, q) = f(p) \otimes h(q), \tag{9}$$

respectively. Necessary and sufficient conditions for  $f \otimes h$  to be an immersion have obtained in (Decruynaere vd., 1993).

**Proposition 1.1.** Let  $x: (N_1, g_1) \rightarrow E_*^n \subset E^n$  and  $y: (N_2, g_2) \rightarrow E_*^m \subset E^m$  be isometric immersions of Riemannian manifolds  $(N_1, g_1)$  and  $(N_2, g_2)$  into  $E_*^n$  and  $E_*^m$ , respectively. Then, the map

$$\psi: N_1 \times N_2 \rightarrow E^n \otimes E^m = E^{nm}; (u, v) \rightarrow x(u) \otimes y(v), \quad u \in N_1, v \in N_2 \tag{10}$$

gives rise to a convolution manifold  $N_1 \star N_2$  equipped with

$$\rho_2 g_1 \star_{\rho_1} g_2 = \rho_2^2 g_1 + \rho_1^2 g_2 + 2\rho_1 \rho_2 d\rho_1 \otimes d\rho_2, \tag{11}$$

where  $\rho_1 = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2}$  and  $\rho_2 = \sqrt{\sum_{\alpha=1}^m y_\alpha^2}$  denote the distance functions of  $x$  and  $y$  and  $x = (x_1, \dots, x_n)$  and  $y = (y_1, \dots, y_m)$  are Euclidean coordinate systems of  $E^n$  and  $E^m$ , respectively (Chen, 2003).

**Proof.** For vector fields  $X, Y$  tangent to  $N_1$  and  $Z, W$  tangent to  $N_2$ , we have

$$d\psi(X) = X\psi = X \otimes y, d\psi(Z) = Z\psi = x \otimes Z. \tag{12}$$

Also, it follows from the definition of gradient of  $\rho_1 = |x|$  that

$$\langle X, x \rangle = \frac{1}{2} X \langle x, x \rangle = \rho_1 (X\rho_1) = \rho_1 d\rho_1(X). \tag{13}$$

Similarly, we have

$$\rho_2 d\rho_2(Z) = \langle Z, y \rangle. \tag{14}$$

From (7),(12),(13) and (14), we obtain Proposition 1.1.

**Example 1.1.** If  $y: (N_2, g_2) \rightarrow E_*^m \subset E^m$  is an isometric immersion such that  $y(N_2)$  is contained in the unit hypersphere  $S^{m-1}$  of  $E^m$  centered at the origin. Then, the convolution  $g_1 \star g_2$  of  $g_1$  and  $g_2$  on the convolution manifold  $N_1 \star N_2$  defined by (11) is nothing but the warped product metric:  $g_1 + |x|^2 g_2$  (Chen, 2003).

## 2. Some Characterizations for Convolution Manifolds Obtained By Helix Hypersurfaces

Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \quad \phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \quad \psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \quad \alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \quad \beta(w) =$



$(\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Here,  $N^\alpha$  and  $B^\alpha$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\alpha = V_1^\alpha, N^\alpha = V_2^\alpha, B^\alpha = V_3^\alpha\}$  of the curve  $\alpha$  and  $N^\beta$  and  $B^\beta$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\beta = V_1^\beta, N^\beta = V_2^\beta, B^\beta = V_3^\beta\}$  of the curve  $\beta$ . Then, their tensor product is given by

$$f(u, v, w, z) = (\phi \otimes \psi): U \times W \subseteq \mathbb{R}^4 \rightarrow E^3 \otimes E^3 \cong E^9,$$

$$= (\phi_1(u, v)\psi_1(w, z), \phi_1(u, v)\psi_2(w, z), \phi_1(u, v)\psi_3(w, z), \phi_2(u, v)\psi_1(w, z), \phi_2(u, v)\psi_2(w, z),$$

$$\phi_2(u, v)\psi_3(w, z), \phi_3(u, v)\psi_1(w, z), \phi_3(u, v)\psi_2(w, z), \phi_3(u, v)\psi_3(w, z)).$$

A basis of tangent space of manifold  $U \times W$  is  $\{X = \frac{\partial f}{\partial u}, Y = \frac{\partial f}{\partial v}, W = \frac{\partial f}{\partial w}, Z = \frac{\partial f}{\partial z}\}$ , such that

$$X = ((1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^\alpha[\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^\alpha[\beta_2(w) + z(\sin\theta + \cos\theta B_2^\beta)],$$

$$(1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^\alpha[\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)], (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^\alpha[\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)],$$

$$(1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^\alpha[\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^\alpha[\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)],$$

$$(1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^\alpha[\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^\alpha[\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)],$$

$$(1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^\alpha[\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)]),$$

$$Y = ((\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)[\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], (\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)[\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta$$

$$+ \cos\theta B_2^\beta)], (\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)[\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)], (\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha)[\beta_1(w)$$

$$+ z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], (\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha)[\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], (\sin\theta N_2^\alpha$$

$$+ \cos\theta B_2^\alpha)[\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)], (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)[\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta$$

$$+ \cos\theta B_1^\beta)], (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)[\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)[\beta_3(w)$$

$$+ z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)]),$$

$$W = (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha) \left(1 - zk_1^\beta \sin\theta\right) T_1^\beta, (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha) \left(1 -$$

$$zk_1^\beta \sin\theta\right) T_2^\beta, (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha) \left(1 - zk_1^\beta \sin\theta\right) T_3^\beta, (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha) \left(1 -$$

$$zk_1^\beta \sin\theta\right) T_1^\beta, (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha) \left(1 - zk_1^\beta \sin\theta\right) T_2^\beta, (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha) \left(1 -$$

$$zk_1^\beta \sin\theta\right) T_3^\beta, (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha) \left(1 - zk_1^\beta \sin\theta\right) T_1^\beta, (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha) \left(1 -$$

$$zk_1^\beta \sin\theta\right) T_2^\beta, (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha) \left(1 - zk_1^\beta \sin\theta\right) T_3^\beta),$$

$$Z = (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha), (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_2^\alpha$$

$$+ \cos\theta B_2^\alpha), (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha +$$

$$v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha), (\alpha_2(u) +$$

$$v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha), (\alpha_3(u) +$$

$$v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)).$$

The coefficients of the Riemannian metric  $g$  induced on  $Imf$  by the Euclidean metric of  $E^9$  can be given as in the following lemma:

**Lemma 2.1.** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Here,  $N^\alpha$  and  $B^\alpha$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\alpha = V_1^\alpha, N^\alpha = V_2^\alpha, B^\alpha = V_3^\alpha\}$  of the curve  $\alpha$  and  $N^\beta$  and  $B^\beta$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\beta = V_1^\beta, N^\beta = V_2^\beta, B^\beta = V_3^\beta\}$  of the curve  $\beta$ . For their tensor product which is given by  $f(u, v, w, z) = (\phi \otimes \psi): U \times W \subseteq \mathbb{R}^4 \rightarrow E^3 \otimes E^3 \cong E^9$ , the coefficients of the Riemannian metric  $g$  induced on  $Imf$  by the Euclidean metric of  $E^9$  are

$$g_{11} = \rho_2^2 g_1(\phi_u, \phi_u), \quad g_{22} = \rho_2^2 g_1(\phi_v, \phi_v), \quad g_{33} = \rho_1^2 g_2(\psi_w, \psi_w), \quad g_{44} = \rho_1^2 g_2(\psi_z, \psi_z),$$

$$g_{12} = \rho_2^2 g_1(\phi_u, \phi_v) = g_{21}, \quad g_{13} = \rho_1 \rho_2 d\rho_1(\phi_u) \rho_2(\psi_w) = g_{31}, \quad g_{14} = \rho_1 \rho_2 d\rho_1(\phi_u) \rho_2(\psi_z) = g_{41},$$

$$g_{23} = \rho_1 \rho_2 d\rho_1(\phi_v) \rho_2(\psi_w) = g_{32}, \quad g_{24} = \rho_1 \rho_2 d\rho_1(\phi_v) \rho_2(\psi_z) = g_{42}, \quad g_{34} = \rho_1^2 g_2(\psi_w, \psi_z) = g_{43}.$$

Here,  $\rho_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \phi_i^2}$  and  $\rho_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \psi_j^2}$  denote the distance functions of  $\phi$  and  $\psi$ ;  $\phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3)$  and  $\psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$  are Euclidean coordinate systems of  $E^3$ , respectively.

**Proof:** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Then their tensor product  $(\phi \otimes \psi): U \times W \subseteq \mathbb{R}^4 \rightarrow E^3 \otimes E^3 \cong E^9$  is obtained from (10). Also, using the Riemannian metric  $g$ , its coefficients are obtained as following:

$$g_{11} = \langle X, X \rangle = \|\phi_u\|^2 \|\psi\|^2, \quad g_{22} = \langle Y, Y \rangle = \|\phi_v\|^2 \|\psi\|^2, \quad g_{33} = \langle W, W \rangle = \|\psi_w\|^2 \|\phi\|^2,$$

$$g_{44} = \langle Z, Z \rangle = \|\psi_z\|^2 \|\phi\|^2, \quad g_{12} = \langle X, Y \rangle = \langle \phi_u, \phi_v \rangle \|\psi\|^2, \quad g_{13} = \langle X, W \rangle = \langle \phi_u, \phi \rangle \langle \psi, \psi_w \rangle,$$

$$g_{14} = \langle X, Z \rangle = \langle \phi_u, \phi \rangle \langle \psi, \psi_z \rangle, \quad g_{23} = \langle Y, W \rangle = \langle \phi_v, \phi \rangle \langle \psi, \psi_w \rangle,$$

$$g_{24} = \langle Y, Z \rangle = \langle \phi_v, \phi \rangle \langle \psi, \psi_z \rangle, \quad g_{34} = \langle W, Z \rangle = \langle \psi_w, \psi_z \rangle \|\phi\|^2.$$

Then, we can give our main theorem:

**Theorem 2.1.** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ . Then, the map

$$f: U \times W \rightarrow E^3 \otimes E^3 = E^9; (u, v, w, z) \rightarrow \phi(u, v) \otimes \psi(w, z), \quad u, v \in U, \quad w, z \in W,$$

gives rise to a convolution manifold  $U \star W$  equipped with  $\rho_2 g_1 *_{\rho_1} g_2 = \rho_2^2 g_1 + \rho_1^2 g_2 + 2\rho_1 \rho_2 d\rho_1 \otimes d\rho_2$ .

**Proof:** The proof is obvious from (1) and Lemma 2.1.

The normal space of  $U \times W$  is spanned by  $\{n_1, n_2, n_3, n_4\}$ . So, we can give the following lemma:

**Lemma 2.2.** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Here,  $N^\alpha$  and  $B^\alpha$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\alpha = V_1^\alpha, N^\alpha = V_2^\alpha, B^\alpha = V_3^\alpha\}$  of the curve  $\alpha$  and  $N^\beta$  and  $B^\beta$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\beta = V_1^\beta, N^\beta = V_2^\beta, B^\beta = V_3^\beta\}$  of the curve  $\beta$ . Then, the normal space of  $U \times W$  is spanned by

$$n_1 = (-(\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0, 0, 0, 0, (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), -(\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0),$$

$$n_2 = (0, 0, 0, -(\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0, (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), -(\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0),$$

$$n_3 = (-(\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0, (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), -(\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), 0, 0, 0, 0),$$

$$n_4 = (0, 0, 0, 0, -(\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), 0, (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)), -(\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta))).$$

**Proof:** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Then using the Riemannian metric  $g$  and the base  $\{X, Y, W, Z\}$  of tangent space of manifold  $U \times W$ , the normal space of  $U \times W$  easily can be obtained.

After stating this lemma, we can state following theorem:

**Theorem 2.2.** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3$ ,  $\beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w))$ , respectively. Here,  $N^\alpha$  and  $B^\alpha$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\alpha = V_1^\alpha, N^\alpha = V_2^\alpha, B^\alpha = V_3^\alpha\}$  of the curve  $\alpha$  and  $N^\beta$  and  $B^\beta$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\beta = V_1^\beta, N^\beta = V_2^\beta, B^\beta = V_3^\beta\}$  of the curve  $\beta$ . Then,  $U * W$  convolution manifold is a minimal submanifold.

**Proof:** Let  $\{X, Y, W, Z\}$  be the base of tangent space of manifold  $U \times W$ . Then we can give the derivatives  $\{X_u = \frac{\partial^2 f}{\partial u^2}, Y_v = \frac{\partial^2 f}{\partial v^2}, W_w = \frac{\partial^2 f}{\partial w^2}, Z_z = \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}\}$  as

$$X_u = ([-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^{\alpha'}][\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^{\alpha'}][\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_1^{\alpha'}][\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^{\alpha'}][\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^{\alpha'}][\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_2^{\alpha'}][\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^{\alpha'}][\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^{\alpha'}][\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)], [-vk_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha + (1 - vk_1^\alpha \sin\theta)T_3^{\alpha'}][\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)]],$$

$$Y_v = 0,$$

$$W_w = ([\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_1^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_1^{\beta'}], [\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_2^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_2^{\beta'}], [\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_3^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_3^{\beta'}], [\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_1^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_1^{\beta'}], [\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_2^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_2^{\beta'}], [\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha][-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_3^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta)T_3^{\beta'}],$$

$$\begin{aligned}
 & [\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha] [-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_1^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta) T_1^{\beta'}], \\
 & [\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha] [-zk_1^{\beta'} \sin\theta T_2^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta) T_2^{\beta'}], \\
 & [\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha] \left[ -zk_1^{\beta'} \sin\theta T_3^\beta + (1 - zk_1^\beta \sin\theta) T_3^{\beta'} \right],
 \end{aligned}$$

$$Z_z = 0.$$

Thus, we obtain  $\langle X_u, n_i \rangle = 0, \langle Y_v, n_i \rangle = 0, \langle W_w, n_i \rangle = 0, \langle Z_z, n_i \rangle = 0, i = 1, 2, 3, 4.$

Hence, from the Gauss formula (2), it is obtained  $h(X, X) = 0, h(Y, Y) = 0, h(W, W) = 0, h(Z, Z) = 0.$  From (Chen, 1973), one can recall that, a submanifold of a Riemannian manifold is said to be minimal, if mean curvature vector  $H$  vanishes identically. Since we have  $\langle h(X, X) + h(Y, Y) + h(W, W) + h(Z, Z), n_i \rangle = 0,$  the proof completes.

Now, we can give the following theorem:

**Theorem 2.3.** Let  $\phi: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \phi(u, v) = \alpha(u) + v(\sin\theta N^\alpha + \cos\theta B^\alpha)$  and  $\psi: W \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \psi(w, z) = \beta(w) + z(\sin\theta N^\beta + \cos\theta B^\beta)$  be two immersions of helix hypersurfaces obtained by planar curves  $\alpha: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \alpha(u) = (\alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u))$  and  $\beta: J \subset \mathbb{R} \rightarrow E_*^3 \subset E^3, \beta(w) = (\beta_1(w), \beta_2(w), \beta_3(w)),$  respectively. Here,  $N^\alpha$  and  $B^\alpha$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\alpha = V_1^\alpha, N^\alpha = V_2^\alpha, B^\alpha = V_3^\alpha\}$  of the curve  $\alpha$  and  $N^\beta$  and  $B^\beta$  denote elements of the Frenet frame  $\{T^\beta = V_1^\beta, N^\beta = V_2^\beta, B^\beta = V_3^\beta\}$  of the curve  $\beta.$  Then the convolution manifold  $U \star W$  is totally geodesic submanifold if and only if the functions  $(\frac{\phi_3}{\phi_1}), (\frac{\phi_3}{\phi_2}), (\frac{\phi_2}{\phi_1})$  and  $(\frac{\psi_1}{\psi_2}), (\frac{\psi_2}{\psi_3})$  are constant.

**Proof:** Let  $\{X, Y, W, Z\}$  be the base of tangent space of manifold  $U \times W.$  Now, we obtain the derivatives with respect to parameters  $u, v, w, z$  of the base  $\{X, Y, W, Z\}$  on manifold  $U \star W$  as following:

$$\begin{aligned}
 X_v = & (-k_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha (\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha (\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), \\
 & -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_1^\alpha (\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha (\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \\
 & \cos\theta B_1^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha (\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_2^\alpha (\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \\
 & \cos\theta B_3^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha (\beta_1(w) + z(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha (\beta_2(w) + z(\sin\theta N_2^\beta + \\
 & \cos\theta B_2^\beta)), -k_1^{\alpha'} \sin\theta T_3^\alpha (\beta_3(w) + z(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta))),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_w = & ((1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\beta_1'(w) + z(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} \\
 & + \cos\theta B_2^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\beta_3'(w) + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'})), ((1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\beta_1'(w) \\
 & + z(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'})), (1 \\
 & - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\beta_3'(w) + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\beta_1'(w) + z(\sin\theta N_1^{\beta'} \\
 & + \cos\theta B_1^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'})), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\beta_3'(w) \\
 & + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'}))),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_z = & ((1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), \\
 & (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_1^\alpha (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta), \\
 & (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_2^\alpha (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta), \\
 & (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta), (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), \\
 & (1 - vk_1^{\alpha'} \sin\theta) T_3^\alpha (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)),
 \end{aligned}$$

$$Y_w = ((\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)(\beta_1'(w) + z(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'})), (\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)(\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'})) + \cos\theta B_2^{\beta'}), (\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta)(\beta_3'(w) + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'})), (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)(\beta_1'(w) + z(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'})), (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)(\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'})), (\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta)(\beta_3'(w) + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'})), (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)(\beta_1'(w) + z(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'})), (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)(\beta_2'(w) + z(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'})), (\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)(\beta_3'(w) + z(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'}))),$$

$$Y_z = ((\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta), (\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), (\sin\theta N_1^\alpha + \cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta), (\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), (\sin\theta N_2^\alpha + \cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta), (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_1^\beta + \cos\theta B_1^\beta), (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_2^\beta + \cos\theta B_2^\beta), (\sin\theta N_3^\alpha + \cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_3^\beta + \cos\theta B_3^\beta)),$$

$$W_z = ((\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'}), (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'}), (\alpha_1(u) + v\sin\theta N_1^\alpha + v\cos\theta B_1^\alpha)(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'}), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'}), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'}), (\alpha_2(u) + v\sin\theta N_2^\alpha + v\cos\theta B_2^\alpha)(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'}), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_1^{\beta'} + \cos\theta B_1^{\beta'}), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_2^{\beta'} + \cos\theta B_2^{\beta'}), (\alpha_3(u) + v\sin\theta N_3^\alpha + v\cos\theta B_3^\alpha)(\sin\theta N_3^{\beta'} + \cos\theta B_3^{\beta'})).$$

Similarly, as a result of long operations, one can calculate the derivatives  $Y_u, W_u, W_v, Z_u, Z_v, Z_w$ . Thus, we can give the following results:

We know that,  $h(X, X) = 0, h(Y, Y) = 0, h(W, W) = 0, h(Z, Z) = 0$ . Also, we have

$$\langle X_v, n_i \rangle = 0 \quad \text{and} \quad \langle Y_u, n_i \rangle = 0, \tag{15}$$

$$\langle X_w, n_1 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_u \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_u, n_1 \rangle,$$

$$\langle X_w, n_2 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_u \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_u, n_2 \rangle, \tag{16}$$

$$\langle X_w, n_3 \rangle = \left(\frac{\phi_2(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_u \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_u, n_3 \rangle,$$

$$\langle X_w, n_4 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_u \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_2(w, z)}{\psi_3(w, z)}\right)_w \psi_3^2(w, z) = \langle W_u, n_4 \rangle,$$

$$\langle X_z, n_1 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_u \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_u, n_1 \rangle,$$

$$\langle X_z, n_2 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_u \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_u, n_2 \rangle, \tag{17}$$

$$\langle X_z, n_3 \rangle = \left(\frac{\phi_2(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_u \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_u, n_3 \rangle,$$

$$\langle X_z, n_4 \rangle = \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_u \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_2(w, z)}{\psi_3(w, z)}\right)_z \psi_3^2(w, z) = \langle Z_u, n_4 \rangle,$$



$$\begin{aligned}
 \langle Y_w, n_1 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_v \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_v, n_1 \rangle, \\
 \langle Y_w, n_2 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_v \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_v, n_2 \rangle, \\
 \langle Y_w, n_3 \rangle &= \left(\frac{\phi_2(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_v \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_w \psi_2^2(w, z) = \langle W_v, n_3 \rangle, \\
 \langle Y_w, n_4 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_v \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_2(w, z)}{\psi_3(w, z)}\right)_w \psi_3^2(w, z) = \langle W_v, n_4 \rangle,
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
 \langle Y_z, n_1 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_v \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_v, n_1 \rangle, \\
 \langle Y_z, n_2 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_v \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_v, n_2 \rangle, \\
 \langle Y_z, n_3 \rangle &= \left(\frac{\phi_2(u, v)}{\phi_1(u, v)}\right)_v \phi_1^2(u, v) \left(\frac{\psi_1(w, z)}{\psi_2(w, z)}\right)_z \psi_2^2(w, z) = \langle Z_v, n_3 \rangle, \\
 \langle Y_z, n_4 \rangle &= \left(\frac{\phi_3(u, v)}{\phi_2(u, v)}\right)_v \phi_2^2(u, v) \left(\frac{\psi_2(w, z)}{\psi_3(w, z)}\right)_z \psi_3^2(w, z) = \langle Z_v, n_4 \rangle,
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

$$\langle W_z, n_i \rangle = 0, \tag{20}$$

$$\langle Z_w, n_i \rangle = 0, \text{ , for all } i=1,2,3,4. \tag{21}$$

Considering that  $h$  is symmetric, we obtain  $h(X, W) \neq 0$ ,  $h(X, Z) \neq 0$ ,  $h(Y, W) \neq 0$ ,  $h(Y, Z) \neq 0$ . Thus, take into account this statement and the equations (15-21), the proof is complete.

### 3. Conclusion

In 1802, M.A. Lancret has stated a classical result which is “A necessary and sufficient condition that a curve be a general helix is that the ratio of curvature to torsion be constant” and in 1845, B. De Saint Venant has proved this result. Also, if both of  $\kappa$  and  $\tau$  are non-zero constant it is a general helix and we call it a circular helix. Its known that, straight line and circle are degenerate-helix examples ( $\kappa=0$ , if the curve is straight line and  $\tau=0$ , if the curve is a circle) (Kula vd., 2010). After these studies, many authors have studied helix curves, helix surfaces and helix submanifolds (for instance, one can see (Barrera Cadena vd, 2015; Di Scala and Ruiz-Hernández, 2009, 2010, 2016; Fetcu, 2015; Küçükarslan and Yıldırım, 2018; Zıplar, 2012 and etc.). Some other motivations for the study of helix submanifolds comes from the physics of interfaces of liquid crystals and that they appear contained in the shadow boundary of a submanifold (Di Scala and Ruiz-Hernández, 2010).

In this study, considering two helix hypersurfaces which are obtained by planar curves, we obtain a convolution manifold with the aid of the immersions of these hypersurfaces and we give some important characterizations about this manifold. Consequently, the researchers who are dealing with some special areas of physics and medicine can use these characterizations about the geometry of the tensor product of helix hypersurfaces and this approach can bring a new perspective to researchers of these fields.

### References

Aksoy, A., 2008. Tensör Çarpım İmmersiyonlarının Geometrisi. Phd Thesis. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 107s.

Arslan, K., Ezentas, R., Mihai, I., Murathan, C. and Özgür, C., 2001. Tensor Product Surfaces of a Euclidean Space Curve and a Euclidean Plane Curve, Beiträ ge zur Algebra und Geometrie. 42 (2), 523-530.

- Barrera Cadena, C., J. Di Scala, A., Ruiz-Hernández, G., 2015. Helix Surfaces in Euclidean Spaces. *Beiträge zur Algebra und Geometrie*, 56, 551–573.
- Chen, B.Y., 1973. *Geometry of Submanifolds*, M. Dekker, New York, 298p.
- Chen, B.Y., 2002. Convolution of Riemannian Manifolds and its Applications. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 66(2), 177-191.
- Chen, B.Y., 2003. More on Convolution of Riemannian Manifolds. *Contributions to Algebra and Geometry*, 44(1), 9-24.
- Decruyenaere, F., Dillen, F., Verstraelen, L. and Vrancken, L., 1993. The Semiring of Immersions of Manifolds. *Beiträge Algebra Geometrie (Contrib. Alg. Geom.)*, 34, 209-215.
- Di Scala, AJ., Ruiz-Hernández, G., 2009. Helix Submanifolds of Euclidean Spaces. *Monatshefte für Mathematik* 157, 205–215.
- Di Scala, AJ., Ruiz-Hernández, G., 2010. Higher Codimensional Euclidean Helix Submanifolds. *Kodai Mathematical Journal*, 33(2), 192-210.
- Di Scala, AJ., Ruiz-Hernández, G., 2016. Minimal Helix Submanifolds and Minimal Riemannian Foliations. *Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana*, 22, 229–250.
- Fetcu, D., 2015. A Classification Result for Helix Surfaces with Parallel Mean Curvature in Product Spaces. *Arkiv för Matematik*, 53, 249–258.
- Kula, L., Ekmekci, N., Yaylı, Y., İlarıslan, K., 2010. Characterizations of Slant Helices in Euclidean 3-Space. *Turkish Journal of Mathematics*, 34, 261–273.
- Küçükarslan, Y.Z., Yıldırım, Y.M., 2018. On k-Type 2-Degenerate Slant Helices in 4-Dimensional Minkowski Space-Time. *Journal of Advanced Physics*, 7(1), 147-151.
- Mihai, I., Rosca, R., Verstraelen, L., Vrancken, L., 1994/1995. Tensor Product Surfaces of Euclidean Planar Curves. *Rendiconti del Seminario Matematico di Messina*, 3, 181-188.
- O'Neill, B., 1983. *Semi-Riemannian Geometry*, Academic Press, New York, 483p.
- Zıplar, E., 2012. Helix Hypersurfaces and Special Curves. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 7(25), 1233–1245.

## Sabit Fuzzy Nokta Teoremleri

### *Fixed Fuzzy Point Theorems*

**Ferhan ŞOLA ERDURAN\***

*Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 06500, Ankara*

• Geliş tarihi / Received: 19.09.2019 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 05.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 13.05.2020

#### **Öz**

Bu çalışmada, fuzzy alt kümeler ailesi üzerinde verilmiş olan Hausdorff fuzzy metrik uzaylarda, uzaklığı değiştiren fonksiyonlar yardımıyla ilk olarak fuzzy fonksiyonları için sabit fuzzy nokta teoremi ispatlanmış ve teorem örneklerle desteklenmiştir. Daha sonra, ana teoremin bir uygulaması olarak ortak sabit fuzzy nokta teoremi ve ispatı verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fuzzy Metrik, Sabit Fuzzy Nokta, Uzaklığı Değiştiren Fonksiyon

#### **Abstract**

*In this study, firstly, fuzzy fixed-point theorem was proved for fuzzy mappings by altering distance functions in Hausdorff fuzzy metric spaces which are given on family of fuzzy subsets and the theorem was supported by examples. After that, common fuzzy fixed-point theorem and its proof were given as an application of main theorem.*

**Keywords:** Fuzzy Metric, Fixed Fuzzy Point, Altering Distance Function

\*Ferhan ŞOLA ERDURAN; ferhansola@gazi.edu.tr, Tel: (0312) 202 10 86, orcid.org/0000-0002-9433-1016

## 1. Giriş

Günlük yaşantımızda doğruluğu kişiden kişiye değişen pek çok durumla karşılaşmaktayız. Örneğin zeki öğrenci, yaşlı kadın, ılık su, pahalı ev denildiğinde ortaya çıkan belirsizliğin matematiksel olarak tanımlanması oldukça zordur. Bunun için interval matematik, olasılık teori, fuzzy küme teori gibi teoriler geliştirilerek belirsizlik, modern anlamda matematiksel olarak modellenmeye çalışılmıştır. Bu teoriler arasında belirsizlikleri doğru çözüme kavuşturma konusunda ortaya konulan en uygun teori, Zadeh (1965) tarafından verilen fuzzy (bulanık) kümeler teorisidir. Fuzzy küme, doğru veya yanlış, 0 veya 1 ikili mantık sistemi yerine doğruluk değeri  $[0,1]$  aralığında değişen dereceli değerler almaktadır. Böylece, klasik her küme bir fuzzy küme olarak ifade edilebilmektedir.

Zadeh'in makalesinden sonra (Chang, 1968) ve (Lowen, 1976) fuzzy topolojik uzay kavramını tanımlayarak klasik topolojide yapılan çalışmalar için yeni bir alan oluşturmuşlardır. (Kramosil ve Michalek, 1975) fuzzy metrik tanımından sonra Hausdorff uzay yapısının elde edilebilmesi için (George ve Veeramani, 1994) tarafından fuzzy metrik uzay tanımı tekrar verilmiş ve bu sayede klasik analizde yapılan pek çok çalışma bu uzaylara taşınmıştır.

Fuzzy metrik uzaylar, özellikle sabit nokta teori araştırmacıları tarafından yoğun ilgi görmüş, farklı koşullar altında bir fonksiyonun sabit noktasının varlığı ve tekliği incelenmiştir. (Chitra ve Subrahmanyam, 1987; Mihet, 2004; Türkoğlu vd., 2006; Alaca, 2009). (Heilpern, 1981) fuzzy fonksiyon kavramını vermiş ve bu fonksiyonların sabit noktalarını bulmada ilk kez Hausdorff metrik uzayı, (Nadler, 1969) in klasik metrik uzaylarda çoğul değerli fonksiyonlar için verdiği sabit nokta teoreminden yola çıkarak kullanmıştır. (Rodriguez-Lopez ve Romaguera, 2004) ise bir fuzzy metrik uzayın boş olmayan kompakt alt kümelerinin ailesi üzerinde Hausdorff fuzzy metriği tanımlamış ve bu metriğin tamlık, pre-kompaktlık ve tamlama gibi çeşitli özelliklerini incelemişlerdir.

Yakın zamanda (Phiangsunnoen vd., 2014) bir fuzzy metrik uzayın fuzzy alt kümelerinin boştan farklı ve kompakt seviye kümelerinin ailesi üzerinde Hausdorff fuzzy metriği kullanarak ilgi çekici sabit fuzzy nokta teoremleri ispatlamışlardır. Hemen ardından (Abbas vd., 2015), Hausdorff fuzzy metrik uzaylarda genelleştirilmiş büzülme şartını sağlayan

fonksiyonların sabit ve ortak sabit fuzzy noktalarını bulmaya yarayan daha genel sonuçlar elde etmişlerdir.

Diğer taraftan, (Khan vd., 1984) klasik metrik uzaylardaki sabit nokta teori çalışmalarında kullandıkları ve uzaklığı değiştiren fonksiyon olarak adlandırdıkları fonksiyon yardımıyla aşağıdaki sonucu elde etmişlerdir:

### Tanım 1.1

$\phi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$  dönüşümü;

$$i) \quad \phi(t) = 0 \Leftrightarrow t = 0,$$

ii) sürekli ve monoton azalmayan

özelliklerini sağlarsa uzaklığı değiştiren fonksiyon olarak tanımlanır (Khan vd., 1984).

### Teorem 1.2

$(X, d)$  tam metrik uzay,  $\phi$  uzaklığı değiştiren fonksiyon olmak üzere her  $x, y \in X$ ,  $0 < c < 1$  için  $f: X \rightarrow X$  fonksiyonu

$$\phi(d(fx, fy)) \leq c\phi(d(x, y)) \quad (1)$$

eşitsizliğini sağlasın. Bu durumda  $f$  nin bir tek sabit noktası vardır (Khan vd., 1984).

Gerek klasik metrik gerekse fuzzy metrik uzaylarda, bazı özel koşullar eklenerek uzaklığı değiştiren fonksiyon yardımıyla pek çok sabit nokta teori çalışmaları yapılmıştır (Naidu, 2003; Popa ve Mocanu, 2009; Shen vd., 2012; Nashine ve Aydi, 2013; Dosenovic vd., 2014).

Daha sonra (Rhoades, 2001) tanım olarak her ne kadar uzaklığı değiştiren fonksiyona benzese de kullanım şekli tamamen farklı olan zayıf büzülme dönüşümünü kullanarak aşağıdaki sonucu elde etmiştir:

### Tanım 1.3

$(X, d)$  metrik uzay,  $\varphi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ ,  $\varphi(t) = 0 \Leftrightarrow t = 0$  özelliğini sağlayan artan sürekli bir fonksiyon olmak üzere  $T: X \rightarrow X$  dönüşümü, her  $x, y \in X$  için

$$d(Tx, Ty) \leq d(x, y) - \varphi(d(x, y)) \quad (2)$$

eşitsizliğini sağlar ise  $T$  ye zayıf büzülme denir (Rhoades, 2001).

### Teorem 1.4

$(X, d)$  metrik uzay olsun.  $T: X \rightarrow X$  zayıf büzülme dönüşümü ise  $T$  nin bir tek sabit noktası vardır (Rhoades, 2001).

Biz de bu çalışmada, fuzzy alt kümeler ailesi üzerinde uyarlanmış olan Hausdorff fuzzy metrik uzaylarda uzaklığı değiştiren fonksiyonlar vasıtasıyla sabit fuzzy nokta ve ortak sabit fuzzy nokta teoremleri ile ana teoremi destekleyen örnekler verdik.

## 2. Temel Bilgiler

Bu bölümde ileride kullanılacak olan bazı tanım ve örnekler verilmiştir.

### 2.1. Tanım

$X \neq \emptyset$  herhangi bir küme ve  $I = [0,1] \subset \mathbb{R}$  olsun.  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu tarafından karakterize edilen  $A = \{(x, \mu_A(x)): x \in X\} \subset X \times I$  kümesine  $X$  de bir fuzzy küme denir. Burada  $\mu_A$  ya  $A$  fuzzy kümesinin üyelik fonksiyonu ve her  $x \in X$  için  $\mu_A(x) \in I$  değerine de  $x$  in  $A$  ya ait olma derecesi denir.  $X$  den  $I$  ya tanımlanan bütün fonksiyonların kümesi  $I^X$  ile gösterilir ve her bir elemanı bir fuzzy kümesidir (Zadeh, 1965).

Buradan itibaren yazım kolaylığı açısından  $\mu_A(x)$  yerine  $A(x)$  gösterimi kullanılacaktır.

### 2.2. Tanım

$X \neq \emptyset$ ,  $A \in I^X$  ve  $\alpha \in (0,1]$  olsun.  $[A]_\alpha = \{x \in X: A(x) \geq \alpha\}$  kümesine  $A$  nın  $\alpha$  seviye kümesi denir. Eğer,  $X$  kümesi üzerinde bir topoloji varsa,  $\bar{B}, B$  nin  $X$  deki topolojiye göre kapanışı olmak üzere

$$[A]_0 = \overline{\{x \in X: A(x) > 0\}} \quad (3)$$

dır. Ayrıca  $0 < \alpha < \beta \leq 1$  için,  $[A]_\beta \subset [A]_\alpha$  dır (Wong, 1974).

### 2.3. Tanım

Her  $\alpha \in (0,1]$  ve  $x \in X$  için üyelik fonksiyonu

$$x_\alpha(y) = \begin{cases} \alpha, & y = x \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanan  $x_\alpha: X \rightarrow [0,1]$  fuzzy kümesine  $X$  de bir fuzzy nokta denir (Wong, 1974).

### 2.4. Tanım

$X \neq \emptyset$  bir küme,  $A \in I^X$  ve  $x_\alpha$  bir fuzzy nokta olsun.  $\forall x \in X$  için  $\alpha \leq A(x)$  ise,  $x_\alpha \in A$  denir. Bir fuzzy küme, bu fuzzy kümeye ait fuzzy noktaların birleşimi şeklinde yazılabilir,

dolayısıyla  $A$  ya ait her fuzzy nokta aynı zamanda  $A$  nın fuzzy alt kümesidir (Pao-Ming ve Ying-Ming, 1980).

### 2.5. Tanım

$*$ :  $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  ikili işlemi,  $\forall a, b, c, d \in [0,1]$  için,

i)  $*$  değişmeli ve birleşmeli,

ii)  $*$  sürekli,

iii)  $a * 1 = a$ ,

iv)  $a \leq c$  ve  $b \leq d$  iken  $a * b \leq c * d$

şartlarını sağlıyorsa,  $*$  ikili işlemine sürekli üçgen norm (sürekli  $t$ -norm) denir (Schweizer ve Sklar, 1960).

### 2.6. Örnek

$\forall a, b \in [0,1]$  için,  $a * b = \min\{a, b\}$ ,  $a \cdot b = ab$ ,  $a * b = \max\{a + b - 1, 0\}$  şeklinde tanımlanan ikili işlemler sürekli  $t$ -normdur.

### 2.7. Tanım

$X \neq \emptyset$  herhangi bir küme,  $*$  işlemi sürekli  $t$ -norm  $M: X \times X \times (0, \infty) \rightarrow (0,1]$  fonksiyonu;  $\forall x, y, z \in X$  ve  $s, t > 0$  için,

FM-1)  $M(x, y, t) > 0$ ,

FM-2)  $M(x, y, t) = 1 \Leftrightarrow x = y$ ,

FM-3)  $M(x, y, t) = M(y, x, t)$ ,

FM-4)  $M(x, y, t) * M(y, z, s) \leq M(x, z, t + s)$ ,

FM-5)  $M(x, y, \cdot): (0, \infty) \rightarrow (0,1]$  sürekli

koşullarını sağlarsa  $M$  ye fuzzy metrik,  $(X, M, *)$  üçlüsüne de fuzzy metrik uzay denir (George ve Veeramani, 1994).

### 2.8. Örnek

$X \neq \emptyset$  herhangi bir küme,  $f: X \rightarrow \mathbb{R}^+$  bire bir fonksiyon ve  $g: \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, \infty)$  artan sürekli fonksiyon olsun.  $\alpha, \beta > 0$  sabit sayılar ve  $a * b = ab$  olmak üzere her  $x, y \in X$  ve  $t > 0$  için,

$$M(x, y, t) = \left( \frac{(\min\{f(x), f(y)\})^\alpha + g(t)}{(\max\{f(x), f(y)\})^\alpha + g(t)} \right)^\beta \quad (5)$$

şeklinde tanımlanan  $M$  fonksiyonu,  $X$  üzerinde bir fuzzy metriktir.

Eğer,  $f = I$  (birim fonksiyon) ve  $\alpha = \beta = 1$  olarak alınırsa,

a)  $X = \mathbb{R}^+$  ve  $g = I$  olması halinde



$$M(x, y, t) = \frac{\min\{x,y\}+t}{\max\{x,y\}+t} \quad (6)$$

b)  $X = \mathbb{N}$  ve  $g(t) = 0$  olması halinde

$$M(x, y, t) = \frac{\min\{x,y\}}{\max\{x,y\}} \quad (7)$$

fuzzy metrikleri elde edilir (Gregori vd., 2011).

### 2.9. Örnek

$(X, d)$  bir metrik uzay, her  $a, b \in [0,1]$  için  $a * b = ab$  (veya  $a * b = \min\{a, b\}$ ) olmak üzere her  $x, y \in X$  ve  $t > 0$  için,

$$M(x, y, t) = \frac{t}{t+d(x,y)} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanan  $M$  fonksiyonu,  $X$  üzerinde bir fuzzy metriktir. Bu fuzzy metriğe,  $d$  metriğinden indirgenen standart fuzzy metrik denir (George ve Veeramani, 1994).

### 2.10. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay,  $\emptyset \neq B \subset X$  ve  $a \in X$  olsun.

$$M(a, B, t) = \sup\{M(a, b, t) : b \in B\} \quad (9)$$

ifadesine  $a$  nın  $t$  ye göre  $B$  kümesine yakın olma derecesi denir (Veeramani, 2001).

### 2.11. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay ve  $\{x_n\} \subset X$  olsun.  $\forall t > 0$  için  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_n, x, t) = 1$  şartı sağlanırsa  $\{x_n\}$  dizisi  $x$  noktasına yakınsar denir ve  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = x$  şeklinde gösterilir (George ve Veeramani, 1994).

### 2.12. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay ve  $\{x_n\} \subset X$  olsun.

i) Her  $t > 0$  ve her  $p \in \mathbb{N}$  için,  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_{n+p}, x_n, t) = 1$  ise  $\{x_n\}$  dizisine G-Cauchy dizisi denir.

ii)  $X$  deki her G-Cauchy dizisi yakınsak ise,  $(X, M, *)$  fuzzy metrik uzayına G-tamdır denir (Grabiec, 1988).

### 2.13. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay ve  $A \subset X$  olsun.

i)  $A$  içindeki yakınsak her dizinin limiti  $A$  da ise, yani  $\{x_n\} \subset A$  ve  $x_n \rightarrow x$  iken  $x \in A$  ise,  $A$  ya  $X$  de kapalıdır denir.

ii)  $A$  içindeki her dizinin  $A$  da en az bir yakınsak alt dizisi var ise,  $A$  kümesine  $X$  de kompakt denir (George ve Veeramani, 1994).

## 3. Hausdorff Fuzzy Metrik Uzaylar

### 3.1. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay ve  $K(X)$ ,  $X$  in boştan farklı kompakt alt kümelerinin ailesini göstermek üzere her  $A, B \in K(X)$  ve  $t > 0$  için,

$$H_M(A, B, t) = \min \left\{ \inf_{a \in A} M(a, B, t), \inf_{b \in B} M(A, b, t) \right\} \quad (10)$$

ile tanımlanan  $H_M: K(X) \times K(X) \times (0, \infty) \rightarrow [0,1]$  fonksiyonuna  $M$  fuzzy metriğinin oluşturduğu Hausdorff fuzzy metrik denir (Rodriguez-Lopez ve Romaguera, 2004).

### 3.2. Tanım

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay olmak üzere  $X$  deki  $\alpha$  seviye kümeleri boştan farklı ve kompakt olan fuzzy kümelerin ailesini  $W_\alpha(X)$  ile gösterelim. Yani,

$$W_\alpha(X) = \{A \in I^X : [A]_\alpha \neq \emptyset \text{ ve kompakt}\}. \quad (11)$$

$A, B \in W_\alpha(X)$  ve  $\alpha \in [0,1]$  için,

$$M_\alpha(x, B, t) = \sup_{y \in [B]_\alpha} M(x, y, t) \quad (12)$$

şeklinde tanımlanan  $M_\alpha$ ,  $\alpha$  nın artmayan bir fonksiyonu ve

$$H_{M_\alpha}(A, B, t) = H_M([A]_\alpha, [B]_\alpha, t) \quad (13)$$

şeklinde tanımlanan  $H_{M_\alpha}$  da  $W_\alpha(X)$  üzerinde  $M$  fuzzy metriğinin oluşturduğu Hausdorff fuzzy metriktir (Abbas vd., 2015).

### 3.3. Önerme

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay,  $x, y \in X$  ve  $A, B \in W_\alpha(X)$  olmak üzere aşağıdaki ifadeler sağlanır:

a) Her  $x \in X$  ve  $t > 0$  için  $M_\alpha(x, B, t) = M(x, b_0, t)$  olacak şekilde en az bir  $(b_0)_\alpha \subset B$  vardır.

b)  $M_\alpha(x, A, t) = 1$  ise,  $x_\alpha \subset A$  dır.

c)  $M(x, y_x, t) = M_\alpha(x, B, t)$  olacak şekildeki  $(y_x)_\alpha \subset B$  için  $M_\alpha(x, C, t + s) \geq M_\alpha(x, B, t) * M_\alpha(y_x, C, s)$  dir (Abbas vd., 2015).

**3.4. Tanım**

$(X, M, *)$  bir fuzzy metrik uzay,  $Y \subset X$  herhangi bir alt küme olmak üzere  $F: Y \rightarrow W_\alpha(X)$  fonksiyonuna  $Y$  üzerinde fuzzy fonksiyonu denir. Her  $y \in Y$  için  $Fy: X \rightarrow [0,1]$  üyelik fonksiyonu tarafından karakterize edilen  $Fy$  kümesi  $X$  de bir fuzzy kümesidir.  $Fy(x)$ ,  $x \in X$  in  $Fy$  fuzzy kümesine aitlik derecesi olup,  $Y$  üzerindeki  $F$  fuzzy fonksiyonu,  $Y \times X$  in bir fuzzy alt kümesidir (Abbas vd., 2015).

**3.5. Tanım**

$X \neq \emptyset$  herhangi bir küme ve  $F, X$  üzerinde fuzzy fonksiyonu olsun.  $x_\alpha \subset Fx$ , yani  $\alpha(x) \leq Fx(x)$  ya da  $x \in [Fx]_\alpha$  ise,  $x_\alpha$  ya  $F$  fuzzy fonksiyonunun sabit fuzzy noktası denir. Burada  $x$  in  $Fx$  deki sabitlik derecesi en az  $\alpha$  dır. Eğer,  $x_1 \subset Fx$  ise,  $x$  noktasına  $F$  fuzzy fonksiyonunun sabit noktası denir (Estruch ve Vidal, 2001).

**3.6. Tanım**

$(X, M, *)$  fuzzy metrik uzay,  $F: X \times X \rightarrow W_\alpha(X)$  bir fuzzy fonksiyonu ve  $g: X \rightarrow X$  bir fonksiyon olmak üzere

- a)  $(gx)_\alpha \subset Fx$ , yani  $gx \in [Fx]_\alpha$  ise,  $x_\alpha$  ya  $g$  ile  $F$  nin çakışık sabit fuzzy noktası denir.  $g$  ile  $F$  nin tüm çakışık sabit fuzzy noktalarının kümesi  $C_\alpha(g, F)$  ile gösterilir.
- b) Eğer  $x_\alpha = (gx)_\alpha \subset Fx$ , yani  $x = gx \in [Fx]_\alpha$  ise,  $x_\alpha$  ya  $g$  ile  $F$  nin ortak sabit fuzzy noktası denir (Ali ve Abbas, 2013).

$$\begin{aligned} \phi\left(\frac{1}{M(x_1, x_2, t)} - 1\right) &= \phi\left(\frac{1}{\sup_{y \in [Fx_1]_\alpha} M(x_1, y, t)} - 1\right) \\ &\leq \phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx_0, Fx_1, t)} - 1\right) \\ &\leq \phi\left(\frac{1}{M(x_0, x_1, t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(x_0, x_1, t)} - 1\right) \\ &< \phi\left(\frac{1}{M(x_0, x_1, t)} - 1\right) \end{aligned} \tag{15}$$

olup  $\phi$  azalmayan olduğundan  $M(x_1, x_2, t) > M(x_0, x_1, t)$  bulunur. Bu şekilde devam edilerek  $[Fx_n]_\alpha \neq \emptyset$  ve kompakt olduğundan Önerme 3.3 den  $x_{n+1} \in [Fx_n]_\alpha$  var, öyle ki

$$\phi\left(\frac{1}{M(x_n, x_{n+1}, t)} - 1\right) = \phi\left(\frac{1}{\sup_{y \in [Fx_n]_\alpha} M(x_n, y, t)} - 1\right)$$

**4. Sabit Fuzzy Nokta Teoremleri**

Bu bölümde, uzaklığı değiştiren fonksiyonlar vasıtasıyla fuzzy fonksiyonları için sabit ve ortak sabit nokta teoremleri verilmiştir.

**4.1. Önerme**

$X \neq \emptyset$  ve  $g: X \rightarrow X$  bir fonksiyon olsun. Bu durumda  $g(E) = g(X)$  ve  $g: E \rightarrow X$  bire bir olacak şekilde bir  $E \subset X$  vardır (Haghi vd., 2011).

**4.2. Teorem**

$(X, M, *)$  G-tam fuzzy metrik uzay,  $\phi$  uzaklığı değiştiren fonksiyon ve  $\psi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ ,  $\psi(t) = 0 \Leftrightarrow t = 0$  özelliğini sağlayan alt yarı sürekli bir fonksiyon olmak üzere her  $x, y \in X$  ve her  $t > 0$  için  $F: X \rightarrow W_\alpha(X)$  fuzzy fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx_n, Fx, t)} - 1\right) &\leq \phi\left(\frac{1}{M(x_n, x, t)} - 1\right) - \\ \psi\left(\frac{1}{M(x_n, x, t)} - 1\right) \end{aligned} \tag{14}$$

şartını sağlasın. Bu durumda  $F$  nin sabit fuzzy noktası vardır.

**İspat**

$x_0 \in X$  verilsin.  $[Fx_0]_\alpha \neq \emptyset$  olduğundan  $x_1 \in [Fx_0]_\alpha$  olacak şekilde  $x_1 \in X$  vardır.  $[Fx_1]_\alpha \neq \emptyset$  ve kompakt olduğundan Önerme 3.3 den  $x_2 \in [Fx_1]_\alpha$  var, öyle ki

$$\begin{aligned}
 &\leq \phi \left( \frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx_{n-1}, Fx_n, t)} - 1 \right) \\
 &\leq \phi \left( \frac{1}{M(x_{n-1}, x_n, t)} - 1 \right) - \psi \left( \frac{1}{M(x_{n-1}, x_n, t)} - 1 \right) \\
 &< \phi \left( \frac{1}{M(x_{n-1}, x_n, t)} - 1 \right)
 \end{aligned} \tag{16}$$

olup  $\phi$  azalmayan olduğundan  $M(x_n, x_{n+1}, t) > M(x_{n-1}, x_n, t)$  bulunur.

O halde her  $n \in \mathbb{N}$  için  $M(x_n, x_{n+1}, t) > M(x_{n-1}, x_n, t)$  olup dolayısıyla  $(0,1]$  aralığında pozitif reel sayıların artan bir  $\{M(x_{n-1}, x_n, t)\}$  dizisi elde edilmiş olur.  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_{n-1}, x_n, t) = \delta(t)$  diyelim ve  $\delta(t) = 1$  olduğunu gösterelim. Kabul edelim ki  $\delta(t) < 1$  olacak şekilde  $t > 0$  var olsun. Yukarıdaki eşitsizlikte  $n \rightarrow \infty$  iken limit alınırsa,

$$\phi \left( \frac{1}{\delta(t)} - 1 \right) \leq \phi \left( \frac{1}{\delta(t)} - 1 \right) - \psi \left( \frac{1}{\delta(t)} - 1 \right) < \phi \left( \frac{1}{\delta(t)} - 1 \right) \tag{17}$$

olur ki bu bir çelişkidir. O halde  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_{n-1}, x_n, t) = 1$  dir. Her  $p \in \mathbb{N}$  için

$$M(x_n, x_{n+p}, t) \geq M(x_n, x_{n+1}, t/p) * M(x_{n+1}, x_{n+2}, t/p) * \dots * M(x_{n+p-1}, x_{n+p}, t/p) \tag{18}$$

ve böylece  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_n, x_{n+p}, t) = 1$  elde edilir. Bu da  $\{x_n\}$  dizisinin G-Cauchy dizisi olması demektir.  $X, G$ -tam fuzzy metrik uzay olduğundan  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = x$  olacak şekilde  $x \in X$  vardır.

Şimdi de  $x \in [Fx]_\alpha$  olduğunu gösterelim. (14) eşitsizliğinde  $x = x_n, y = x$  yazılırsa,

$$\phi \left( \frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx_n, Fx, t)} - 1 \right) \leq \phi \left( \frac{1}{M(x_n, x, t)} - 1 \right) - \psi \left( \frac{1}{M(x_n, x, t)} - 1 \right) \tag{19}$$

olup  $n \rightarrow \infty$  iken limit alınırsa

$$\lim_{n \rightarrow \infty} H_{M_\alpha}(Fx_n, Fx, t) = 1 \tag{20}$$

bulunur.  $x_{n+1} \in [Fx_n]_\alpha$  olduğundan

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{y \in [Fx]_\alpha} M(x_{n+1}, y, t) = 1 \tag{21}$$

ve dolayısıyla  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(x_n, y_n, t) = 1$  olacak şekilde  $[Fx]_\alpha$  da  $\{y_n\}$  dizisi elde edilir. Her  $n \in \mathbb{N}$  için

$$M(y_n, x, t) \geq M \left( y_n, x_n, \frac{t}{2} \right) * M \left( x_n, x, \frac{t}{2} \right) \tag{22}$$

yazılır ve  $n \rightarrow \infty$  iken limit alınırsa  $\lim_{n \rightarrow \infty} M(y_n, x, t) = 1$  yani  $\lim_{n \rightarrow \infty} y_n = x$  bulunur.  $[Fx]_\alpha$  kompakt ve  $y_n \in [Fx]_\alpha$  olduğundan  $x \in [Fx]_\alpha$  dır.

Sonuç olarak  $x_\alpha$  noktası  $F$  nin sabit fuzzy noktasıdır.

### 4.3. Örnek

$X = \{1,2,3\}$  ve  $d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$  fonksiyonu; her  $x \in X$  için

$d(x, x) = 0, d(1,2) = 9, d(1,3) = 12, d(2,3) = 15$  olsun. Her  $a, b \in [0,1]$  için  $a * b = ab$  ve her  $x, y \in X,$

$t > 0$  için  $M(x, y, t) = \frac{t}{t+d(x,y)}$  olarak tanımlansın.

$\alpha = \frac{2}{3}$  olmak üzere  $F: X \rightarrow W_\alpha(X)$  fuzzy fonksiyonunu aşağıdaki şekilde verilsin:

$$(F1)(x) = \begin{cases} 2/3, & x = 1 \\ 1/3, & x = 2 \\ 0, & x = 3 \end{cases} \quad (F2)(x) = \begin{cases} 3/4, & x = 1 \\ 0, & x = 2 \\ 1/2, & x = 3 \end{cases} \quad (F3)(x) = \begin{cases} 1/2, & x = 1 \\ 2/3, & x = 2 \\ 1/3, & x = 3. \end{cases} \quad (23)$$

$[F1]_\alpha = \{x \in X : (F1)(x) \geq \alpha\} = \{1\}$  olarak bulunur. Benzer şekilde  $[F2]_\alpha = \{1\}$  ve  $[F3]_\alpha = \{2\}$  elde edilir.  $\phi(x) = x$ ,  $\psi(x) = \frac{x}{36}$  olmak üzere (14) eşitsizliğinin sağlandığını gösterelim:

**1. durum:**  $x, y \in \{1,2\}$  ise;  $H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) = H_M(\{1\}, \{1\}, t) = 1$  olacağından (14) sağlanır.

**2. durum:**  $x = 1, y = 3$  ise;

$$\begin{aligned} H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) &= H_M([F1]_\alpha, [F3]_\alpha, t) \\ &= \min \left\{ \inf_{x \in [F1]_\alpha} M(x, [F3]_\alpha, t), \inf_{y \in [F3]_\alpha} M([F1]_\alpha, y, t) \right\} \\ &= \frac{t}{t+9} \end{aligned} \quad (24)$$

olup,

$$\phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) = \phi\left(\frac{9}{t}\right) = \frac{9}{t} \leq \frac{35}{3t} = \frac{12}{t} - \frac{1}{3t} = \phi\left(\frac{1}{M(x,y,t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(x,y,t)} - 1\right) \quad (25)$$

yani (14) sağlanır.

**3. durum:**  $x = 2, y = 3$  ise;

$$\begin{aligned} H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) &= H_M([F2]_\alpha, [F3]_\alpha, t) \\ &= \min \left\{ \inf_{x \in [F2]_\alpha} M(x, [F3]_\alpha, t), \inf_{y \in [F3]_\alpha} M([F2]_\alpha, y, t) \right\} \\ &= \frac{t}{t+9} \end{aligned} \quad (26)$$

olup,

$$\phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) = \phi\left(\frac{9}{t}\right) = \frac{9}{t} \leq \frac{175}{12t} = \frac{15}{t} - 12\frac{5}{t} = \phi\left(\frac{1}{M(x,y,t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(x,y,t)} - 1\right) \quad (27)$$

yani (14) sağlanır.

Böylece Teorem 4.2 nin tüm koşulları sağlanmış olur. Ayrıca  $1 \in [F1]_\alpha = \{1\}$  olup  $x = 1, F$  nin sabit noktasıdır.

#### 4.4. Örnek

$X = [0,1]$  olsun. Her  $x, y \in X$ ,  $t > 0$  için  $M(x, y, t) = \frac{t}{t+|x-y|}$  ve her  $a, b \in [0,1]$  için  $a * b = \min\{a, b\}$  olarak tanımlansın.  $\alpha \in (0,1]$  olmak üzere  $F: X \rightarrow W_\alpha(X)$  fuzzy fonksiyonunu;

$$F0(x) = \begin{cases} \alpha, & x = 0 \\ \alpha/3, & 0 < x \leq 1/50 \\ 0, & 1/50 < x \leq 1 \end{cases} \quad (28)$$

ve  $r \neq 0$  için,

$$Fr(x) = \begin{cases} \alpha, & 0 \leq x \leq r/75 \\ 2\alpha/3, & r/75 < x \leq r/15 \\ \alpha/4, & r/15 < x \leq 1 \end{cases} \quad (29)$$

şeklinde verilsin.  $\phi, \psi$  fonksiyonları Örnek 4.3 deki gibi alınsın. Buna göre;

**1. durum:**  $x = y = 0$  ise,  $H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) = H_M(\{0\}, \{0\}, t) = 1$  olacağından (14) sağlanır.

**2. durum:**  $x = 0$  ve  $y \neq 0$  ise,  $[Fx]_\alpha = \{0\}$  ve  $[Fy]_\alpha = [0, y/75]$  olarak bulunur. Buradan,

$$\begin{aligned} H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) &= H_M([Fx]_\alpha, [Fy]_\alpha, t) \\ &= H_M(\{0\}, [0, y/75], t) \\ &= \frac{t}{t + y/75} \end{aligned} \tag{30}$$

olup,

$$\phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) = \phi\left(\frac{y}{75t}\right) = \frac{y}{75t} \leq \frac{35y}{36t} = \phi\left(\frac{1}{M(x, y, t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(x, y, t)} - 1\right). \tag{31}$$

**3. durum:**  $x \neq 0$  ve  $y \neq 0$  ise,  $[Fx]_\alpha = [0, x/75]$  ve  $[Fy]_\alpha = [0, y/75]$  olarak bulunur. Öyleyse,

$$\begin{aligned} H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t) &= H_M([Fx]_\alpha, [Fy]_\alpha, t) \\ &= H_M([0, x/75], [0, y/75], t) \\ &= \frac{75t}{75t + |x - y|} \end{aligned} \tag{32}$$

olup,

$$\phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) = \phi\left(\frac{|x-y|}{75t}\right) = \frac{|x-y|}{75t} \leq \frac{35|x-y|}{36t} = \phi\left(\frac{1}{M(x, y, t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(x, y, t)} - 1\right). \tag{33}$$

Dolayısıyla, Teorem 4.2 nin tüm koşulları sağlanmış olur. Ayrıca  $0 \in [F0]_\alpha = \{0\}$  olup  $x = 0, F$  nin sabit noktasıdır.

Teorem 4.3 ün bir uygulaması olarak aşağıdaki teoremi verelim.

**4.5. Teorem**

$(X, M, *)$  G-tam fuzzy metrik uzay,  $\phi$  uzaklığı değiştiren fonksiyon ve  $\psi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ ,  $\psi(t) = 0 \Leftrightarrow t = 0$  özelliğini sağlayan alt yarı sürekli bir fonksiyon ve  $\cup_{x \in X} [Fx]_\alpha \subseteq g(X)$  olmak üzere  $g: X \rightarrow X$  ve  $F: X \rightarrow W_\alpha(X)$  fuzzy fonksiyonu; her  $x, y \in X$  ve her  $t > 0$  için

$$\phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) \leq \phi\left(\frac{1}{M(gx, gy, t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(gx, gy, t)} - 1\right) \tag{34}$$

şartını sağlasın. Bu durumda  $g$  ile  $F$  nin çakışık sabit fuzzy noktası vardır. Eğer, en az bir  $x_\alpha \in C_\alpha(g, F)$  için  $g^2x = gx$  ise  $g$  ile  $F$  nin ortak sabit fuzzy noktası vardır.

**İspat**

Önerme 4.1 den  $g(E) = g(X)$  ve  $g: E \rightarrow X$  bire bir olacak şekilde bir  $E \subset X$  vardır.

$$\mathcal{A}: g(E) \rightarrow W_\alpha(X), \mathcal{A}(gx) = Fx \tag{35}$$

şeklinde tanımlanan  $\mathcal{A}$  dönüşümü,  $g$  bire bir olduğundan iyi tanımlıdır.

$$\begin{aligned} \phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(\mathcal{A}(gx), \mathcal{A}(gy), t)} - 1\right) &= \phi\left(\frac{1}{H_{M_\alpha}(Fx, Fy, t)} - 1\right) \\ &\leq \phi\left(\frac{1}{M(gx, gy, t)} - 1\right) - \psi\left(\frac{1}{M(gx, gy, t)} - 1\right) \end{aligned} \tag{36}$$

elde edilir ki bu da  $\mathcal{A}$  dönüşümünün , (14) eşitsizliğini ve Teorem 4.3 deki tüm şartları sağladığını gösterir. O halde  $\mathcal{A}$  dönüşümü, Teorem 4.3 e uygulanırsa  $\mathcal{A}$ ,  $r \in [\mathcal{A}(r)]_\alpha$  olacak şekilde  $r \in g(E)$  sabit fuzzy noktaya sahiptir.  $\bigcup_{x \in X} [Fx]_\alpha \subset g(X)$  olduğundan  $(gr')_\alpha = r_\alpha$  olacak şekilde  $r' \in X$  vardır. Dolayısıyla  $(gr')_\alpha \subset x_n \mathcal{A}(gr') = Fr'$  yani  $gr' \in [Fr']_\alpha$  dir. Öyleyse  $r'_\alpha$  noktası,  $F$  ile  $g$  nin çakışık sabit fuzzy noktasıdır. Yani  $C_\alpha(g, F) \neq \emptyset$  dir.

Hipotezden, en az bir  $x_\alpha \in C_\alpha(g, F)$  için  $g^2x = gx$  olsun.  $g^2x = gx \in [Fx]_\alpha$  olduğundan  $(gx)_\alpha$   $F$  ile  $g$  nin ortak sabit fuzzy noktasıdır.

## 5. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, Hausdorff fuzzy metrik uzaylarda uzaklığı değiştiren fonksiyonlar yardımı ile sabit ve ortak sabit fuzzy nokta teoremleri verilmiştir. Son yıllarda yapılan pek çok çalışma sayesinde bu alanın önemi giderek artmakta ve uygulama açısından yeni imkanlar sunmaktadır. Burada elde edilen sonuçlar, daha sonra yapılacak olan farklı büzülme tipleri ve farklı koşullar altında sabit fuzzy nokta araştırmaları için kullanılabilir.

## Teşekkür

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları titiz ve özverili çalışmaları için sayın editörlere ve değerli katkılarından dolayı sayın hakemlere teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Abbas, M., Ali, B. and Vetro, C., 2015. Fixed Fuzzy Points of Fuzzy Mappings in Hausdorff Fuzzy Metric Spaces with Application. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12(3), 31-45.
- Alaca, C., 2009. On Fixed Point Theorems in Intuitionistic Fuzzy Metric Spaces. *Communications of the Korean Mathematical Society*, 24(4), 565-579.
- Ali, B. and Abbas, M., 2013. Suzuki Type Fixed Point Theorem for Fuzzy Mappings in Ordered Metric Spaces. *Fixed Point Theory and Applications*, 2013:19, 1-19.
- Chang, C. L., 1968. Fuzzy Topological Space. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 24, 182-190.
- Chitra, A. and Subrahmanyam P. V., 1987. Fuzzy Sets and Fixed Points. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 124, 584-590.
- Dosenovic, T., Rakic, D., Brdar, M., 2014. Fixed Point Theorems in Fuzzy Metric Spaces Using Altering Distance. *Filomat*, 28(7), 1517-1524.
- Estruch, V. D. and Vidal, A., 2001. A Note on Fixed Fuzzy Points for Fuzzy Mappings. *Rendiconti*

dell'Istituto di Matematica dell'Universita di Trieste, 32, 39-45.

- George, A. and Veeramani, P., 1994. On Some Results in Fuzzy Metric Spaces. *Fuzzy Sets and Systems*, 64, 395-399.
- Grabiec, M., 1988. Fixed Points in Fuzzy Metric Spaces. *Fuzzy Sets and Systems*, 27, 385-389.
- Gregori, V., Morillas, S. and Sapena, A., 2011. Examples of Fuzzy Metrics and Applications. *Fuzzy Sets and Systems*, 170, 95-111.
- Haghi, R. H., Rezapour, Sh. and Shahzad, N., 2011. Some Fixed Point Generalizations are not Real Generalizations. *Nonlinear Analysis*, 74(5), 1799-1803.
- Heilpern, S., 1981. Fuzzy Mappings and Fixed Point Theorem. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 83(2), 566-569.
- Khan, M.S., Swaleh, M. and Sessa, S., 1984. Fixed Point Theorems by Altering Distances Between the Points. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 30(1), 1-9.
- Kramosil, O. and Michalek, J., 1975. Fuzzy Metric and Statistical Metric Spaces. *Kybernetika*, 11, 326-334.
- Lowen, R., 1976. Fuzzy Topological Spaces and Fuzzy Compactness. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 56, 621-633.
- Mihet, D., 2004. A Banach Contraction Theorem in Fuzzy Metric Spaces. *Fuzzy Sets and Systems*, 144, 431-439.
- Nadler, S. B., 1969. Multivalued Contraction Mappings. *Pacific Journal of Mathematics*, 30(2), 475-488.
- Naidu, S. V. R., 2003. Some Fixed Point Theorems in Metric Spaces by Altering Distances. *Czechoslovak Mathematical Journal*, 53(128), 205-212.
- Nashine H. K. and Aydi, H., 2013. Coupled Fixed Point Theorems for Contractions Involving Altering Distances in Ordered Metric Spaces. *Mathematical Sciences*, 7(20), 2013.



- Pao-Ming, P. and Ying-Ming, L., 1980. Fuzzy Topology: II. Product and Quotient Spaces. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 77, 20-37.
- Phiangsunnoen, S., Sintunavarat, W. and Kumam, P., 2014. Fuzzy Fixed Point Theorems in Hausdorff Fuzzy Metric Spaces. *Journal of Inequalities and Applications*, 2014(201), 1-10.
- Popa, V. and Mocanu, M., 2009. Altering Distance and Common Fixed Points Under Implicit Relations. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 38(3), 329-337.
- Rhoades, B. E., 2001. Some Theorems on Weakly Contractive Maps. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications*, 47(4), 2683-2693.
- Rodriguez-Lopez, J. and Romaguera, S., 2004. The Hausdorff Fuzzy Metric on Compact Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 147, 273-283.
- Schweizer, B. and Sklar, A., 1960. Statistical Metric Spaces. *Pacific Journal of Mathematics*, 10, 314-334.
- Shen, Y., Qiu, D., Chen, W., 2012. Fixed Point Theorems in Fuzzy Metric Spaces. *Applied Mathematics Letters*, 25, 138-141.
- Türkoğlu, D., Alaca, C., Cho, Y. J., Yıldız, C., 2006. Common Fixed Point Theorems in Intuitionistic Fuzzy Metric Spaces. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 22, 411-424.
- Veeramani, P., 2001. Best Approximation in Fuzzy Metric Spaces. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 9, 75-80.
- Wong, C. K., 1974. Fuzzy Topology: Product and Quotient Theorems. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 45, 512-521.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

## Sıralı Küme Örneklemesi ile İki Yiğın Ortalaması Farkı İçin Bootstrap Güven Aralıklarının İncelenmesi

### *Examination of Bootstrap Confidence Intervals for The Difference Between Two Population Means with Ranked Set Sampling*

Nurdan YENİAY KOÇER<sup>\*a</sup>, Yaprak Arzu ÖZDEMİR<sup>b</sup>, Fikri GÖKPINAR<sup>c</sup>

*Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 06500, Ankara*

• Geliş tarihi / Received: 17.11.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 19.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 14.05.2020

#### Öz

Sıralı Küme Örneklemesi (SKÖ), ilgili değişkeni ölçmenin emek, zaman ya da maliyet bakımından zor olduğu ancak bu değişkeni daha düşük maliyetle sıralamanın mümkün olduğu durumlarda kullanılan bir örneklem tekniğidir. Bu teknikte genellikle sıralamada hata yapılmaması için küme çapının küçük olması tercih edilir. Bununla birlikte, istatistiksel çıkarımlar yapılırken, test istatistiğinin dağılım bilgisine ihtiyaç duyulur. Örnek çapı yetersiz olduğu için dağılım bilgisinin elde edilemediği ya da dağılım bilgisinin olmadığı durumlarda bootstrap gibi yeniden örneklem teknikleri kullanılabilir. Bu çalışmada, sıralı küme örneklemesi altında farklı bootstrap örnek seçim yöntemleri ele alınmıştır. Ele alınan yöntemler iki yiğın ortalaması farkına ilişkin güven aralığını oluşturmak üzere geliştirilmiştir. Ayrıca Monte Carlo simülasyon çalışması ile örnek seçim yöntemleri bazı simetrik ve çarpık dağılımlar altında güven aralığı kapsama olasılıkları ve genişlikleri bakımından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek güven aralığı kapsama olasılıkları standart normal dağılım altında elde edilmiştir. Simetrik olmayan dağılımlarda ise, dağılım simetrik hale geldikçe elde edilen güven aralığı kapsama olasılığının arttığı görülmüştür. Önerilen yöntemlerden 2. yöntem ile elde edilen güven aralığı kapsama olasılıklarının 1. yöntem ile elde edilen güven aralığı kapsama olasılıklarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Güven aralığı genişliklerinin ise dağılımın varyansı azaldıkça daraldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, gerçek veri üzerinde güven aralığı genişliğinin elde edilmesi ile ilgili bir uygulama çalışması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bootstrap, Güven Aralığı Kapsama Olasılığı, Sıralı Küme Örneklemesi

#### Abstract

*Ranked Set Sampling (RSS) is a sampling technique used when the interested variable is difficult to measure with respect to labor, time or cost, but it is possible to rank this variable at a lower cost. In this technique, it is generally preferred that the set size is small to avoid error in the ranking. While statistical inferences are achieved, the information of distribution of the test statistic is needed. Resampling techniques such as bootstrap may be used in cases where distribution information is not available or distribution information cannot be obtained because of the inadequate sample size. In this study, different bootstrap sample selection methods are discussed under RSS. These methods were developed to establish the confidence interval for the difference between two population means. Moreover, with Monte Carlo simulation study, sample selection methods were examined in terms of confidence interval coverage probability and confidence interval widths under some symmetric and skewed distributions. According to the obtained results, the highest confidence interval coverage possibilities were obtained under the standard normal distribution. In addition, for non-symmetrical distributions, it was found that the confidence interval coverage probabilities increased as the distribution becomes symmetrical. It was observed that the confidence interval coverage probabilities obtained by the method 2 among the proposed methods were higher than the confidence interval coverage probabilities obtained by the method 1. It was seen that the confidence interval widths became narrow as the variance decreased. In addition, an application study was carried out on obtaining the confidence interval width based on real data.*

**Keywords:** Bootstrap, Confidence Interval Coverage Probability, Ranked Set Sampling

<sup>\*a</sup> Nurdan Yeniay Koçer, nurdanyeniay@gmail.com, Tel: (312)2021479. orcid.org/0000-0001-8263-1524

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-3752-9744

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-6310-8727

## 1. Giriş

Sıralı Küme Örneklemesi (SKÖ), özellikle tıp, tarım ve ekoloji gibi alanlarda, ilgilenilen değişkenin ölçümünün emek, maliyet ya da zaman bakımından zor olduğu fakat birimleri ilgili değişken bakımından hassas ölçüm gerektirmeyen bir yöntemle sıralamanın kolay olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir. SKÖ yöntemi Basit Tesadüfi Örnekleme (BTÖ) yerine kullanılabilir bir yöntem olarak önerilmiştir (McIntyre, 1952). SKÖ yöntemi ile elde edilecek yığın ortalamasına ait tahmin edicinin yansız ve varyansının BTÖ altındaki örnek ortalaması istatistiğinin varyansından daha küçük olduğu gösterilmiştir (Takahasi ve Wakimoto 1968). Bununla birlikte, sıralama hatası olduğu durumda da, yansızlık ve BTÖ'ye göre etkinlik özelliğinin korunduğunu belirtilmiştir (Dell ve Clutter, 1972). Ayrıca, sıralama hataları üzerine çalışmalar da yapılmıştır (David ve Levine, 1972). Bu çalışmaların ardından, görsel yolla sıralamalarda, sıralama hatasını minimuma indirmek için yardımcı (concomitant) değişkeni kullanarak regresyon tahmin edicisi ele alınmıştır (Stokes, 1977). Aynı zamanda, bu çalışmada SKÖ altında regresyon tahmin edicileri de elde edilmiştir.

İstatistiksel analizlerde hipotez testi ve aralık tahmini gibi çıkarsamalar yapılırken, kullanılan tahmin edicinin dağılım bilgisine ihtiyaç duyulur. Ancak çoğu zaman bu dağılım elde edilemez. Böyle bir durumda genellikle tahmin edicinin varsa asimptotik dağılımı kullanılır. Ancak asimptotik dağılım yaklaşımı örnek çapı yeterince büyük olduğunda güvenilir sonuçlar vermektedir. Emek, zaman, maliyet gibi nedenlerle büyük örnek çapları ile çalışmanın zor olduğu durumlarda küçük örnek çapları ile yeniden örneklem teknikleri uygulanarak güvenilir sonuçlara ulaşılabilir. Bootstrap yöntemi de bir yeniden örneklem yöntemidir (Efron, 1979). Bootstrap yönteminde, ilgili tahmin edici, orijinal veri setinden alınan aynı büyüklükte  $B$  örnek verisinden hesaplanır. Daha sonra ilgili istatistiğe ilişkin bootstrap dağılımı oluşturulur. Bootstrap yöntemi güven aralıklarının elde edilmesinde ve hipotez testlerinde yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir.

SKÖ yönteminde, birimlerin sıralama hatasını en aza indirmek için genellikle küçük örnek çapları ile çalışılır. Bu durumda, istatistiğe ilişkin dağılım bilgisi elde edilemediğinden, büyük örnek çaplarında güvenilir sonuçlar veren asimptotik yaklaşım yerine, yeniden örneklem teknikleri tercih edilebilir. Yeniden örneklem tekniklerinden en sık kullanılanı Bootstrap yöntemidir. SKÖ'de

bootstrap yöntemi ilk olarak (Modarres vd., 2006) tarafından tek grup yığın ortalaması için güven aralığının kapsama olasılıklarının elde edilmesinde kullanılmıştır. Ayrıca uygulamada sık rastlanmayan bir dağılım olan Ramberg-Schmeiser-Tukey (RST)  $\lambda$  dağılım ailesini kullanmışlardır. (Yeniay vd., 2017) SKÖ altında bootstrap yöntemini kullanarak, simetrik ve simetrik olmayan farklı dağılımlar altında tek grup yığın ortalaması için hem güven aralığı kapsama olasılıklarını hem de güven aralığı genişliklerini simülasyon yoluyla elde etmişlerdir. (Albatineh vd., 2014), SKÖ altında yığın değişim katsayısı için güven aralığı çalışması gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte, (Akgül vd., 2018), SKÖ'de Weibull dağılımı kullanarak sistem güvenilirliği için asimptotik ve bootstrap güven aralıklarını incelemişlerdir. (Mahdizadeh ve Zamanzade, 2018) SKÖ yöntemine dayalı olarak stres dayanıklılık modeli için asimptotik ve yeniden örneklemeye dayalı aralık tahmini çalışması gerçekleştirmişlerdir.

Uygulamadaki çalışmalar genellikle iki grup yığın ortalaması farkına ilişkin güven aralığı kapsama olasılıkları ile ilgilidir. Burada, her grup için ilgili değişkenin ölçümünün zor olduğu durumlarda küçük örnek çapları ile çalışmak gerektiğinden bootstrap yöntemi kullanılarak güven aralığı elde edilebilir.

Bu çalışmada, SKÖ altında bootstrap yöntemi kullanılarak iki yığın ortalaması farkına ilişkin güven aralığı çalışması gerçekleştirilmiştir. 2. Bölümde SKÖ'de örnek seçim işlemi ve güven aralığı kavramı verilecektir. Bunun yanında, SKÖ altında bootstrap yöntemine dayalı olarak (Modarres vd., 2006) tarafından önerilen yöntemler iki yığın ortalama farkı için geliştirilmiş olarak verilmiştir. 3. Bölümde simülasyon çalışması sonuçları yer alacaktır. 4. Bölümde, gerçek veriye dayalı uygulama çalışmasına yer verilmiştir. Sonuçlar ise son bölümde özetlenmiştir.

## 2. Sıralı Küme Örneklemesinde Örnek Seçim İşlemi ve Güven Aralığı

Bu bölümde öncelikle SKÖ'de örnek seçim işlemi verilecek ve ardından güven aralığı kavramı tanıtılacaktır.

SKÖ'de tek grup için örnek seçim işleminde öncelikle ilgili yığından her biri  $m$  büyüklüğünde  $m$  örnek BTÖ kullanılarak seçilir ve seçilen bu örnekler 'küme' olarak isimlendirilir. Bu işlem yığından seçilecek  $m^2$ örneğin  $m$  çaplı  $m$  kümeye

BTÖ ile paylaşılması ile de gerçekleştirilebilir. Birinci aşamada her bir küme ilgili  $Y$  değişkeni bakımından hassas ölçüm gerektirmeyen bir yöntemle ölçülerek küçükten büyüğe sıralanır. Bu sıralama işlemi uzman görüşüyle ya da ilgili değişkenle yüksek derecede ilişkili bir yardımcı değişken bilgisi ile elde edilen düşük düzeyli bir ölçümdür. Daha sonraki aşamada ilk kümeden birinci birim, ikinci kümeden ikinci birim ve bu işlem  $m$  küme için yapılarak  $m$ . kümeden  $m$ . birim örneğe alınır. Seçilen bu birimler ilgilenilen  $Y$

değişkenine göre araştırmanın gerektirdiği hassas bir ölçümle ölçülür. Elde edilen bu  $m$  çaplı örnek sıralı küme örneğini oluşturur.

Yukarıda açıklanan örnek seçim işlemi ayrı ayrı iki grup için yapılabilir. Bu durumda 1. ve 2. Grup için küme çapları sırasıyla  $m_1$  ve  $m_2$  olmak üzere,  $m_1 = m_2 = m$  olacak şekilde iki grup için örnek seçim işlemi görsel olarak Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** İki grup için sıralı küme örneğinin oluşturulması

1. Grup					
Küme	Yığından seçilen örnek birimleri		Sıralanan örnek birimleri		Örneğe alınan birimler
1	$Y_{111} Y_{112} \dots Y_{11m}$	⇒	$Y_{1[1]1} Y_{1[1]2} \dots Y_{1[m]1}$	⇒	$Y_{1(1)} \quad * \quad \dots \quad *$
2	$Y_{121} Y_{122} \dots Y_{12m}$		$Y_{1[1]2} Y_{1[2]2} \dots Y_{1[2]2}$		$* \quad Y_{1(2)} \quad \dots \quad *$
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮		⋮ ⋮ ⋮ ⋮		⋮ ⋮ ⋮ ⋮
m	$Y_{1m1} Y_{1m2} \dots Y_{1mm}$		$Y_{1[1]m} Y_{1[2]m} \dots Y_{1[m]m}$		$* \quad * \quad \dots \quad Y_{1(m)}$
2. Grup					
Küme	Yığından seçilen örnek birimleri		Sıralanan örnek birimleri		Örneğe alınan birimler
1	$Y_{211} Y_{212} \dots Y_{21m}$	⇒	$Y_{2[1]1} Y_{2[1]2} \dots Y_{2[m]1}$	⇒	$Y_{1(1)} \quad * \quad \dots \quad *$
2	$Y_{221} Y_{222} \dots Y_{22m}$		$Y_{2[1]2} Y_{2[2]2} \dots Y_{2[2]2}$		$* \quad Y_{1(2)} \quad \dots \quad *$
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮		⋮ ⋮ ⋮ ⋮		⋮ ⋮ ⋮ ⋮
m	$Y_{2m1} Y_{2m2} \dots Y_{2mm}$		$Y_{2[1]m} Y_{2[2]m} \dots Y_{2[m]m}$		$* \quad * \quad \dots \quad Y_{1(m)}$

Burada,  $i=1,2,\dots,m$  ve  $k=1,2$  olmak üzere,  $\{Y_{ki1}, Y_{ki2}, \dots, Y_{kim}\}$   $k$ . gruptan BTÖ ile seçilen aynı  $F(y)$  dağılım fonksiyonuna sahip örnek birimlerini,  $\{Y_{k[i]1}, Y_{k[i]2}, \dots, Y_{k[i]m}\}$   $k$ . gruptan  $i$ . küme için hassas olmayan bir ölçümle küçükten büyüğe sıralanmış birimleri ve  $\{Y_{k(i)}, i=1,2,\dots,m\}$  sıralamada hata yapılmadığı varsayımı altında,  $k$ . grup için  $i$ . kümeden hassas ölçüm yapılarak alınan  $i$ . sıradaki örnek birimini gösterir. Yukarıda açıklanan örnek seçim işlemleri her bir grup için  $r_1$  ve  $r_2$  kez tekrarlanabilir.  $r_1$  ve  $r_2$  döngü sayılarını

göstermek üzere;  $r_1$  ve  $r_2$  döngü sonunda  $n_1 = mr_1$  ve  $n_2 = mr_2$  çaplı sıralı küme örnekleri elde edilecektir. Bu örnekler Tablo 2’de verildiği gibidir.

Burada  $Y_{k(i)j}, k=1,2; i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,r_k$  olmak üzere;  $k$ . grup için  $j$ . döngüdeki  $i$ . sıra istatistiğidir. Bu istatistik kullanılarak,  $k$ . grubun yığın ortalaması için tahmin edici  $\bar{Y}_{k(SKÖ)} = \frac{1}{mr_k} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_k} Y_{k(i)j}, k=1,2$  (1) şeklinde tanımlanır.

**Tablo 2.** İki grup için  $n_1$  ve  $n_2$  çaplı sıralı küme örnekleri

1. Grup				
Küme	Döngü			
	1	2	...	$r_1$
1	$Y_{1(1)1}$	$Y_{1(1)2}$	...	$Y_{1(1)r_1}$
2	$Y_{1(2)1}$	$Y_{1(2)2}$	...	$Y_{1(2)r_1}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	$Y_{1(m)1}$	$Y_{1(m)2}$	...	$Y_{1(m)r_1}$
2. Grup				
Küme	Döngü			
	1	2	...	$r_2$
1	$Y_{2(1)1}$	$Y_{2(1)2}$	...	$Y_{2(1)r_2}$
2	$Y_{2(2)1}$	$Y_{2(2)2}$	...	$Y_{2(2)r_2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	$Y_{2(m)1}$	$Y_{2(m)2}$	...	$Y_{2(m)r_2}$

Bu tahmin edicinin beklenen değeri  $E(\bar{Y}_{k(SKÖ)}) = \mu_k, k=1,2$  (2) olacaktır.

Eş(1) de verilen tahmin edicinin varyansı ise

$$Var(\bar{Y}_{k(SKÖ)}) = \frac{\sigma_k^2}{mr_k} - \frac{1}{m^2 r_k} \sum_{i=1}^m (\mu_{i:m} - \mu_k)$$
 (3)

şeklinde tanımlanır. Burada  $\mu_{i:m}$ ; herhangi bir grup için  $m$  çaplı örnekteki  $i$ . sıra istatistiği ortalamasıdır. Ayrıca  $\mu_k, k$ . grup yığın ortalamasını ve  $\sigma_k^2$  ise  $k$ . grubun varyansını ifade eder.

Uygulamada, sıralı küme örneği oluşturulurken, görsel yolla sıralama gibi kişisel bir sıralama

yöntemi kullanıldığında, sıralamada hatanın minimum düzeyde tutulabilmesi için küme çapının 5'ten küçük olması tercih edilir (Patil vd., 1997).

SKÖ ile elde edilen örneklerden hipotez testi veya aralık tahmini yapılabilmesi için  $Eş(1)$ 'de verilen tahmin edicinin dağılımına ihtiyaç duyulur. Fakat uygulamada çoğu zaman bu dağılım elde edilemez. Bu durumda asimptotik yöntemleri kullanmak gerekir. Ancak, asimptotik yöntemlerin büyük örnek çaplarında daha güvenilir sonuçlar vermesinden dolayı, SKÖ gibi küçük örnek çaplarının kullanıldığı durumlarda bootstrap gibi yeniden örnekleme tekniklerine başvurulur.

(Modarres vd., 2006) tarafından önerilen algoritmalarından yararlanarak iki grup için geliştirilen bootstrap örnek seçim yöntemleri aşağıda detaylı olarak yer almıştır.

Örnek seçim yöntemlerinde  $Y_{1(i)j}$  ve  $Y_{2(i)j}$  sıralı küme örnekleri Tablo 2'de verilmiştir. Bootstrap sıralı küme örnekleri, bu sıralı küme örneklerinin her biri içinden örnek seçim işlemi gerçekleştirilerek oluşturulacaktır. Bununla birlikte seçilen bootstrap örnekleri  $Y_{1(i)j}^*$  ve  $Y_{2(i)j}^*$  ile gösterilecektir.

## 1. Yöntem

1)  $Y_{1(i)1}^*, Y_{1(i)2}^*, \dots, Y_{1(i)r_1}^*$  ve  $Y_{2(i)1}^*, Y_{2(i)2}^*, \dots, Y_{2(i)r_2}^*$  bootstrap sıralı küme örneklerini oluşturmak için Tablo 2'de verilen iki sıralı küme örneğinin her birinin  $i$ . satırından ( $i=1, 2, \dots, m$ ) rastgele yerine koyarak  $\frac{1}{r_1}$  olasılıkla  $r_1$  birim 1. Bootstrap sıralı küme örneği için,  $\frac{1}{r_2}$  olasılıkla  $r_2$  birim 2. Bootstrap sıralı küme örneği için seçilir.

2) Adım 1,  $Y_{1(i)j}^*$  ve  $Y_{2(i)j}^*$  bootstrap sıralı küme örneklerini elde etmek üzere, her bir grup ve her bir  $i$ . satır için  $m$  kez tekrarlanır.

## 2. Yöntem

1) Tablo 2'de verilen iki sıralı küme örneğinde yer alan birimlere  $\frac{1}{mr_1}$  ve  $\frac{1}{mr_2}$  olasılığı atanır ve 1. grup için rastgele yerine koyarak  $m$  birim seçilir. Bu birimler  $x_1, x_2, \dots, x_m \sim F_n$  şeklinde dağılmak üzere,  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(m)}$  biçiminde sıralanır. Böylece  $Y_{1(i)j}^* = x_j$  elde edilmiş olur. Ardından 2. grup için rastgele yerine koyarak  $m$  birim daha seçilir. Benzer şekilde,  $s_1, s_2, \dots, s_m \sim G_n$  şeklinde dağılmak üzere,  $s_{(1)} \leq s_{(2)} \leq \dots \leq$

$s_{(m)}$  biçiminde sıralanır. Böylece  $Y_{2(i)j}^* = s_j$  elde edilir.

2) Adım 1, her grup için  $m$  defa tekrarlanır.

3) Her iki Adım,  $Y_{1(i)j}^*$  ve  $Y_{2(i)j}^*$  elde etmek için  $r_1$  ve  $r_2$  defa tekrar edilir.

Bu çalışmada SKÖ altında bootstrap yöntemi ile güven aralığı kapsama olasılıkları elde edilirken bootstrap yüzdelliklerine dayalı güven aralığı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen güven aralıkları için kullanılan algoritma aşağıda verildiği gibidir.

1) Yukarıda verilen her bir yöntem ile elde edilen bootstrap sıralı küme örnekleri  $Y_{1(i)j}^*$  ve  $Y_{2(i)j}^*$  ile gösterilmek üzere, her bir bootstrap örneğinden  $\bar{Y}_{1(SKÖ)}^*$  ve  $\bar{Y}_{2(SKÖ)}^*$  değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilir.

$$\bar{Y}_{k(SKÖ)}^* = \frac{1}{mr_k} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_k} Y_{k(i)j}^*, k=1, 2.$$

2) Ardından her bir bootstrap örneği için ilgilenilen istatistik  $\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*$  elde edilir.

3) Toplam bootstrap örnek sayısı  $B$  olmak üzere elde edilen tüm  $\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*$  istatistikleri küçükten büyüğe sıralanır.

$$(\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*)_{(1)} \leq (\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*)_{(2)} \leq \dots \leq (\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*)_{(B)}$$

4)  $l = \frac{\alpha\beta}{2}$  ve  $u = B - l$  değerleri elde edilir.

5)  $\%100(1 - \alpha)$  güven düzeyindeki güven aralığı, sıralanmış verinin  $(l+1)$ . sıradaki ve  $u$ . sıradaki  $(\bar{Y}_{1(i)j}^* - \bar{Y}_{2(i)j}^*)$  değerleri ile elde edilir. Bu değerler güven aralığının alt ve üst sınırlarını oluşturacaktır.

SKÖ altında yukarıda açıklanan bootstrap yöntemleri ile elde edilen örnekler kullanılarak, iki yığın ortalama farkına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve genişliklerini incelemek amacıyla simülasyon çalışması yapılmıştır. Bir sonraki bölümde simülasyon çalışması yer alacaktır.

## 3. Simülasyon Çalışması

SKÖ altında bootstrap yöntemi kullanımı ilk olarak (Modarres vd., 2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Ramberg-Schmeiser-Tukey (RST)  $\lambda$  dağılım ailesinden 4 tane simetrik 4 tane de çarpık dağılım ele alınmış ve tek grup yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı

kapsama olasılığı çalışması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu dağılım ailesi uygulamada çok sık rastlanan bir dağılım ailesi olmadığından bu çalışmada uygulamada daha sık olarak kullanılan tek modlu simetrik dağılımlardan Standart Normal (0,1), çok modlu simetrik bir dağılım olan Uniform (0,1) ve simetrik olmayan dağılımlardan Gamma (0.5,1), Gamma (4,1), Invers Gauss (1, 1.13), Invers Gauss (1, 9.09) dağılımları kullanılmıştır. Kullanılan simetrik olmayan dağılımlarda parametreler, aynı çarpıklık değerini verecek şekilde düzenlenmiştir. Bu durumda Gamma (0.5, 1) ile Invers Gauss (1, 1.13) dağılımları ve Gamma (4, 1) ile Invers Gauss (1, 9.09) dağılımları aynı çarpıklık değerlerini vermektedir. SKÖ'de sıralama hatasını en aza indirmek için küme çapının genellikle küçük olması istenir. Bu nedenle SKÖ ile seçilecek örnekler için küme büyüklükleri  $m=2,3,4,5,6$  alınmıştır. Ayrıca gerekli örnek çapını sağlamak için döngü sayıları küçükten büyüğe  $r_1 = r_2 = 2,4,6,8$  ve 10 olarak alınmıştır. Farklı durumlarda genel tekrar sayısı denenmiştir ve genel tekrar  $T= 5000$  olacak şekilde simülasyon çalışması düzenlenmiştir. Bootstrap tekrar sayısı

$B=2000$  alınmıştır. İki yığın ortalaması farkına ilişkin güven aralığı simülasyon çalışmasında güven düzeyi %95 olarak alınmıştır. Güven aralığı genişlikleri (GA genişliği), tüm mümkün Bootstrap örnekleri üzerinden güven aralığı alt ve üst sınırları arasındaki fark alınarak ortalama güven aralığı genişliği elde edilmiştir. Güven aralığı kapsama olasılığı (GA oranı) ise 2. Bölümde açıklanan algoritma yardımıyla elde edilmiştir. Simülasyon çalışması MATLAB R2007b programı yardımıyla yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3-8'de verilmiştir.

Tablo 3, standart normal dağılım için güven aralığı kapsama olasılıklarını ve genişliklerini vermektedir. Tablo 3'e göre; incelenen tüm küme çapları için 2. yöntem ile elde edilen GA oranları 1. yöntem ile elde edilen GA oranlarından daha yüksektir. Bununla birlikte elde edilen GA genişlikleri incelendiğinde, küme çapı  $m=2$  için 2. yöntemle elde edilen genişlikler daha yüksek iken küme çapı arttıkça 1. yöntemle elde edilen GA genişlikleri daha yüksek olmaktadır. Ayrıca aynı döngü sayıları için küme çapı arttıkça GA oranları artmakta ve GA genişlikleri azalmaktadır.

**Tablo 3:** Standart Normal dağılım altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
$m=2$	2	0.7384	1.4612	0.8906	2.0490
	4	0.8864	1.3623	0.9252	1.5360
	6	0.9124	1.1862	0.9345	1.3662
	8	0.9258	1.0302	0.9424	1.1192
	10	0.9216	0.9633	0.9428	1.0091
$m=3$	2	0.7650	1.0840	0.9375	1.0015
	4	0.8984	0.9831	0.9415	0.9716
	6	0.9162	0.8567	0.9475	0.8455
	8	0.9268	0.7574	0.9480	0.7452
	10	0.9338	0.6913	0.9500	0.6854
$m=4$	2	0.8020	0.9190	0.9355	0.8783
	4	0.8310	0.8779	0.9380	0.6347
	6	0.9154	0.6350	0.9460	0.5119
	8	0.9264	0.5133	0.9500	0.4501
	10	0.9324	0.4498	0.9505	0.3992
$m=5$	2	0.7950	0.7177	0.9360	0.7278
	4	0.8930	0.6359	0.9410	0.5168
	6	0.9184	0.5525	0.9470	0.4252
	8	0.9272	0.4906	0.9485	0.3682
	10	0.9336	0.4451	0.9505	0.3315
$m=6$	2	0.8118	0.6131	0.9375	0.6315
	4	0.9040	0.5439	0.9465	0.4436
	6	0.9242	0.4703	0.9485	0.3630
	8	0.9338	0.4183	0.9490	0.3148
	10	0.9386	0.3790	0.9565	0.2823



**Tablo 4:** Uniform (0,1) dağılım altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
$m=2$	2	0.7482	0.4191	0.8882	0.5991
	4	0.8858	0.3914	0.9268	0.4478
	6	0.9148	0.3401	0.9416	0.3700
	8	0.9254	0.3030	0.9404	0.3217
	10	0.9360	0.2756	0.9418	0.2890
$m=3$	2	0.7680	0.3097	0.9382	0.3450
	4	0.8946	0.2782	0.9424	0.2890
	6	0.9212	0.2413	0.9440	0.2661
	8	0.9224	0.2146	0.9532	0.2308
	10	0.9300	0.1956	0.9416	0.2066
$m=4$	2	0.7918	0.2423	0.9458	0.3645
	4	0.8964	0.2162	0.9468	0.2556
	6	0.9146	0.1573	0.9482	0.2084
	8	0.9252	0.1666	0.9492	0.1800
	10	0.9336	0.1513	0.9516	0.1608
$m=5$	2	0.7978	0.1996	0.9445	0.3195
	4	0.9046	0.1773	0.9496	0.2095
	6	0.9196	0.1530	0.9480	0.1705
	8	0.9342	0.1362	0.9450	0.1380
	10	0.9356	0.1235	0.9495	0.1250
$m=6$	2	0.8022	0.1692	0.9466	0.2005
	4	0.9048	0.1495	0.9480	0.1550
	6	0.9166	0.1294	0.9500	0.1442
	8	0.9302	0.1152	0.9500	0.1250
	10	0.9294	0.1044	0.9505	0.1060

Tablo 4, Uniform dağılım altında elde edilen sonuçları vermektedir. Tablo 4'e göre, incelenen tüm küme çapları için 2.yönteme göre elde edilen GA oranları 1. yöntem ile elde edilen GA

oranlarından yüksektir. Ancak GA genişliği bakımından inceleme yapıldığında, 1. yöntemle elde edilen GA genişlikleri daha küçüktür.

**Tablo 5:** Gamma (0.5,1) dağılım altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
$m=2$	2	0.7082	0.9420	0.8668	1.2748
	4	0.8578	0.9678	0.8972	1.0504
	6	0.8944	0.8565	0.9078	0.9047
	8	0.9124	0.7804	0.9190	0.8005
	10	0.9134	0.7062	0.9292	0.7239
$m=3$	2	0.7308	0.7518	0.8962	1.0598
	4	0.8748	0.7448	0.9034	0.8257
	6	0.8952	0.6595	0.9172	0.6979
	8	0.9150	0.5921	0.9322	0.6209
	10	0.9150	0.5427	0.9280	0.5614
$m=4$	2	0.7422	0.6296	0.9100	0.8985
	4	0.8734	0.6064	0.9196	0.6860
	6	0.8986	0.5381	0.9318	0.5775
	8	0.9092	0.4802	0.9350	0.5067
	10	0.9200	0.4397	0.9320	0.4559
$m=5$	2	0.7508	0.5538	0.9142	0.7849
	4	0.8752	0.5185	0.9296	0.5844
	6	0.9042	0.4577	0.9304	0.4918
	8	0.9110	0.4074	0.9290	0.4342
	10	0.9236	0.3745	0.9390	0.3880
$m=6$	2	0.7542	0.4836	0.9058	0.6889
	4	0.8862	0.4562	0.9154	0.5180
	6	0.8980	0.3969	0.9220	0.8990
	8	0.9154	0.3577	0.9224	0.8024
	10	0.9220	0.3263	0.9322	0.7324

Tablo 5’te verilen Gamma (0.5, 1) dağılımı altında elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise; 2. yöntemle elde edilen GA oranlarının 1. yöntem ile elde edilen GA oranlarından daha yüksek olduğu

görülmektedir. Ancak elde edilen GA genişlikleri incelendiğinde, 1. yöntemin daha dar GA genişliği verdiği görülmektedir.

**Tablo 6.** Gamma (4,1) dağılımı altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
m=2	2	0.7430	2.8903	0.8786	4.0258
	4	0.8802	2.7433	0.9176	3.0629
	6	0.9070	2.3807	0.9276	2.5589
	8	0.9120	2.1362	0.9328	2.2363
	10	0.9296	1.9404	0.9360	2.0169
m=3	2	0.7704	2.1704	0.9200	3.1031
	4	0.8874	2.0022	0.9314	2.2806
	6	0.9094	1.7339	0.9372	1.8853
	8	0.9188	1.5441	0.9398	1.6460
	10	0.9318	1.4051	0.9382	1.4690
m=4	2	0.7820	1.7573	0.9288	2.5237
	4	0.8930	1.5801	0.9420	1.8256
	6	0.9174	1.3667	0.9446	1.5016
	8	0.9292	1.2250	0.9452	1.3017
	10	0.9338	1.1112	0.9428	1.1679
m=5	2	0.7814	1.4532	0.9346	2.1264
	4	0.8962	1.3134	0.9460	1.5146
	6	0.9194	1.1339	0.9408	1.2468
	8	0.9188	1.0120	0.9464	1.0844
	10	0.9306	0.9180	0.9498	0.9696
m=6	2	0.7912	1.2498	0.9300	1.8412
	4	0.8846	1.1268	0.9328	1.3079
	6	0.9142	0.9740	0.9436	1.1679
	8	0.9280	0.8660	0.9442	1.0738
	10	0.9308	0.7866	0.9494	0.9287

Tablo 6’da Gamma (4, 1) dağılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 6 incelendiğinde, 2. yöntemle elde edilen GA oranlarının daha yüksek olduğu ancak GA genişliği

bakımından incelendiğinde 1. yöntemle elde edilen GA genişliklerinin 2. yöntemle elde edilen GA genişliklerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Invers Gauss (1, 1.13) dağılım altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
<i>m=2</i>	2	0.7266	1.2658	0.8280	1.7141
	4	0.8628	1.2613	0.9040	1.3759
	6	0.8930	1.1305	0.9090	1.1876
	8	0.9100	1.0226	0.9210	1.0630
	10	0.9150	0.9401	0.9240	0.9631
<i>m=3</i>	2	0.7446	1.0011	0.8840	1.4120
	4	0.8754	0.9675	0.9160	1.0833
	6	0.8936	0.8539	0.9230	0.9170
	8	0.9154	0.7449	0.9260	0.8096
	10	0.9230	0.6832	0.9340	0.7323
<i>m=4</i>	2	0.7624	0.8431	0.9030	1.1819
	4	0.8740	0.7956	0.9210	0.9008
	6	0.9080	0.6975	0.9220	0.7537
	8	0.9142	0.6295	0.9330	0.6638
	10	0.9174	0.5758	0.9340	0.5968
<i>m=5</i>	2	0.7550	0.7245	0.9200	1.0339
	4	0.8790	0.6809	0.9220	0.7653
	6	0.9086	0.5962	0.9300	0.6415
	8	0.9212	0.5359	0.9332	0.5665
	10	0.9218	0.4872	0.9342	0.5105
<i>m=6</i>	2	0.7710	0.6365	0.9164	0.9053
	4	0.8794	0.5947	0.9300	0.6745
	6	0.9122	0.5197	0.9320	0.5642
	8	0.9180	0.4664	0.9360	0.4940
	10	0.9262	0.4277	0.9417	0.4460

Tablo 7, Invers Gauss (1, 1.13) dağılımı altında elde edilen simülasyon sonuçlarını vermektedir. Tablo 7 incelendiğinde, 2. yöntemle elde edilen GA oranlarının 1. yöntem ile elde edilen

sonuçlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında, 1. yöntemle elde edilen GA genişliklerinin 2. yöntemle elde edilen GA genişliklerinden daha dar olduğu görülmektedir.

**Tablo 8.** Invers Gauss (1, 9.09) dağılım altında iki yığın ortalamasına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve güven aralığı genişlikleri

Küme çapı	Döngü $r_1 = r_2$	1. Yöntem		2. Yöntem	
		GA oranı	GA genişliği	GA oranı	GA genişliği
<i>m=2</i>	2	0.7385	0.4809	0.8764	0.6699
	4	0.8692	0.4547	0.9054	0.5079
	6	0.9086	0.3962	0.9096	0.4223
	8	0.9196	0.3538	0.9242	0.3712
	10	0.9220	0.3225	0.9320	0.3344
<i>m=3</i>	2	0.7840	0.3606	0.9024	0.3494
	4	0.8922	0.3302	0.9188	0.2591
	6	0.9066	0.2884	0.9262	0.2175
	8	0.9198	0.2561	0.9286	0.1555
	10	0.9272	0.2340	0.9348	0.1409
<i>m=4</i>	2	0.7826	0.2910	0.9124	0.2869
	4	0.8838	0.2621	0.9268	0.2094
	6	0.9140	0.1699	0.9332	0.1647
	8	0.9258	0.2030	0.9340	0.1513
	10	0.9274	0.1846	0.9387	0.1365
<i>m=5</i>	2	0.7740	0.2415	0.9240	0.2404
	4	0.8918	0.2178	0.9304	0.2010
	6	0.9040	0.1887	0.9328	0.1776
	8	0.9228	0.1683	0.9360	0.1448
	10	0.9286	0.1531	0.9390	0.1261
<i>m=6</i>	2	0.7929	0.2080	0.9190	0.2010
	4	0.8962	0.1866	0.9302	0.1650
	6	0.9084	0.1610	0.9352	0.1509
	8	0.9278	0.1438	0.9362	0.1229
	10	0.9345	0.1314	0.9470	0.1071

Tablo 8’de, Invers Gauss (1, 9.09) dağılımı altında elde edilen simülasyon sonuçlarını yer almaktadır. Tablo 8 incelendiğinde, 2. yöntemle elde edilen GA oranlarının 1. yöntem ile elde edilen sonuçlardan yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında, küme çapı  $m=2$  iken, 1. yöntemle elde edilen GA genişliklerinin 2. yöntemle elde edilen genişliklerden daha dar olduğu ancak küme çapı ve döngü sayısı arttıkça 2. yöntemle elde edilen GA genişliklerinin 1. yöntemle elde edilen genişliklerden daha dar olduğu görülmektedir.

İncelenen tüm dağılımlar GA genişlikleri bakımından birlikte değerlendirildiğinde, aynı çarpıklığa sahip dağılımların farklı GA genişliklerine sahip oldukları gözlenmiştir. Bunun

üzerine varyansları bakımından dağılımlar tekrar ele alındığında, aynı küme çapı ve döngü sayısı için değerlendirildiğinde, varyansı en yüksek olan Gamma (4, 1) dağılımı için elde edilen GA genişliklerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Varyans azaldıkça GA genişlikleri de azalmaktadır. Örneğin incelenen dağılımlardan en düşük varyansa sahip olan Uniform (0, 1) dağılımı için elde edilen GA genişlikleri diğer dağılımlar ile elde edilen genişliklerden daha dardır.

#### 4. Uygulama

Bu bölümde, 2. Bölümde SKÖ altında bootstrap yöntemine dayalı olarak iki yığın için verilen örnek seçim yöntemleri kullanılarak gerçek veri üzerinde

uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Keban Baraj Gölü'nde yaşayan *Alburnus mossulensis* Heckel 1843 balık türüne ait otolit biyometrisi verileri kullanılmıştır (Bütün, 2013). Balığın yaşını tespit edilebilmek için otolit kemiğinin çıkarılıp gerekli bazı ölçümlerin laboratuvar ortamında yapılması gerekmektedir. Bu ölçüm hem maliyeti artırmakta hem de balığın ölmesine neden olmaktadır. Ancak, balık boyu ve balık ağırlığının balığın yaşı ile yüksek derecede ilişkili olduğu bilinmektedir (Bütün, 2013). Bu anlamda balık boyu değişkeni dikkate alınarak balığın yaşı tahmin edilebilir.

Uygulamada, balık boyu değişkeni ile ilgilenilmiştir. Mevcut veri eşey bakımından erkek ve dişi olarak iki gruba ayrılmıştır. Küme çapı  $m=3$  ve döngü sayıları  $r_1 = r_2=4$  olmak üzere, iki grup için seçilen sıralı küme örnekleri Tablo 9'da verildiği gibidir.

**Tablo 9.** İki grup için  $m=3$ ,  $r_1 = r_2=4$  olarak seçilen *Alburnus mossulensis* Heckel 1843 balık türüne ait boy (mm.) verileri

126	115	129	118
117	127	131	127
129	138	132	148

125	118	114	114
126	117	130	125
131	126	124	131

Tablo 9'da verilen örneklere dayalı olarak, 2. Bölümde tanıtılan bootstrap örnek seçim yöntemleri kullanılarak  $B=2000$  bootstrap tekrarı ile güven aralığı alt ve üst sınırları elde edilmiştir. GA genişlikleri üst sınır ile alt sınır farkına dayalı olarak bulunmuştur. Ancak, uygulama tek bir örnek verisi üzerinden yapıldığı için GA oranları elde edilememiştir. Sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10.** 1. ve 2. yöneme göre GA alt ve üst sınırları ile GA genişlikleri

Yöntemler	Alt sınır	Üst sınır	GA genişliği
1.Yöntem	0.5833	8.8333	8.25
2. Yöntem	0.3333	9.0833	8.75

Tablo 10 incelendiğinde, 1. yöntem ile elde edilen GA genişliğinin 2. yöntem ile elde edilen GA genişliğinden daha dar olduğu görülmektedir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada SKÖ altında farklı Bootstrap yöntemlerinden elde edilecek örnekler kullanılarak, iki yığın ortalama farkına ilişkin güven aralığı kapsama olasılığı ve genişlikleri incelenmiştir. Bunun için öncelikle iki yığın ortalaması farkına ilişkin güven aralıklarının oluşturulmasında SKÖ'ye dayalı Bootstrap yöntemi altında iki farklı örnek seçim yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerin etkinliklerini araştırmak amacıyla simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmasında bilinen farklı simetrik ve simetrik olmayan dağılımlar kullanılmıştır. İncelenen tüm dağılımlarda küme çapı ve döngü sayısı arttıkça elde edilen GA oranları artmakta, GA genişlikleri daralmaktadır. Genel olarak GA oranları başlangıçta belirlenen güven düzeyi %95'e yaklaşmaktadır. Ayrıca incelenen simetrik dağılımlar bakımından Standart normal ve Uniform dağılım için 1. ve 2. yöntemle elde edilen GA oranları birbirine yakın olmasına rağmen elde edilen GA genişlikleri incelendiğinde aynı küme çapı ve döngü sayısı için Uniform dağılım ile elde edilen genişliklerin daha dar olduğu görülmektedir. İncelenen simetrik olmayan dağılımlardan Gamma (0.5, 1) ve Gamma (4, 1) dağılımları ile elde edilen sonuçlara göre; dağılımın çarpıklığı azaldıkça elde edilen GA oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Invers Gauss (1, 1.13) ve Invers Gauss (1, 9.09) için de korunmaktadır. Bununla birlikte, GA genişlikleri değerlendirildiğinde, dağılımın varyansının GA genişliği üzerinde etkili olduğu söylenebilmektedir. İncelenen dağılımlar için, varyansı büyük olan dağılım altında elde edilen GA genişliklerinin varyansı küçük olan dağılım altında elde edilen GA genişliklerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, uygulama çalışması ile elde edilen GA genişlikleri de simülasyon çalışması ile elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.

## Kaynaklar

Akgül, F., Şenoğlu, B. ve Acıtaş, Ş., 2018. Interval Estimation of the System Reliability for Weibull Distribution Based on Ranked Set Sampling Data. Hacettepe University Bulletin of Natural Sciences and Engineering Series B: Mathematics and Statistics 47(5):1404-1416.

- Albatineh, A. N., Kibria, B. M. G., Wilcox, M. L. and Zogheib, B., 2014. Confidence Interval Estimation for the Population Coefficient of Variation Using Ranked Set Sampling: A Simulation Study. *Journal of Applied Statistics*, 41, 733-751.
- Bütün, S., 2013. Keban Baraj Gölü'nde Yaşayan Alburnus Mossulensis Heckel, 1843'de Otolit Biyometrisi Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ, 43s.
- David, H. A. and Levine, D.N., 1972. Ranked Set Sampling in the Presence of Judgment Error. *Biometrics*, 28, 553-555.
- Dell, D. R. and Clutter, J.L., 1972. Ranked Set Sampling Theory with Order Statistics Background. *Biometrics*, vol. 28 (2), 545-555.
- Efron, B., 1979. Bootstrap Methods: Another Look at Jackknife, *Institute Of Mathematical Statistics*, 7, 1-26.
- Mahdizadeh, M. and Zamanzade, E., 2018. Interval Estimation of  $P(X < Y)$  in Ranked Set Sampling. *Computational Statistics*. 33, 1325-1348.
- McIntyre, G. A., 1952. A method of Unbiased Selective Sampling Using Ranked Sets. *Australian Journal of Agricultural Research*, vol. 3, 385-390.
- Modarres, R.; Hui, T. P. and Zheng, G., 2006. Resampling Methods for Ranked Set Samples, *Computational Statistics and Data Analysis*, 51, 1039-1050.
- Patil, G. P., Sinha, A.K. and Taillie, C., 1997. Ranked Set Sampling, Coherent Rankings and Size-Biased Permutations, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 63, 311-324.
- Stokes, S. L., 1977. Ranked Set Sampling with Concomitant Variables. *Communications in Statistics*, 6, 1207-1211.
- Takahasi, K. and Wakimoto, K., 1968. On Unbiased Estimates of the Population Mean Based on the Sample Stratified by means of Ordering. *Annals of The Institute of Statistical Mathematics*, vol. 21, 249-255.
- Yeniay, N., Özdemir, Y. A. ve Gökpınar, F., 2017 Sıralı Küme Örnekleme Altında Farklı Bootstrap Yöntemleri ile Yığın Ortalaması için Güven Aralığı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21-6: 1394-1407, doi.org/10.16984/saufenbilder.295879.



**EK. Kullanılan algoritmaların MATLAB kodları****1. yöntem**

```
function [diff, alt, ust]=boot1_2grupga_f(x11,x21,alfa,den)
alfa=0.05;
[n, r1]=size(x11);[n, r2]=size(x21);
for k=1:den
    for j=1:n
        y1=randsample(x11(j,:),r1,'true');
        x1b(j,:)=y1;
        y2=randsample(x21(j,:),r2,'true');
        x2b(j,:)=y2;
    end
    f(k)=mean(mean(x1b))-mean(mean(x2b));
end
fs=sort(f);
alt=fs(den*alfa/2);
ust=fs(den*(1-alfa/2));
diff=ust-alt;
```

**2. yöntem**

```
function [diff, alt, ust]=boot2_2grup_ga(x11,x21,alfa,den)
[n1 r1]=size(x11);z1=[];e1=[];g1=[];den=2000;alfa=0.05;
for s=1:den
for t=1:r1
    for l=1:n1
        for k=1:r1
            z1=[z1; x11(:,k)];
        end
        y1=randsample(z1,n1,'true');
        e1(:,l)=y1;
        z1=[];
    end
    f1=sort(e1);
    d1=diag(f1);
    g1(:,t)=d1;
end
y21=mat2vec(g1);
meanx1=mean(y21);
x5_1(s,:)=meanx1;

[n2 r2]=size(x21);z2=[];e2=[];g2=[];

for t=1:r2
    for l=1:n2
        for k=1:r2
            z2=[z2; x21(:,k)];
        end
        y2=randsample(z2,n2,'true');
        e2(:,l)=y2;
        z2=[];
    end
    f2=sort(e2);
    d2=diag(f2);
    g2(:,t)=d2;
end
y22=mat2vec(g2);
meanx2=mean(y22);
x5_2(s,:)=meanx2;
end
T=x5_1-x5_2;
TS=sort(T);
alt=TS(den*(alfa/2));
ust=TS(den*(1-alfa/2));
diff=ust-alt;
```

## Determination of Some Quality Parameters of White Cheeses Produced from Different Animal Milks During Storage

### *Farklı Hayvan Sütlerinden Üretilen Beyaz Peynirlerin Depolama Süresince Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi*

Mubin KOYUNCU\*<sup>1,a</sup>, Yusuf TUNÇTÜRK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Research Center for Redox Applications in Foods Iğdır University, Iğdır, Turkey

<sup>2</sup>Department of Food Engineering Faculty of Engineering Yüzüncü Yıl University, Van, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 07.01.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.05.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.05.2020

#### Abstract

In this study, some physicochemical properties of white cheeses produced from different animal milk (bovine, ovine, caprine) were investigated during storage. Some chemical, biochemical and electrophoretic analyzes were performed on cheese samples on the 3rd, 30th, 60th, 120th and 180th days of storage. Sensory analyzes were made on the 180th day of ripening period. Significant differences were determined in fat ( $p < 0.05$ ), protein ( $p < 0.01$ ) and cheese yield ( $p < 0.01$ ) of White cheese samples produced from bovine, ovine and caprine milk. The pH values of ovine and caprine cheeses were found higher. WSN and TCA-SN values were revealed to be higher in sheep and caprine cheeses than bovine cheeses ( $p < 0.01$ ). However, there was no difference between the cheese samples in terms of PTA-SN values. At the end of the ripening period, cheeses made from caprine milk reached the highest Acid Degree Value (ADV) values, followed by ovine and bovine milk cheeses ( $p < 0.01$ ). Both  $\alpha$ S-casein and  $\beta$ -casein were more hydrolyzed in ovine cheese samples, followed by caprine and bovine cheese samples, respectively. As a result of sensory analysis, it was determined that ovine cheeses received higher scores than bovine and caprine cheese samples, and cheeses made from bovine milk are given low scores by panelists in terms of taste and flavor.

**Keywords:** Lipolysis, Proteolysis, Ripening, White Cheese

#### Öz

Bu çalışmada, farklı hayvan sütlerinden (inek, koyun, keçi) üretilen Beyaz peynirlerin depolama süresince bazı fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Depolamanın 3., 30., 60., 120. ve 180. günlerinde peynir örneklerinde bazı kimyasal, biyokimyasal ve elektroforetik analizler gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizler olgunlaşma süresinin 180. gününde yapılmıştır. İnek, koyun ve keçi sütlerinden üretilen Beyaz peynir örneklerinde yağ ( $p < 0.05$ ), protein ( $p < 0.01$ ) ve peynir randımanı ( $p < 0.01$ ) açısından önemli farklılıklar belirlenmiştir. Koyun ve keçi peynirlerinin pH değerleri daha yüksek değerde bulunmuştur. WSN ve TCA-SN değerleri koyun ve keçi peynirlerinde inek peynirlerinden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur ( $p < 0.01$ ). Bununla birlikte, PTA-SN değerleri açısından peynir örnekleri arasında bir farklılık tespit edilmemiştir. Olgunlaşma süresinin sonunda, keçi sütünden üretilen peynirler en yüksek Acid Degree Value (ADV) değerlerine ulaşmış ve bunu koyun ve inek sütü peynirleri izlemiştir ( $p < 0.01$ ). Hem  $\alpha$ S-kazein hem de  $\beta$ -kazein, koyun peyniri örneklerinde daha fazla hidrolize edilmiş ve bunu sırasıyla keçi ve inek peynir örnekleri izlemiştir. Duyusal analizler sonucunda, koyun peynirlerinin inek ve keçi peynir örneklerinden daha yüksek puanlar aldığı ve inek sütünden üretilen peynirlere panelistler tarafından tat ve lezzet açısından düşük puanlar verildiği de ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Lipoliz, Proteoliz, Olgunlaştırma, Beyaz Peynir

\*a Mubin KOYUNCU; mubin.koyuncu@igdir.edu.tr, Tel: (0476) 223 00 10 (3400), orcid.org/0000-0003-1798-8943

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-5240-200X

## 1. Introduction

In the last three decades, world milk production has increased by more than 58 percent, from 522 million tons in 1987 to 828 million tons in 2017. Only 2 % of the world milk production is obtained from goats, and 1 % from sheep (FAO, 2019). However, especially in last decade caprine milk production has been increasing in both developing and developed countries. Ovine milk has been increasing only in developing countries (Boyazoglu, 2002; Pirisi et al., 2011; Stocco et al., 2018). Sheep and goats are seasonal polyestric animals and their births take place in Eastern Turkey in February-March. Sheep are usually milked in May and August, and 40 kg of milk is obtained during a lactation period (Yıldız and Denk, 2006). Goats are milked for a longer period and lactation milk yields are reported as 140-150 kg (Şimşek et al., 2006). Ovine milk is richer in protein and fat than bovine and caprine milk. Hairy goat is our domestic goat breed and it produces milk with a richer composition compared to culture breed goats like Saanen. Milk production is over 22 million tons per year in Turkey at 2018, in which ovine milk has the proportion of 6.5 % and caprine milk 2.5 % (URL-1). Turkey has an important potential in terms of ovine and caprine milk production, which are especially preferred for White cheese making. High cheese yield is the other factor for Turkish producers.

White-pickled cheese (Beyaz peynir in Turkish) is almost similar to the cheeses produced under names of Feta, Domiati, Teleme etc. in various countries (Walstra et al., 1999; Hayaloğlu et al., 2002). Ovine and caprine milks are primarily preferred in White cheese production in Turkey. However, since lactation periods of these two animals are short, bovine milk is commonly used to make White cheese in the last three decades. Similar situations have been reported in other countries (Aminifar et al., 2013). Depending on milk sources and processing conditions, quality properties of the cheese show a great variation (Oktar et al., 1996; Hayaloğlu et al., 2002; Temizkan et al., 2014).

Type of milk is as effective on typical properties of cheeses as production methods and enzyme system, which plays important role in ripening (Molina et al., 1999; Arslaner and Bakırcı, 2016). Differences in casein fractions in different kinds of milk affect the properties of cheeses (Guo et al., 2004; Moatsou and Govaris, 2011). Also variations in fatty acid composition of different

kinds of milks change sensory properties of cheese (Boyazoglu and Morand-Fehr, 2001; Basdagianni et al., 2019). The origin of the milk has a great effect on taste and flavor especially in ripened cheeses. Also, the color of the cheese is affected by milk origin. For example, bovine milk contains higher amounts of  $\beta$ -carotene and this makes the cheese yellowish. On the other hand, since caprine milk has higher amount of vitamin A, the color of caprine cheese appears whiter than those of bovine cheese (IDF, 1996; Kosikowski and Mistry, 1997).

Quality of cheese is greatly affected by peptides, amino acids and free fatty acids as a result of proteolysis and lipolysis. Proteolysis is the most effective biochemical phenomenon on taste-flavor and texture as in the other cheeses (Çakmakçı and Kurt, 1993). Proteolysis in cheeses is generally controlled by plasmin, chymosin, proteinases and peptidases from starter and non-starter culture, pH and temperature of the medium, moisture and salt content of the cheese and ripening time (Lawrence et al., 1987; Fox, 1989).

This study was aimed to compare the physicochemical, chemical and electrophoretic properties of White cheeses produced from bovine, ovine and caprine milks. Sensory properties of the cheeses from different origins of the milk were also compared at the end of the ripening period.

## 2. Materials

### 2.1. Cheese Making

For cheese making, bovine milk, ovine milk (Norduz variety of Akkaraman breed) and caprine milk (Domestic hairy goats) were obtained from milk processing plant of Agricultural College of Yüzüncü Yıl University. No standardization was made in the milks. After the milks were clarified, they were pasteurized at 65 °C for 20 min and cooled to 32 °C. CaCl<sub>2</sub> was added to the milk at level of 0.15 g/l. Direct vat lyophilized starter cultures (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* and *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*; Rhodia Food, France) were used in the study. The milks with the cultures were set for 30 min. Then, calf rennet (1:12000 strength; Pınar, Inc., Istanbul Turkey) was added into the milks so that coagulation takes place within 90 min. The volumes of rennet were as follows: 6 mL/100 L bovine milk, 5.2 mL/100 L caprine milk and 8.7 mL/100 L ovine milk. After coagulation took place, the curd was cut into about 1-2 cm<sup>3</sup> cubes and set for 15 min to remove

some of the whey. The curds were transferred into the cheese clothes and set 15 min. They were then pressed for 3 h to remove the whey. When the amount of separated whey decreased, pressure application was terminated. The curds were cut into the blocks and placed into the brine (containing 14 g salt/100 mL water) and held for 8 h. The salted cheeses were then placed into the plastic cases and filled up with the brine (12 g NaCl/100 mL) (Hayaloğlu et al., 2002). The cheeses were stored at  $8\pm 1$  °C for 180 days. The analyses were done on days 3, 30, 60, 120 and 180. The study was repeated twice.

### 3. Methods

#### 3.1. Yield Determination

Yield of cheese was calculated as the actual amount of cheese made per 100 kg of cheese milk. Then, the obtained values were converted into 58 % moisture and 3.0 % salt-adjusted yield (Metzger and Mistry, 1994).

#### 3.2. Chemical Analyses

Total solids (TSs) by oven drying method, protein by Kjeldahl method, acidity by titration (AOAC, 1990), fat by Gerber (IDF, 1986) and pH by a pH meter (Kosikowski, 1982) were analyzed in the milk and cheese samples. Salt content of cheese samples was determined by titration with  $\text{AgNO}_3$  (AOAC, 1990).

#### 3.3. Biochemical Analyses

Proteolysis was determined as water soluble nitrogen (WSN), non-protein nitrogen (NPN) and amino nitrogen. Water extraction for WSN, 12% trichloroacetic acid (TCA) extraction for NPN and 5% phosphotungstic acid (PTA) extraction for amino nitrogen were used (Bütikofer et al., 1993). Nitrogen determination (%) in the extracts was done with Kjeldahl method (AOAC, 1990). Acid degree value was measured and calculated as described in Jellema (1991) and the results were stated as ADV. All chemical, physicochemical and biochemical analyses were carried out in duplicate.

#### 3.4. Electrophoretic Analyses

The casein bands were separated by the modified method of Creamer (1991), which was described in Tarakçı et al. (2004). Electrophoresis unit was Owl P10DS (NH, USA), and power unit was Consort (Consort E835, BE). Electrophoresis was

applied for both samples taken from the first and the second repetition. A scanner was used to transfer the pictures of urea-PAGE gels onto the PC. Optical densities of  $\beta$ - and  $\alpha_s$ -caseins were measured by computer software (Un-scan-it, Version, 5.1 for Windows, Orem, Utah, USA). The amount of proteins injected into each slot was taken into consideration for residual protein calculations. The optical values taken at the beginning of the ripening (on day 3) were accepted as 100, and the values obtained from the other analyses periods were proportioned and stated as %.

#### 3.5. Sensory Analyses

The cheese samples were evaluated by 8 trained panelists at the end of the ripening in terms of color-appearance, texture, smell and taste-flavor. Hedonic type of scale was used for the evaluation, and 1 as minimum and 9 as maximum were considered for the range of scoring (Aston et al., 1985).

#### 3.6. Statistical Analyses

Analysis of variance was performed with a statistic software program and the differences were analyzed with Duncan's multiple comparison test (SAS, 1988).

## 4. Results and Discussions

#### 4.1. Composition of the Milks

The contents of total solids (TSs), protein, fat, and pH of the milks used for cheese making are presented in Table 1. The contents (TSs, crude protein, fat) of the ovine milk were higher than those of bovine and caprine milks. Moreover, the components in caprine milk were higher than those of bovine milk. The composition of milk normally varies depending on the species and races (Metin, 1996). The components belong to the samples of bovine milk were among the accepted limits. The milks of caprine and ovine used in the study were taken between days 90 and 120 of lactation period. The values of TSs of caprine and ovine milks were similar to those given by Aganga et al. (2002). However, general composition of the caprine milk was found higher than Alpine goats (Fekadu et al., 2005).

#### 4.2. Cheese Yield

The highest yield ( $26.81\pm 0.55$  %) was found in the cheeses obtained from ovine milk, and this

was followed by caprine cheese ( $18.97 \pm 0.24$  %) (Table 1). The lowest yield ( $15.15 \pm 0.40$ ) was found in the cheeses made from bovine milk. The cheese yields were affected especially from fat and protein contents of cheese milk (Guo et al., 2004). Rudan et al. (1999) demonstrated that the

yield of Mozzarella cheese of 5% fat was 30% lower than that of a cheese of 25% fat. In a study on Kashar cheese, the yields of cheeses made with ovine milk were found higher than caprine and bovine milk cheeses (Temizkan et al., 2014).

**Table 1.** Some properties of the milks and the yields of the cheeses

Dependent variables	n	Bovine milk	Caprine milk*	Ovine milk*
Total solids (%)	2	$12.82 \pm 0.05^c$	$14.32 \pm 0.19^b$	$18.10 \pm 0.36^a$
Protein (%)	2	$3.31 \pm 0.04^c$	$3.76 \pm 0.05^b$	$5.77 \pm 0.06^a$
Fat (%)	2	$3.92 \pm 0.03^c$	$5.45 \pm 0.07^b$	$7.1 \pm 0.14^a$
pH	2	$6.62 \pm 0.02^b$	$6.71 \pm 0.03^{ab}$	$6.72 \pm 0.02^a$
Cheese yield (%)**	2	$15.15 \pm 0.40^c$	$18.97 \pm 0.24^b$	$26.81 \pm 0.55^a$

\*: Samples were taken from lactation period between 90 and 120 days, \*\*: Moisture-adjusted yield = (actual yield (%)  $\times$  [100-(actual percentages of moisture and salt)] / [100-(desired percentages of moisture and salt)] n: number of the samples analyzed. <sup>a,b,c</sup>: Means bearing different letters and given in the same row differ from each other statistically ( $p < 0.05$ )

#### 4.3. Chemical Changes of Cheeses

The TSs content of cheeses increased at low levels from beginning up to 60 days of the ripening period, and then this increase remained almost constant or decreased slightly (Table 2). Increase in TSs might be because of salt diffusion from brine to cheese mass in the early stages of ripening. More syneresis occurs due to low pH and more whey is removed from the cheese mass. This eventually leads to an increase in TSs (Walstra et al., 1999). Decrease at the end of the ripening might be because of diffusing more brine into cheese mass in which casein matrix become weaker due to proteolysis and because of diffusing some of the products from cheese mass into the brine. TSs contents were not affected by the milks of different species statistically ( $p > 0.05$ ).

Mean values of fat contents of the cheeses were found to be different from each other ( $p < 0.05$ ). On the other hand, the protein content of caprine cheese was found to be significantly lower than the protein content of bovine and ovine cheeses ( $p < 0.01$ ), whereas there was no significant difference between the protein content of cow and sheep cheeses ( $p > 0.05$ ). Since no standardization was made for fat content in milks, the original cheese-constituents contents of the milks reflected

on the fat and protein contents of the cheeses. The highest protein / fat ratio was found in the bovine milk cheese (mean 0.688), and this was followed by ovine cheese (mean 0.644). The lowest (mean 0.605) value was obtained from the caprine milk cheese. The ratios of protein / fat of the cheese samples differed from each other significantly ( $p < 0.01$ ). While fat contents of the cheeses showed a similar trend as in TSs contents during ripening, protein values in general continuously decreased after day 30 (Table 2). The main reason for protein decrease in the cheeses could be diffusing of small molecules from cheese into brine, which were formed as a result of proteolysis (Tunçtürk et al., 2003). Protein contents of the cheeses made from ovine and caprine milks decreased more than that of bovine milk cheese. The similar result was reported by Papademas and Robinson (2000) for Halloumi cheese made from ovine milk. The proportion of protein/fat ratios of the cheeses showed that proteolysis was more active in the ovine and caprine cheeses. Protein/fat ratio decreased in the cheeses during ripening, however, this was more evident for the ovine and caprine cheeses (Table 2).

No significant differences were found between salt contents of the cheeses. The content increased at the beginning of ripening, which might be due to the diffusion from brine to cheese mass.

**Table 2.** The chemical and physicochemical properties of the cheeses (n=2)

	Ripening time (days)	Cheese types		
		Bovine milk cheese	Caprine milk cheese	Ovine milk cheese
Total solids (%)	3	42.94±0.43	42.35±1.11	42.74±1.10
	30	44.34±1.81	43.15±1.37	44.71±0.61
	60	43.98±1.83	45.11±0.94	44.85±1.73
	120	43.98±1.60	44.03±1.98	44.10±0.05
	180	43.79±0.62	42.11±1.65	43.29±1.76
	Mean value	43.79±0.62	43.35±1.59	43.94±1.26
Fat (%)	3	22.50±0.70	23.50±0.70	22.75±1.06
	30	22.87±0.88	24.00±0.70	24.12±0.17
	60	22.75±1.06	24.50±0.70	23.75±1.06
	120	22.75±1.06	24.50±1.41	23.75±0.35
	180	23.00±0.70	23.50±1.41	23.25±1.06
	Mean value	22.77±0.69b	24.00±0.91a	23.52±0.80ab
Protein (%)	3	15.73±0.43	14.76±0.02	15.20±0.50
	30	16.30±0.49	14.96±0.96	16.08±0.05
	60	15.87±0.84	15.10±0.35	15.31±0.24
	120	15.34±0.27	14.36±0.96	14.95±0.29
	180	15.12±0.36	13.51±0.45	14.25±1.11
	Mean value	15.67±0.58a	14.54±0.77b	15.15±0.75a
Protein/fat	3	0.699±0.002a	0.628±0.019b	0.668±0.008a
	30	0.712±0.005a	0.622±0.021b	0.666±0.007b
	60	0.697±0.004a	0.616±0.002b	0.644±0.019b
	120	0.674±0.019a	0.586±0.005c	0.629±0.002b
	180	0.657±0.004a	0.575±0.015c	0.612±0.019b
	Mean value	0.688±0.021a	0.605±0.025c	0.644±0.024b
Salt (%)	3	2.94±0.13	2.81±0.20	3.05±0.21
	30	3.89±0.21	3.86±0.33	3.79±0.34
	60	3.87±0.10	3.67±0.31	3.78±0.19
	120	3.97±0.24	3.64±0.13	3.71±0.09
	180	3.72±0.11	3.62±0.25	3.80±0.36
	Mean value	3.68±0.41	3.52±0.43	3.62±0.36
pH	3	6.02±0.05	6.05±0.12	6.09±0.08
	30	5.56±0.16	5.74±0.12	5.76±0.10
	60	5.53±0.15	5.70±0.08	5.69±0.09
	120	5.51±0.15	5.79±0.15	5.79±0.12
	180	5.61±0.07b	5.89±0.09a	5.91±0.04a
	Mean value	5.64±0.22b	5.83±0.15a	5.85±0.16a
Titratable acidity (%)	3	0.51±0.04	0.59±0.04	0.59±0.09
	30	0.81±0.04	0.84±0.10	0.91±0.04
	60	0.83±0.10	0.79±0.12	0.80±0.03
	120	0.90±0.02	0.81±0.07	0.87±0.14
	180	0.86±0.09	0.80±0.09	0.85±0.04
	Mean value	0.78±0.15	0.77±0.11	0.80±0.13

<sup>a,b,c</sup>: Means bearing different letters and given in the same row differ from each other statistically ( $p < 0.05$ ).

The pH value of bovine cheese was different from caprine and ovine cheese at level of  $p < 0.05$ . The cheeses of ovine and caprine milks had higher pH values than those of bovine cheeses (Table 2). This phenomena could be due to the assimilation of acidic molecules by some microorganisms (Schlesser et al., 1992), some molecules with basic character as a result of proteolysis (Walstra et al., 1999) and the effect of buffering structures of the molecules (Tunçtürk and Coşkun, 2002). The values of pH were higher in the cheeses made

from ovine and caprine milks and had more proteolysis especially toward the end of the ripening. As is known, more amino groups are released by the breakdown of proteins, which further buffers dissociated hydrogen ions. Since the cheeses were matured using the same starter culture under the same conditions, there was no statistically difference between the acidity values of the cheeses ( $p > 0.05$ ). Nespolo and Brandelli (2012) determined that cheese made from caprine milk had a higher fat content than Feta cheese



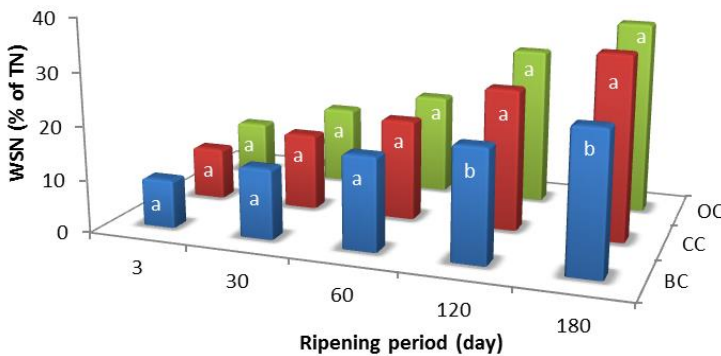
made from ovine milk, and the pH value was reported as 5.89 in the 30th day of storage in caprine cheese. Cipolat-Gotet et al. (2016) found higher protein / fat ratio in cheeses made from bovine milk compared to cheese made from ovine milk, similar to our study.

#### 4.4. Biochemical Changes

WSN values increased significantly in all cheeses for each analysis period ( $p < 0.05$ ). WSN values used as ripening index in cheese represent total proteolysis (Lopez-Fandino et al., 1991). In this

fraction, low protein molecules, peptides and amino acids and further degradation products are available (Christensen et al., 1991).

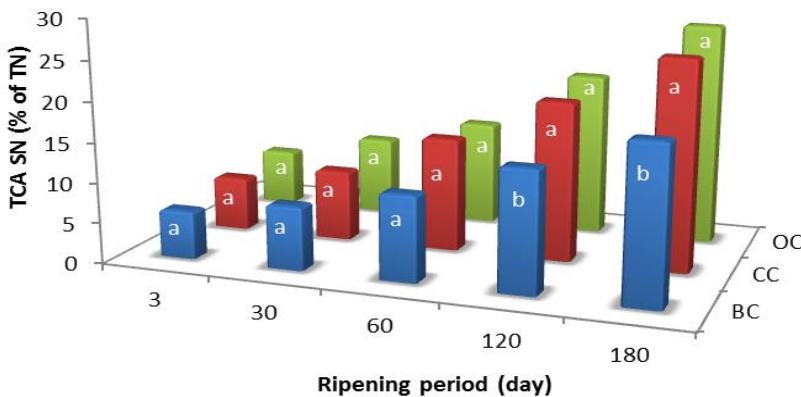
Increase of WSN content was significantly higher in the ovine and caprine cheeses than the bovine cheeses at 120 and 180 days of ripening period ( $p < 0.01$ ) (Figure 1). Temizkan et al. (2014) found caprine cheeses had lower levels of soluble nitrogenous matters than those of bovine or ovine cheeses during ripening. Aminifar et al. (2013) reported higher WSN values in cheese from ovine milk compared with bovine milk cheese.



◀ **Figure 1.** The changes in WSN values of the cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese. a,b,c: The means bearing different letters at the same ripening period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

Only small peptides and amino acids are soluble in TCA-SN fraction (Yvon et al., 1989). Therefore, this fraction is called as non-protein nitrogen (NPN) (Farahat et al., 1985) and it is accepted as an index of proteinase activity in cheese (Lopez-Fandino and Ardö, 1991). TCA-SN values increased significantly in all cheeses for each analysis period as in WSN values ( $p < 0.05$ ). The values of TCA-SN of the cheeses were similar until 60 days of ripening period ( $p > 0.05$ ), however then TCA values of ovine and

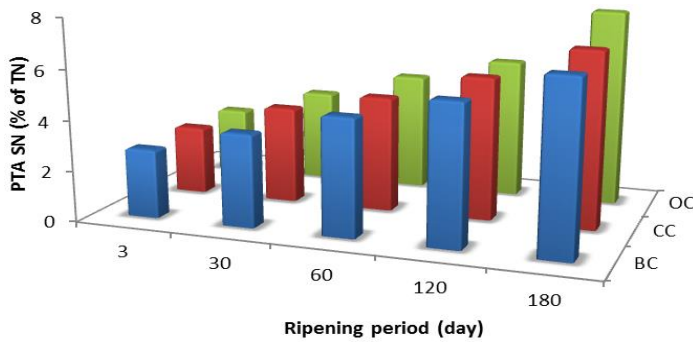
caprine were found significantly higher than bovine cheese ( $p < 0.01$ ) (Figure 2). It can be said that the factors affecting WSN values of the cheeses also affected TCA-SN values. Increases in TCA-SN may be due to the hydrolysis of high or medium molecular weight peptides to lower molecular weight peptides and amino acids (Hayaloglu et al., 2011). Values for TCA-SN and PTA-SN were higher in ovine Kashar cheeses than bovine or caprine Kashar cheeses during ripening ( $P < 0.01$ ) (Temizkan et al., 2014).



◀ **Figure 2.** The changes of TCA-SN values of the cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese. a,b,c: The means bearing different letters at the same period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

Tri-, dipeptides, free amino acids and the other basic structured-degradation products are solved in PTA-SN fraction (Christensen et al., 1991; Fialaire and Postaire, 1994). PTA-SN values of the cheeses orderly increased during ripening.

PTA-SN values were found to be higher in the cheeses made from ovine and caprine milks than those of bovine milk cheeses, but the differences were not significant ( $p > 0.05$ ) (Figure 3).



◀ **Figure 3.** The changes of PTA-SN values of the cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese).

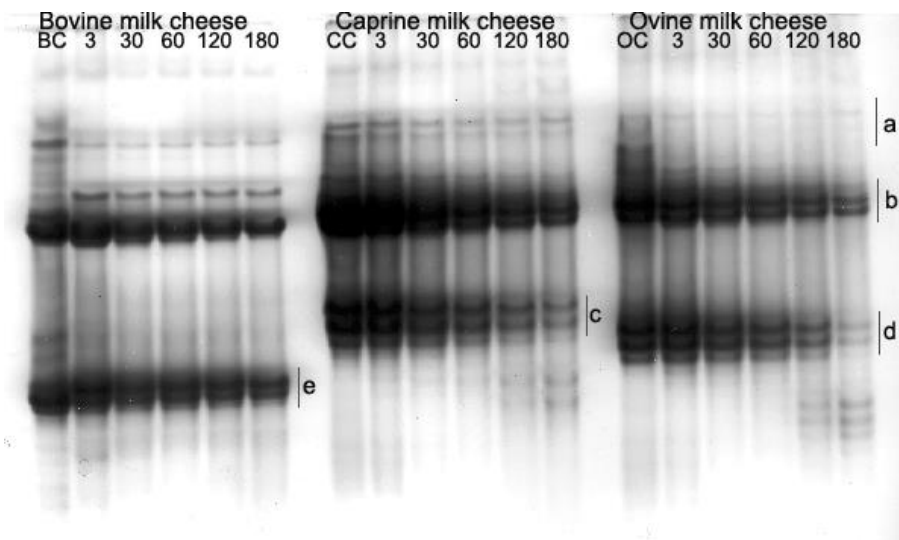
The reason behind of higher PTA-SN values in the ovine and caprine cheeses is that the substrates used by peptidases might be more effective in this kind of cheeses. As known, this fraction is formed by the peptidases released by starter cultures into the cheese medium as a result of autolysis. Thomas and Pritchard (1987) reported that lactic starter cultures secrete a number of proteinases and peptidases, and these have important function in cheese ripening and aroma development. In this study, since the same cultures were used, that no differences were obtained between the cheeses can be said.

The amount of rennet retained in the curd during drainage depends on many factors such as pH value during drainage and its added volume at the starting point (Lawrence et al., 1987; Kindstedt et al., 1995; Walstra et al., 1999). The use of higher amount of rennet per amount of ovine milk for cheese making and availability of higher amount of casein and fat (affecting on cheese total solids) in this milk might result with less amount of moisture removal during pressing or drainage and, therefore, higher amount of chymosin retention in the cheese mass. As a result of this, proteolysis by chymosin was found higher in ovine milk cheese. Kindstedt et al. (1995) reported that total

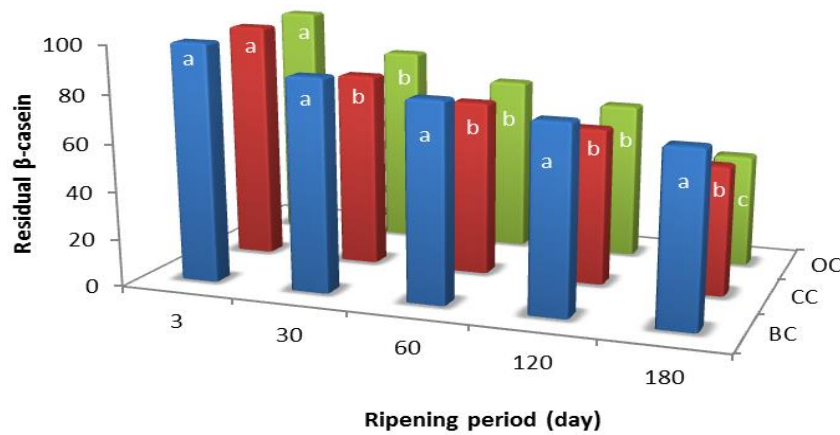
proteolysis increased in the cheese if the volume of coagulation enzyme was increased. This result also explains the reason of higher proteolysis in the ovine milk cheeses. Papademas and Robinson (2000) found that proteolysis was higher in ovine milk cheeses than bovine milk cheeses. Although less amount of rennet was used for caprine milk cheeses than bovine milk cheeses in our study, higher proteolysis (especially in degradation of  $\alpha_s$ -casein) was obtained. This phenomenon can be explained with higher retained amount of the rennet in the caprine milk curd or with sensitivity of caprine milk casein against the rennet than bovine milk casein. Güven et al. (1994) reported the similar results in Tulum cheeses.

Degradations of  $\beta$ - and  $\alpha_s$ -casein in all cheeses constantly increased during ripening. In general,  $\alpha_s$ -caseins in all cheeses were broken down faster than  $\beta$ -caseins (Figure 4).

Both casein fractions degraded faster in ovine and caprine cheeses than bovine cheese ( $p < 0.01$ ). At end of the ripening (on day 180), higher amount of intact  $\beta$ -casein (71.52 %) was found in bovine cheeses (Figure 5).



◀ **Figure 4.** Electropherograms of the caseins degradation of the cheeses made from bovine, ovine and caprine milks (BC: bovine caseins, OC: ovine caseins, CC: caprine caseins. 3, 30, 60, 120, 180: ripening days. a:  $\gamma$ -caseins, b:  $\beta$ -casein, c:  $\alpha_s$ -caseins of caprine milk cheese, d:  $\alpha_s$ -caseins of ovine milk cheese, e:  $\alpha_s$ -caseins of bovine milk cheese).

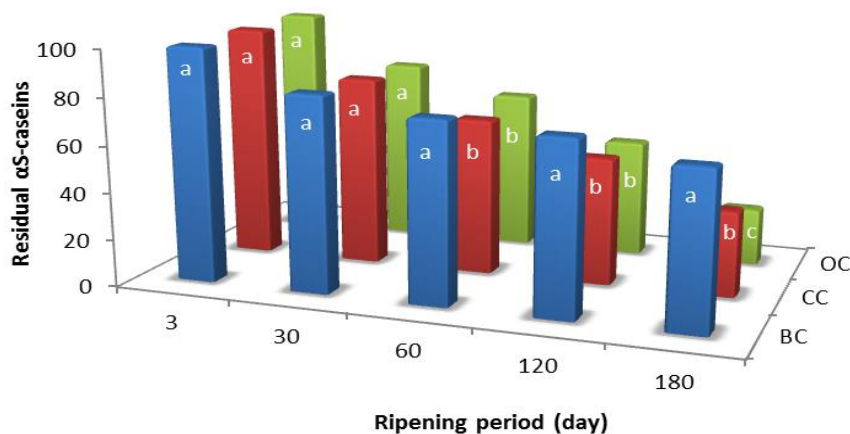


**Figure 5.** The changes in the residual  $\beta$ -caseins of the cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese. a,b,c The means bearing different letters at the same period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

$\beta$ -casein is mainly broken down by milk plasmin, and this enzyme found in the form of plasminogen associated with casein micelles is activated with different mechanisms (Barrett et al., 1999). Decrease in pH in cheese is effective in the activation of the enzyme (Lawrence et al., 1987). Park and Jin (1998) stated that rennet is able to degrade  $\beta$ -casein and form various peptides. In the study, higher degradation of  $\beta$ -casein in ovine and caprine cheeses might be because of the amount of remained rennet in the cheese mass and activation level of plasmin involved. Residual  $\alpha_s$ -

casein ratio was higher in bovine cheeses. Intact  $\alpha_s$ -caseins of the cheeses at the end of the ripening were as 66.26 % in bovine cheese, 36.45 % in caprine cheese and 24.48 % in ovine cheese (Figure 6).

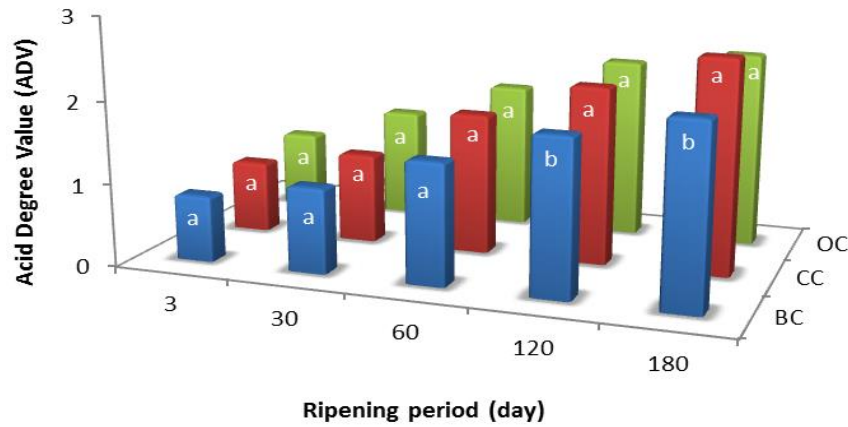
Chymosin amount retained in cheese mass plays the greatest role in hydrolysis of  $\alpha_s$ -casein in the cheeses (Lawrence et al., 1987). Furthermore, the proteinases belong to cheese micro flora hydrolyze casein fractions even in less rate (Thomas and Pritchard, 1987).



**Figure 6.** The changes in residual  $\alpha_s$ -casein of the cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese. a,b,c: The means bearing different letters at the same period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

ADV values showing lipolysis degree in the cheeses increased during ripening. ADV values obtained from ovine and caprine cheeses were higher than those of bovine cheese from the beginning to end of the ripening, and which was at significant levels in days of 120 and 180 of storage ( $p < 0.01$ ). At the end of the ripening, ADV values of caprine cheeses were the highest (Figure

7). The fact that proteolysis and lipolysis values are higher than bovine cheese in ovine and caprine cheeses especially on the 120th and 180th days may be attributed to the fact that the milk from which these cheeses are made contains more and richer microflora than bovine milk even after pasteurization.



**Figure 7.** The changes in ADV values of cheeses during ripening (BC: Bovine milk cheese, CC: Caprine milk cheese, OC: Ovine milk cheese. a,b,c: The means bearing different letters at the same period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

The highest ADV values in ovine and caprine cheeses showed that lipolytic activity was higher in these cheeses. Since the diameter of fat globules in caprine milk is small (Attaie and Richter, 2000; Coşkun and Öndül, 2004) and the surface area is bigger, these may be the reasons for higher lipolytic activity in caprine cheeses. Moreover, differences in the compositions of the milks from different species (Kosikowski and Mistry, 1997) might be effective on the lipolysis degree in the cheeses. Demiryol and Yaygın (1984) found the highest lipolysis in the cheeses made from caprine milk, which was followed by ovine and bovine milks with a high level. Fuente et al. (1993) reported the similar results. The later researchers suggested that the lipases which may be found in rennet can contribute lipolysis in cheeses.

#### 4.5. Sensorial Changes

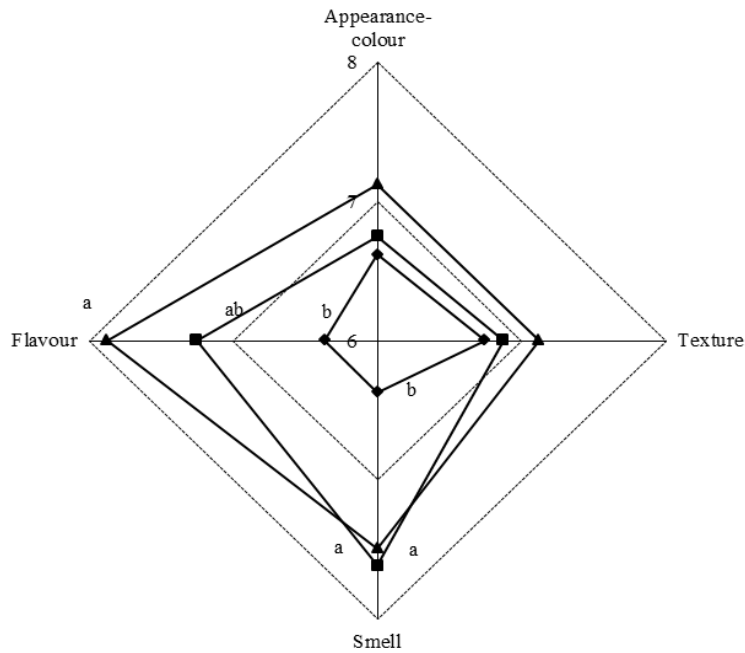
In terms of sensory properties, the most preferred cheeses were those that made from ovine milk, and this was followed by caprine cheeses (Figure 8).

There was no significant differences between color-appearance and texture scores of the cheeses ( $p > 0.05$ ). However, the scores of taste and flavor of the cheeses were different from each other ( $p < 0.05$ ). The color of the cheeses made from bovine milk was more yellowish than ovine and caprine cheeses. Usually the open-White color is preferred in the White-pickled cheese by the consumers. As known, bovine milk has higher amount of  $\beta$ -carotene when compared with the other milks, which makes the products more yellowish (Metin, 1996; Walstra et al., 1999). On the other hand, the color of the caprine cheese to

be perceived whiter as a result of the transformation of  $\beta$ -carotene into colorless vitamin A and containing low diameter fat globules (Attaie and Richter, 2000; Coşkun and Öndül, 2004). High level of proteolysis and lipolysis in caprine and ovine cheese also affected the textural properties and other sensorial properties and therefore, these cheeses received higher scores. Some panelists reported that the bovine milk cheeses had thicker and drier structure than the others. Interestingly caprine cheeses received the highest score in terms of smell. The taste and flavor of the ovine cheeses were found more acceptable than the others, and this was followed by caprine cheese. Although the cheeses made from bovine milk were typical for the taste and flavor of the White-pickled cheese, they were found as tasteless when compared with the others. Some of the panelists reported spicy taste and flavor in the caprine cheeses. However, this taste was not unacceptable and gained the cheese a different taste. Higher amount of short chain fatty acids in the caprine cheeses might involve in such taste (Kosikowski and Mistry, 1997). In addition, higher proteolysis degrees in ovine and caprine cheeses may positively affect the sensory properties of the cheeses. Even if it was not significant statistically, amino nitrogen contents were higher in ovine and caprine cheeses. A highly correlation was reported between taste of cheese and this nitrogen fraction (Aston et al., 1983).

#### 5. Conclusion

Ovine and caprine milks which have 10 % proportion of total milk production in Turkey has an important potential in White-pickled cheese production in point of yield and quality.



**Figure 8.** Sensory scores given by the panellists for the cheeses (◆ Bovine milk cheese, ■ Caprine milk cheese, ▲ Ovine milk cheese. a, ab, b: The means bearing different letters at the same period differ from each other ( $p < 0.05$ )).

The use of milks pertaining to different species in the White cheese production affected the values of yield ( $p < 0.01$ ), chemical compositions, biochemical, electrophoretic and sensory properties. From higher to lower, yield of cheeses were determined as ovine, caprine and bovine cheeses, respectively. Significant differences were determined in fat ( $p < 0.05$ ), protein ( $p < 0.01$ ) and cheese yield ( $p < 0.01$ ) of White cheese samples. The results indicated that the ovine milk cheeses had higher amount of lipolysis and proteolysis. WSN and TCA-SN values were revealed to be higher in sheep and caprine cheeses than bovine cheeses ( $p < 0.01$ ). Electrophoresis analysis also showed that more casein degradation occurred in ovine and caprine cheeses than bovine cheese. ADV values of caprine and ovine cheeses were also significantly higher than bovine cheese ( $p < 0.01$ ). The caprine cheeses had its typical and intensive taste and flavor. Because of that, if the characteristics of bovine milk cheeses are wanted to be improved, bovine milk may be mixed with caprine milk, and this case, of course, should be indicated in the label exactly. In this study, it was also understood from the electrophoretic gels that any cheese that is made with a mixture of milks can be determined in certain (limited) levels to avoid adulteration.

## References

- Aganga, A.A., Amarteifio, J.O. and Nkile, N., 2002. Effect of Stage of Lactation on Nutrient Composition of Tswana Sheep and Goat's Milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 533–543.
- Aminifar, M., Hamed, M., Emam-Djomeh, Z. and Mehdinia, A., 2013. The Effect of Ovine and Bovine Milk on the Textural Properties of Lighvan Cheese During Ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 66(1), 45-53.
- Arslaner, A. and Bakırcı, İ., 2016. Effect of Milk Type, Pasteurization and Packaging Materials on Some Physicochemical Properties and Free Fatty Acid Profiles of Tulum Cheese. *Akademi Gıda*, 2, 98-104.
- AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th Edition. Association of Official Analysis Chemists, Washington DC.
- Aston, J.W., Durward, I.G. and Dulle, J.R. 1983. Proteolysis and Flavor Development in Cheddar Cheese. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 38, 55-58.
- Aston, J.W., Giles, J.E., Durward, I.G. and Dulle, J.R. 1985. Effect of Elevated Ripening Temperatures on Proteolysis and Flavour Development in Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Research*, 52, 565-572.
- Attai, R. and Richter, R.L., 2000. Size Distribution of Fat Globules in Goat Milk. *Journal of Dairy Science*, 83, 940-944.
- Barrett, F.M., Kelly, A.L., McSweeney, P.L.H. and Fox, P.F. 1999. Use of Exogenous Urokinase to



- Accelarete Proteolysis in Cheddar Cheese During Ripening. *International Dairy Journal*, 9, 421-427.
- Basdagianni, Z., Papaloukas, L., Kyriakou, G., Karaiskou, C., Parissi, Z., Sinapis, E. and Kasapidou, E., 2019. A Comparative Study of the Fatty Acid and Terpene Profiles of Ovine and Caprine Milk from Greek Mountain Sheep Breeds and a Local Goat Breed Raised Under a Semi-Extensive Production System. *Food Chemistry*, 278, 625-629.
- Boyazoglu, J., 2002. *Livestock Research and Environmental Sustainability with Special Reference to the Mediterranean Basin*. *Small Ruminant Research*, 45, 193-200.
- Boyazoglu, J. and Morand-Fehr, P., 2001. *Mediterranean Dairy Sheep and Goat Products and Their Quality A Critical Review*. *Small Ruminant Research*, 40, 1-11.
- Bütikofer, U., Ruegg, M. and Ardö, Y., 1993. Determination of Nitrogen Fractions in Cheese: Evaluation of a Collaborative Study. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 26(3), 271-275.
- Çakmakçı, S. and Kurt, A., 1993. Salamura Tuz Oranı ve Olgunlaşma Süresinin CaCl<sub>2</sub> ve lesitin İlavesiyle Üretilen Beyaz Salamura Peynir Kalitesine Etkisi. *The Journal of Food*, 18(1), 21-28.
- Christensen, T.M.I.E., Bech, A.M. and Werner, H., 1991. Methods for Crude Fractionation (Extraction and Precipitation) of Nitrogen Components in Cheese. *Bulletin of the IDF*, 261, 4-9.
- Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., Pazzola, M., Dettori, M.L., Bittante, G. and Vacca, G.M., 2016. Potential Influence of Herd and Animal Factors on Yield of Cheese and Recovery of Components from Sarda Sheep Milk, as Determined by a Laboratory Bench-Top Model Cheese-Making. *International Dairy Journal*, 63, 8-17.
- Coşkun, H. and Öndül, E., 2004. Keçi Sütü ve İnsan Beslenmesindeki Önemi. *Türkiye 8. Gıda Kongresi 26-28 Mayıs, Bursa, Turkey*. s.70.
- Creamer, L.K. 1991. Electrophoresis of cheese. *Bulletin of the IDF*, 261, 14-28.
- Demiryol, I. ve Yaygın, H., 1984. İnek, Koyun ve Keçi Sütlerinden Yapılan ve Farklı Sıcaklıklarda Olgunlaştırılan Beyaz Peynirlerin Özellikleri Üzerinde Araştırmalar. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 21 (3), 127-140.
- FAO, 2019. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/> 14 September 2019.
- Farahat, S.M., Rabie, A.M., Abdel Baky, A.A., El-Neshawy, A.A. and Mobasher, S., 1985. □-Galaktozidase in the Acceleration of Ras Cheese Ripening. *Die Nahrung*, 29(3), 247-254.
- Fekadu, B., Soryal, K., Zeng, S., Van Hekken, D., Bah, B. and Villaquiran, M., 2005. Changes in Goat Milk Composition During Lactation and Their Effect on Yield and Quality of Hard and Semi-Hard Cheeses. *Small Ruminant Research*, 59, 55-63.
- Fialaire, A. and Postaire, E., 1994. Hydrolysis of Peptide Binding by Phosphotungstic Acid. *Journal of AOAC International*, 77(5), 1338-1340.
- Fox, P.F., 1989. Proteolysis During Cheese Manufacture and Ripening. *Journal of Dairy Science*, 72, 1379-1408.
- Fuente, M.A., Fontecha, J. and Juárez, M., 1993. Fatty Acid Composition of the Triglyceride and Free Fatty Acid Fractions in Different Cows-, Ewes- and Goats-Milk Cheeses. *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 196, 155-158.
- Guo, M., Park, Y.W., Dixon, P.H., Gilmore, J. A, Kindstedt Paul, S., 2004. Relationship Between the Yield of Cheese (Chevre) and Chemical Composition of Goat Milk. *Small Ruminant Research*, 52, 103-107.
- Güven, M., Konar, A. and Kleeberger, A., 1994. İnek, Koyun ve Keçi Sütlerinden Yapılan ve Deri tulumlarda Olgunlaştırılan Tulum Peynirlerinin Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özellikleri. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences*, 25th Anniversary Special Issue, 203-218.
- Hayaloğlu, A., Güven, M. and Fox, P.F. 2002. Microbiological, Biochemical and Technological Properties of Turkish White Cheese "Beyaz Peynir". *International Dairy Journal*, 12, 635-648.
- IDF (International Dairy Federation), 1986. *Cheese and Processed Cheese Products. Determination of Fat Contents*. IDF Standard 5B. Brussels. BE.
- Jellema, A., Anderson, M., Heeschen, W., Kuzdal-Savoie, S., Needs, E.C., Suhren, G., Van Reusel, A., 1991. Determination of free fatty acids in milk and milk products. *Bulletin of the International Dairy Federation* no. 265.
- Kindstedt, P.S., Yun, J.J., Barbano, D.M. and Larose, K.L., 1995. Mozzarella Cheese: Impact of Coagulant Concentration on Chemical



- Composition, Proteolysis, and Functional Properties. *Journal of Dairy Science*, 78, 2591-2597.
- Kosikowski, F.V. and Mistry, V.V., 1997. *Cheese and Fermented Milk Foods*, Vol. 1. Westport CT 06880: F V Kosikowski LLC, 729 p.
- Kosikowski, F.V., 1982. *Cheese and Fermented Milk Foods*, Published by F V Kosikowski and Associates New York, 711p.
- Lawrence, R.C., Creamer, L.K. and Gilles, J., 1987. Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science*, 70, 1748-1760.
- Lopez-Fandino, R. and Ardö, Y., 1991. Effect of Heat Treatment on the Proteolytic/Peptidolytic Enzyme System of a *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* Strain. *Journal of Dairy Research*, 58, 469-475.
- Lopez-Fandino, R., Ramos, M., Fernandez-Garcia, E. and Olano, A., 1991. Proteolytic Activity of Two Commercial Proteinases From *Aspergillus oryzae* and *Bacillus subtilis* on Ovine and Bovine Caseins. *Journal of Dairy Research*, 58, 461-467.
- Metin, M., 1996. *Süt Teknolojisi: Sütün Bileşimi ve İşlenmesi (Dairy Technology: Composition and Process)*, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın 33. İzmir Turkey, 793 p.
- Metzger, L.E. and Mistry, V.V., 1994. A New Approach Using Homogenization of Cream in the Manufacture of Reduced Fat Cheddar Cheese. 1. Manufacture, Composition, and Yield. *Journal of Dairy Science*, 77, 3506-3515.
- Moatsou, G. and Govaris, A., 2011. White Brined Cheeses: A Diachronic Exploitation of Small Ruminants Milk in Greece. *Small Ruminant Research*, 101, 113-121.
- Molina, E., Ramos, M., Alonso, L. and López-Fandiño, R., 1999. Contribution of Low Molecular Weight Water Soluble Compounds to the Taste of Cheeses Made of Cows', Ewes' and Goats' Milk. *International Dairy Journal*, 9, 613-621.
- Nespolo, C.R. and Brandelli, A., 2012. Characterization of Cheeses Produced With Ovine and Caprine Milk and Microbiological Evaluation of Processing Areas in the Dairy Plant in Brazil. *International Food Research Journal*, 19(4), 1713-1721.
- Oktar, E., Gönç, S. and Akalın, S., 1996. *Peynir Teknolojisinde Kazan Sütüne Yapılacak Ön İşlemler. Her Yönüyle Peynir*. M Demirci (Eds), İstanbul, Turkey, Hasad Publication. p. 50-65.
- Papademas P and Robinson R.K., 2000. A Comparison of the Chemical, Microbiological and Sensory Characteristics of Bovine and Ovine Halloumi Cheese. *International Dairy Journal*, 10, 761-768.
- Park, Y.W. and Jin, Y.K., 1998. Proteolytic Patterns of Caciotta and Monterey Jack Hard Goat Milk Cheeses as Evaluated by SDS-PAGE and Densitometric Analyses. *Small Ruminant Research*, 28, 263-272.
- Pirisi, A., Comunian, R., Urgeghe, P.P. and Scintu, M.F., 2011. Sheep's and Goat's Dairy Products in Italy: Technological, Chemical, Microbiological and Sensory Aspects. *Small Ruminant Research*, 101, 102-112.
- Rudan, M.A., Barbano, D.M., Yun, J.J. and Kindstedt, P.S., 1999. Effect of Fat Reduction on Chemical Composition, Proteolysis, Functionality, and Yield of Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science*, 82, 661-672.
- SAS® 1988. *User's Guide*, Statistics SAS Institute Inc. Carry, NC, USA.
- Schlesser, J.E., Schmidt, S.J. and Speckman, R., 1992. Characterization of Chemical and Physical Changes in Camambert Cheese During Ripening. *Journal of Dairy Science*, 75, 1753-1760.
- Stocco, G., Pazzola, M., Dettori, M.L., Paschino, P., Bittante, G. And Vacca, G.M., 2018. Effect of Composition on Coagulation, Curd Firming and Syneresis of Goat Milk. *Journal of Dairy Science*, 101, 9693-9702.
- Şimşek, Ü.G., Bayraktar, M. and Gürses, M., 2006. Çiftlik Koşullarında Kıl Keçilerine Ait Bazı Verim Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 20, (3), 221-227.
- Tarakçı, Z., Coşkun, H. and Tunçtürk, Y. 2004. Some Properties of Fresh and Ripened Herby Cheese, a Traditional Variety Produced in Turkey. *Food Technology and Biotechnology*, 42(1), 47-50.
- Temizkan, R., Yaşar, K. and Hayaloğlu, A.A., 2014. Changes During Ripening in Chemical Composition, Proteolysis, Volatile Composition and Texture in Kasha Cheese Made Using Bovine, Ovine or Caprine Milk. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2643-2649.
- Thomas, T.D. and Pritchard, G.G., 1987. Proteolytic Enzymes of Dairy Starter Cultures. *FEMS Microbiology Reviews*, 46, 245-268.
- Tunçtürk, Y. and Coşkun, H., 2002. The Effects of Production and Ripening Methods on Some

- Properties of Herby Cheese (Otlu Peynir). *Milchwissenschaft*, 57(11/12), 638-640
- Tunçtürk, Y., Coşkun, H. and Ghosh, B.C., 2003. Nitrogen Fractions in Brine During Ripening of Herby Cheese (Otlu Peynir). *Indian Journal of Dairy Science*, 56(4), 208-212.
- URL-1  
<http://www.turkstat.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30728>. 10 September 2019.
- Yıldız, N. and Denk, H., 2006. Van Bölgesinde Halk Elinde Yetiştirilen Akkaraman Koyunlarda Çeşitli Verim Özellikleri I. Döl ve Süt Verimi Özellikleri. *Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 20, (1), 21-27.
- Walstra, P., Geurts, T.J., Noomen, A., Jellema, A. and Van Boekel, M.A.J.S., 1999. *Dairy Technology: Principles of Milk, Properties and Processes* Marcel Dekker Inc. New York-Basel, 726 p.
- Yvon, M., Chabanet, C. and Pelissier, J.P., 1989. Solubility of Peptides in Trichloroacetic Acid (TCA) Solutions. *International Journal of Peptide and Protein Research*, 34, 166-176.

## Farklı Çamur Yaşlarında Anaerobik/Aerobik/Anoksik Ardışık Kesikli Reaktörde Nutrient Giderimi

### *Nutrient Removal in Anaerobic/Aerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactor at Different Sludge Ages*

Müslün Sara TUNÇ<sup>\*a</sup>, Ayhan ÜNLÜ<sup>b</sup>

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 18.09.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.05.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 23.05.2020

#### Öz

Bu çalışmada, ardışık kesikli bir reaktör ile sentetik atıksudan nutrient giderimi farklı çamur yaşlarında çalışılmıştır. Ardışık kesikli reaktör anaerobik (130 dakika), aerobik (330 dakika) ve anoksik (210 dakika) fazlar şeklinde işletilmiştir. Anoksik fazdan sonra 45 dakika çökeltme ve 5 dakika boşaltma fazı uygulanmıştır. Reaktör 6 gün çamur yaşında işletildiğinde, ortalama olarak %92 KOİ, %81 NH<sub>4</sub>-N ve %26 PO<sub>4</sub>-P giderimi gözlenmiştir. Çamur yaşı 10 günde sabit tutulduğunda ortalama olarak %93 KOİ, %90 NH<sub>4</sub>-N ve %13 PO<sub>4</sub>-P giderimi sağlanmıştır. 15 günlük çamur yaşında ise ortalama olarak %92 KOİ, %79 NH<sub>4</sub>-N ve %17 PO<sub>4</sub>-P giderimi elde edilmiştir. En yüksek KOİ (%93) ve NH<sub>4</sub>-N (%90) giderimi 10 günlük çamur yaşında belirlenirken en iyi PO<sub>4</sub>-P giderimi 6 günlük çamur yaşında sağlanmıştır. KOİ ve NH<sub>4</sub>-N giderim verimi ile karşılaştırıldığında PO<sub>4</sub>-P için oldukça düşük giderim verimi gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ardışık Kesikli Reaktör, Çamur Yaşı, Nutrient Giderimi

#### Abstract

In this study, nutrient removal from synthetic wastewater by a sequencing batch reactor was studied at different sludge ages. The sequencing batch reactor was operated in anaerobic (130 minutes), aerobic (330 minutes) and anoxic (210 minutes) phases. After the anoxic phase, settling phase of 45 minutes and discharge phase of 5 minutes were applied. When the reactor was operated at sludge age of 6 days, average 92% COD, 81% NH<sub>4</sub>-N and 26% PO<sub>4</sub>-P removal were observed. When the sludge age was kept constant at 10 days, COD, NH<sub>4</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P removal were achieved to be average 93%, 90% and 13%, respectively. At sludge age of 15 days, average 92% COD, 79% NH<sub>4</sub>-N and 17% PO<sub>4</sub>-P removal were obtained. The highest COD (93%) and NH<sub>4</sub>-N (90%) removal was determined at the sludge age of 10 days, while the best PO<sub>4</sub>-P removal was achieved at the sludge age of 6 days. Compared with COD and NH<sub>4</sub>-N removal efficiency, PO<sub>4</sub>-P removal efficiency was appeared very low.

**Keywords:** Sequencing Batch Reactor, Sludge Age, Nutrient Removal

<sup>\*a</sup> M. Sara TUNÇ; saratunc@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00/8417, orcid.org/0000-0001-9907-0428

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-9577-6389

## 1. Giriş

Azot ve fosfor, evsel ve endüstriyel atıksularda yaygın kirleticilerdir. İnsanoğlunu etkileyen çeşitli hastalıklar ve ötrofikasyon gibi bazı sorunlara neden olmalarından dolayı çevreye salınımları çok dikkat çekmektedir (Jiang vd., 2016). Bu nedenle hem azotun hem de fosforun giderilmesi su kirliliği kontrolü için hayati öneme sahiptir (Xu vd., 2013). Atıksulardan biyolojik nutrient gideriminin ötrofikasyon problemini önlemede etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır (Chen vd., 2019). Biyolojik nutrient giderimi, sıkı deşarj gereksinimlerini karşılamak için en ekonomik ve sürdürülebilir teknik olarak kabul edilmektedir (Xu vd., 2013; Marin vd., 2016). Biyolojik nutrient giderimi, fosforun anaerobik salınımı ve aerobik alımı, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi birçok biyokimyasal süreci kapsamaktadır. Biyolojik fosfor giderimi, fosfor biriktiren organizmaların hücrelerinde fosforun aerobik ortamda polifosfat olarak depolanması yoluyla sağlanmaktadır (Chen vd., 2019). Azotun biyolojik olarak giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon olmak üzere iki ana prosesten oluşmaktadır. Nitrifikasyon, amonyum oksitleyen bakteriler tarafından amonyumun nitrite oksitlendiği, sonra nitrit oksitleyen bakteriler tarafından nitritin nitrate oksitlendiği ototrofik bakteriler tarafından gerçekleştirilen aerobik bir prosestir. Denitrifikasyon, elektron alıcısı olarak nitrit ve/veya nitrat kullanılarak heterotrofik bakteriler tarafından gerçekleştirilen bir anoksik prosestir. Bu proseste, nitrat nitrite ve daha sonra nitrik oksit, azot oksit ve son olarak azot gazına indirgenmektedir (Marin vd., 2016).

Ardışık kesikli reaktör (AKR) sistemleri biyolojik nutrient gideriminde iyi bir potansiyel göstermiştir. AKR kullanıldığında, tek bir reaktörde nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor gideriminin elde edilmesi mümkündür (Akin ve Ugurlu, 2004). AKR, doldur-boşalt tarzında işletilen bir çeşit aktif çamur arıtma sistemidir. AKR işletiminde, prosesler aynı tankta ardışık olarak gerçekleştirilmektedir (Sirianuntapiboon ve Yommee, 2006). Tüm AKR sistemlerde her bir arıtma döngüsü aşağıdaki kademeleri içermektedir: Doldurma, reaksiyon periyodu, çökeltme, boşaltma ve dinlendirme (Garzon-Zúñiga ve González-Martínez, 1996). Biyolojik nutrient giderimi istendiğinde, reaksiyon periyodundaki basamaklar, belli sayı ve sırada anaerobik, anoksik ve aerobik işlemleri sağlamak için ayarlanmaktadır (Uygur vd., 2004). AKR’de, çökeltme havuzları ve debi dengeleme tankları gerekli değildir ve bu nedenle tesislerin ve işletme

yönetiminin maliyetleri sürekli akışla çalışan çamur sistemlerinden çok daha düşüktür. Ayrıca, AKR’nin çevrim süreleri ve akış hızları gibi çalışma koşullarını değiştirmenin kolay olmasından dolayı faydaları vardır. Bu nedenle, AKR, özellikle küçük atık su arıtma tesisleri için etkili olarak kabul edilmektedir (Tsuneda vd., 2006). Bu çalışmada, anaerobik/aerobik/anoksik olarak işletilen ardışık kesikli reaktörün sentetik atıksudan nutrient giderim performansı farklı çamur yaş şartları altında araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma 1.2 L işletme hacimli ardışık kesikli bir reaktör (AKR)’de yürütülmüştür. AKR, 24±1°C’de günde 2 döngü olarak işletilmiştir. Her bir döngü 130 dakika anaerobik, 330 dakika aerobik, 210 dakika anoksik, 45 dakika çökeltme ve 5 dakika boşaltma fazı olmak üzere 12 saatten ibaret olmuştur. Her döngüde, anaerobik fazın ilk 1-2 dakikasında reaktöre 0.6 L sentetik atıksu beslenmiş ve her bir döngüde çökeltme işlemi tamamlandıktan sonra boşaltma fazında reaktördeki üst sıvı karışımdan 0.6 L boşaltılmıştır. Çökeltme ve boşaltma fazları hariç, biyokütlenin askıda olmasını ve atıksu ile temasını sağlamak için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Aerobik fazda havalandırma, hava pompası kullanılarak reaktöre yerleştirilen hava taşı ile sağlanmıştır. Reaktör, Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi’nden alınan aktif çamur ile aşılansmıştır. Deneysel çalışmada sentetik atıksu kullanılmıştır. Sentetik atıksu CH<sub>3</sub>COONa.3H<sub>2</sub>O (2260 mg/L), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (236 mg/L), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (66 mg/L), NaHCO<sub>3</sub> (590 mg/L), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (50 mg/L) ve 1 mL eser mineral çözeltisi içermiştir. Eser mineral çözeltisi litrede 100 mg ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 30 mg MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, 300 mg H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 200 mg CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, 10 mg CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, 10 mg NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O ve 30 mg Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> içermiştir. Sentetik atıksu içerisinde KOİ, azot ve fosfor sırasıyla 1000 mg/L, 50 mg NH<sub>4</sub>-N/L ve 15 mg PO<sub>4</sub>-P/L’dir. Sentetik atıksuyun başlangıç pH’ı 7.2’e ayarlanmıştır. Reaktörde pH değeri kontrolü yapılmamıştır. AKR 6, 10 ve 15 gün olmak üzere üç farklı çamur yaşında işletilmiştir.

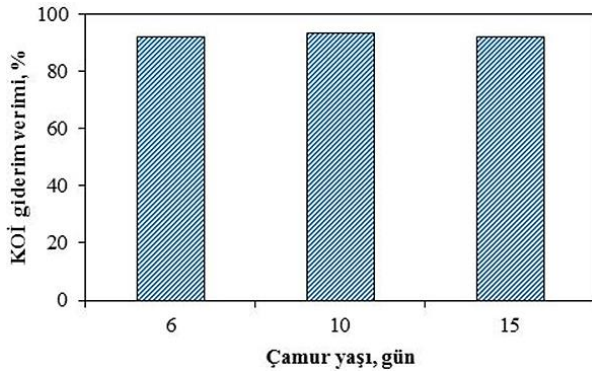
Her döngünün başında ve sonunda reaktörden numune alınıp filtreden geçirilmiş ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), nitrit azotu (NO<sub>2</sub>-N), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) ve fosfat fosforu (PO<sub>4</sub>-P) analizleri yapılmıştır. NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N ve PO<sub>4</sub>-P analizleri için standart test kitleri (Merck-Spectroquant) kullanılarak Merck Nova 60 Spectroquant cihazında gerçekleştirilmiştir. KOİ Standart

Metotlar'a göre belirlenmiştir (APHA, 1989). Çözünmüş oksijen (ÇO) ve pH değeri multi-meter cihaz (Hach HQ40D) ile ölçülmüştür.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. KOİ Giderim Verimi

KOİ giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi Şekil 1'de verilmiştir. 6, 10 ve 15 günlük çamur yaşında ortalama KOİ giderim verimi sırasıyla %92, %93 ve %92 olarak elde edilmiştir. Çalışılan tüm çamur yaşlarında KOİ giderim verimi yüksek olup hemen hemen aynı olarak gözlenmiştir.



Şekil 1. KOİ giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi

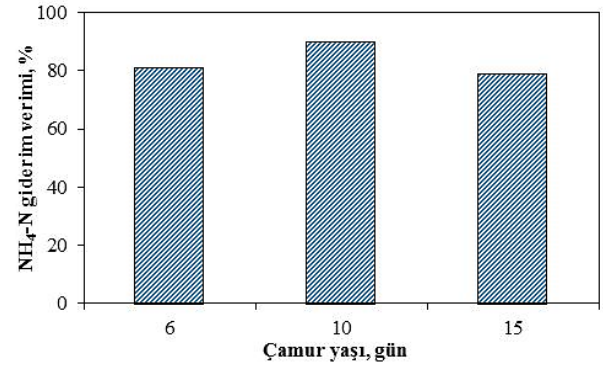
#### 3.2. NH<sub>4</sub>-N Giderim Verimi

NH<sub>4</sub>-N giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi Şekil 2'de verilmiştir. 6, 10 ve 15 günlük çamur yaşında elde edilen ortalama NH<sub>4</sub>-N giderim verimi sırasıyla %81, %90 ve %79 olarak belirlenmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, en yüksek giderim verimi 10 günlük çamur yaşında sağlanmıştır. Kargı ve Uygur (2002) tarafından yürütülen çalışmada da en yüksek NH<sub>4</sub>-N giderim verimi 10 günlük çamur yaşında sağlanmıştır. Yüksek çamur yaşı değerinde nitrifikasyon organizmalarının yaşlı popülasyonu düşük NH<sub>4</sub>-N giderim performansından sorumlu olabilir (Kargı ve Uygur, 2002).

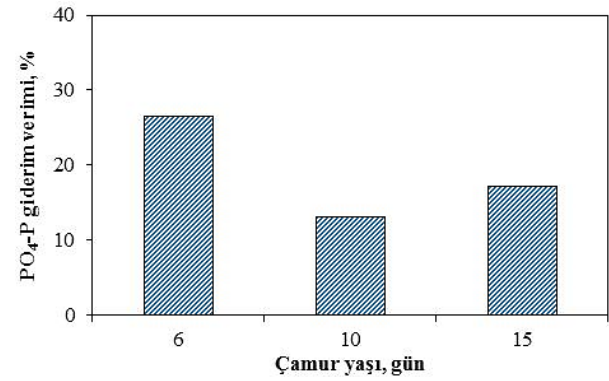
#### 3.3. PO<sub>4</sub>-P Giderim Verimi

PO<sub>4</sub>-P giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi Şekil 3'te verilmiştir. 6, 10 ve 15 günlük çamur yaşında elde edilen ortalama PO<sub>4</sub>-P giderim verimi sırasıyla %26, %13 ve %17 olarak gözlenmiştir. 6 günlük çamur yaşında giderim verimi, 10 ve 15 günlük çamur yaşındaki giderim veriminden daha yüksek bulunmuştur. Ancak, fosfor giderim verimleri oldukça düşüktür, dolayısıyla çıkış suyunda oldukça yüksek

miktarda PO<sub>4</sub>-P belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, sistemde fosfat biriktiren organizmaların inhibe olduğu ve giderilen fosforun da hücre sentezinde kullanıldığı ifade edilebilir.



Şekil 2. NH<sub>4</sub>-N giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi



Şekil 3. PO<sub>4</sub>-P giderim veriminin çamur yaşı ile değişimi

#### 3.4. Döngü Süresince Nutrient Değişimi

AKR, 10 günlük çamur yaşında işletildiğinde anaerobik, aerobik ve anoksik fazlarda KOİ, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N ve PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonunun değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Döngünün başında 455 mg/L olan KOİ konsantrasyonu anaerobik fazın sonunda 430 mg/L'e düşmüş ve KOİ'nin sadece %5'i giderilmiştir. Anaerobik faz süresince NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonunda önemli düzeyde değişim gözlenmemiştir. PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonu hemen hemen aynı kalmış ve fosfor salınımı belirlenmemiştir.

Aerobik fazın başlıca amacı KOİ giderimini, nitrifikasyonu ve fosfor alımını sağlamaktır. Bu adımda KOİ konsantrasyonu 430 mg/L'den 20 mg/L'e düşmüş ve KOİ'nin büyük çoğunluğu aerobik oksidasyon ile giderilmiştir. NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu 21.3 mg/L'den 2.1 mg/L'e düşmüştür. Bu fazda 5.6 mg/L NO<sub>2</sub>-N ve 2.5 mg/L NO<sub>3</sub>-N üretilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü

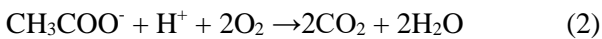
üzere, aerobik fazda tam nitrifikasyon gerçekleşmemiştir. Aerobik fazda nitrate kadar tam nitrifikasyon gerçekleşmediği için sistemde nitrit birikimi gözlenmiştir. Aşağıdaki denklem kullanılarak reaktörde nitrit birikim oranı belirlenebilmektedir (Guo vd., 2009).

Nitrit Birikim Oranı

$$= \frac{NO_2-N}{NO_2-N+NO_3-N} \times \%100 \quad (1)$$

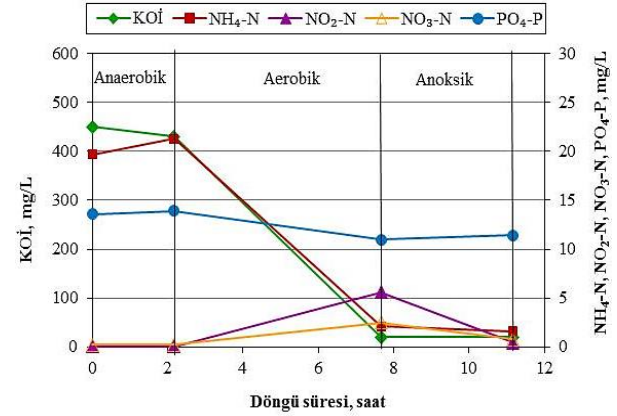
Denklem (1) kullanılarak reaktördeki nitrit birikimi oranı %69 olarak belirlenmiştir. Reaktörde nitritin birikmesi, nitrit oksitleyen bakterilerin inhibe olduğunu göstermektedir. Nitrit birikiminde ÇO konsantrasyonu, sıcaklık, pH ve serbest amonyak konsantrasyonu etkili faktörlerdir. Ciudad vd. (2005) 1.4 mg/L ÇO konsantrasyonunda %75 ve Ruiz vd. (2003) 0.7 mg/L ÇO konsantrasyonunda %65 nitrit birikimini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, aerobik fazda reaktördeki ÇO konsantrasyonu düşük olmadığından dolayı, ÇO konsantrasyonunun nitrit birikiminden sorumlu faktör olmadığı düşünülmektedir. Serbest amonyak konsantrasyonu; amonyum konsantrasyonu, pH ve sıcaklığa bağlı olmaktadır. pH ve sıcaklığın artmasıyla serbest amonyak konsantrasyonu artmaktadır. Reaktörde sıcaklık  $24 \pm 1$  °C olup sıcaklık değerinde artış söz konusu olmamıştır. Ancak, aerobik fazda pH değeri yükselmiş ve dolayısıyla serbest amonyak konsantrasyonu da artmıştır. Bu durumda, serbest amonyak nitrit oksitleyen bakterileri inhibe ederek nitrit birikimine neden olmuştur. Anthonisen vd.'e (1976) göre amonyum oksitleyen bakteriler 10-150 mg/L ve nitrit oksitleyen bakteriler 0.1-1.0 mg/L serbest amonyak konsantrasyonu ile inhibe olmaktadır (Aslan vd., 2009). Benzer şekilde, Park ve Bae (2009) nitrit oksitleyen bakterilerin 0.7 mg/L serbest amonyak konsantrasyonunda inhibe olduğunu rapor etmiştir.

Sistemde gözlenen pH yükselmesi CO<sub>2</sub> sıyrması ve KOİ'nin hızlı tüketimi ile meydana gelmiştir (Kumar ve Chaudhari, 2003; Guo vd., 2009). Çalışmalarda, asetat yaygın şekilde kullanılan bir karbon kaynağıdır. Bu çalışmada da asetat karbon kaynağı olarak kullanılmıştır. Aerobik şartlar altında asetatın teorik oksidasyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:



Denklem (2) asetat oksidasyonunun 1 mol/1 mol oranında hidrojen iyonlarını tükettiğini, yani

asetat oksitlendiğinde çözelti pH'sında bir artışın kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Havalandırmanın yaklaşık ilk 1 saati içinde KOİ tüketilmiştir. Bu durum, reaktörde 9 değerine kadar pH artışına yol açmıştır. Literatürde, nitrifikasyon için optimum pH'nın 7.8-8.0 aralığına düştüğü ve pH artışından dolayı serbest amonyağın nitrifikasyon gerçekleştiren bakterilerin aktivitesini inhibe ettiği rapor edilmiştir (Yang vd., 2004).



Şekil 4. Döngü süresince KOİ, azot ve fosfor konsantrasyonunun değişimi

Aerobik fazda, PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonu ise 13.6 mg/L'den 11 mg/L'e düşmüş ve çok düşük bir giderim verimi gözlenmiştir. Anaerobik fazda fosfor salınımı gerçekleşmediğinden dolayı, aerobik fazda da aşırı fosfor alımı sağlanmamıştır. Anaerobik fazda fosfor salınımının ve aerobik fazda aşırı fosfor alımının gerçekleşmemesi sistemde fosfor biriktiren organizmaların inhibe olduğunu göstermektedir. Aerobik fazda giderilmiş olan fosfor hücre sentezinde kullanılmıştır. Çıkış suyunda yüksek konsantrasyonda fosfor gözlenmiştir. Nitrite kadar kısmi nitrifikasyon, havalandırma için daha az enerji gereksinimi ve takip eden denitrifikasyonda daha az karbon kaynağı gereksinimi gibi avantajlar sağlamaktadır (Guo vd., 2009). Ancak, nitrit birikiminin avantajları olduğu gibi biyolojik azot giderim prosesi ile biyolojik fosfor giderim prosesinin kombinasyon halinde uygulandığı prosesler için de dezavantajları söz konusudur. Fosfor alımı üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Saito vd. (2004), bir çalışmalarında 2 mg N/L nitritin aerobik fosfat alımında ciddi bir inhibisyona ve 6 mg N/L'den daha fazla nitritin hemen hemen tam inhibisyona neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, nitrit birikimi biyolojik fosfor gideriminin gözlenmemesinde etkili bir husus olabilir.



Peng vd. (2006) bir çalışmalarında sabit hava debisinde ilk 3 aerobik bölgede ÇO konsantrasyonu 2 mg/L'de korunmuştur. 4. aerobik bölgede ÇO konsantrasyonu değişimi gözlenmiş ve aerobik bölgenin sonunda 2.3-5.28 mg/L'e kadar yükselmiştir. Bu periyot esnasında fosfor giderim veriminin dramatik olarak bozulduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmamızda 5.5 saat olan aerobik fazda reaktördeki ÇO konsantrasyonu 0 mg/L'den başlayıp KOİ'nin tükendiği ilk 1 saate kadar 2-3 mg/L olmuştur. Organik madde tükendikten sonra ÇO konsantrasyonu 5.0-6.5 mg/L'e kadar yükselmiştir. Sistem yaklaşık 4.5 saat bu yüksek oksijen konsantrasyonunda havalandırılmış olmaktadır. Bu durum da, sistemde fosfor salınımının ve alımının engellenmesinde etkili bir husus olabilir.

AKR'de anoksik fazın temel amacı denitrifikasyonu sağlamaktır. Anoksik fazda NO<sub>2</sub>-N 0.43 mg/L ve NO<sub>3</sub>-N 0.8 mg/L değerine düşmüştür. Nitrit ve nitrat denitrifikasyon ile sistemden giderilmiştir. Bu fazda, reaktöre harici karbon kaynağı eklenmemiştir, dolayısıyla denitrifikasyonun içsel solunum yoluyla gerçekleştiği söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, anaerobik/aerobik/anoksik olarak işletilen AKR'de nutrient giderim performansı üzerinde çamur yaşının (6, 10 ve 15 gün) etkisi değerlendirilmiştir. Farklı çamur yaşından KOİ giderme verimi etkilenmezken, NH<sub>4</sub>-N ve PO<sub>4</sub>-P giderim verimi etkilenmiştir. AKR'de KOİ giderim verimi üzerinde çamur yaşının etkisinin benzer olduğu görülmüştür. NH<sub>4</sub>-N ve PO<sub>4</sub>-P için en iyi giderim verimi sırasıyla 10 ve 6 günlük çamur yaşında sağlanmıştır.

#### Teşekkür

Bu makale M. Sara Tunç'un doktora tezinden üretilmiştir. Çalışmamızı 1534 proje numarası ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere de teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

Akin, B.S. ve Ugurlu, A., 2004. The Effect of an Anoxic Zone on Biological Phosphorus Removal by a Sequential Batch Reactor. *Bioresource Technology*, 94, 1-7.

APHA, AWWA, WCPF, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17<sup>th</sup> Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.

Aslan, Ş., Miller, L. ve Dahab, M., 2009. Ammonium Oxidation via Nitrite Accumulation Under Limited Oxygen Concentration in Sequencing Batch Reactors. *Bioresource Technology*, 100, 659-664.

Chen, H., Zhou, Y., Hu, X., Tian, K. ve Zhang, J., 2019. Effects of Chlortetracycline on Biological Nutrient Removal from Wastewater. *Science of the Total Environment*, 647, 268-274.

Ciudad, G., Rubilar, O., Muñoz, P., Ruiz, G., Chamy, R., Vergara, C. ve Jeison, D., 2005. Partial Nitrification of High Ammonia Concentration Wastewater as a Part of a Shortcut Biological Nitrogen Removal Process. *Process Biochemistry*, 40, 1715-1719.

Garzon-Zúñiga, M.A. ve González-Martínez, S., 1996. Biological Phosphate and Nitrogen Removal in a Biofilm Sequencing Batch Reactor. *Water Science and Technology*, 34(1-2), 293-301.

Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Zhenge, Y., Huang, H. ve Wang, Z., 2009. Long-Term Effect of Dissolved Oxygen on Partial Nitrification Performance and Microbial Community Structure. *Bioresource Technology*, 100, 2796-2802.

Jiang, Y., Wang, H., Shang, Y. ve Yang, K., 2016. Simultaneous Removal of Aniline, Nitrogen and Phosphorus in Aniline-Containing Wastewater Treatment by Using Sequencing Batch Reactor. *Bioresource Technology*, 207, 422-429.

Kargi, F. ve Uygur, A., 2002. Nutrient Removal Performance of a Sequencing Batch Reactor as a Function of the Sludge Age. *Enzyme and Microbial Technology*, 31, 842-847.

Kumar, B.M. ve Chaudhari, S., 2003. Evaluation of Sequencing Batch Reactor (SBR) and Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) for Biological Nutrient Removal from Simulated Wastewater Containing Glucose as Carbon Source. *Water Science and Technology*, 48(3), 73-79.

Marin, J.C.A., Caravelli, A.H. ve Zaritzky, N.E., 2016. Nitrification and Aerobic Denitrification in Anoxic-Aerobic Sequencing Batch Reactor. *Bioresource Technology*, 200, 380-387.

Park, S. and Bae, W., 2009. Modeling Kinetics of Ammonium Oxidation and Nitrite Oxidation Under Simultaneous Inhibition by Free Ammonia and Free Nitrous Acid. *Process Biochemistry*, 44(6), 631-640.

- Peng, Y.Z., Wang, X.L. ve Li, B.K., 2006. Anoxic Biological Phosphorus Uptake and the Effect of Excessive Aeration on Biological Phosphorus Removal in the A<sup>2</sup>O Process. *Desalination*, 189, 155-164.
- Ruiz, G., Jeison, D. ve Chamy, R., 2003. Nitrification with High Nitrite Accumulation for the Treatment of Wastewater with High Ammonia Concentration. *Water Research*, 37, 1371-1377.
- Saito, T., Brdjanovic, D. ve van Loosdrecht, M.C.M., 2004. Effect of Nitrite on Phosphate Uptake by Phosphate Accumulating Organisms. *Water Research*, 38, 3760-3768.
- Sirianuntapiboon, S. ve Yommee, S., 2006. Application of a New Type of Moving Bio-Film in Aerobic Sequencing Batch Reactor (Aerobic-SBR). *Journal of Environmental Management*, 78, 149-156.
- Tsuneda, S., Ohno, T., Soejima, K. ve Hirata, A., 2006. Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal Using Denitrifying Phosphate-Accumulating Organisms in a Sequencing Batch Reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 27, 191-196.
- Uygur, A., Kargı, F. ve Başkaya H.S., 2004. Ardışık Zamanlı Kesikli Biyo-Reaktörde Biyolojik Nutrient Gideriminde Hidrolik Bekleme Süresinin Optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1), 161-169.
- Xu, D., Chen, H., Li, X., Yang, Q., Zeng, T., Luo, K. ve Zeng, G., 2013. Enhanced Biological Nutrient Removal in Sequencing Batch Reactors Operated as Static/Oxic/Anoxic (SOA) Process. *Bioresource Technology*, 143, 204-211.
- Yang, S.F., Tay, J.H. ve Liu, Y., 2004. Inhibition of Free Ammonia to the Formation of Aerobic Granules. *Biochemical Engineering Journal*, 17, 41-48.

## Synthesis, Biological Activities and Molecular Docking Studies of New Schiff Bases Derivatives

*Yeni Schiff Bazlı Bileşiklerin Sentezi, Biyolojik Aktivite ve Moleküler Docking Çalışmaları*

Dilek ÜNLÜER\*<sup>1,a</sup>, Yasemin ÜNVER<sup>1,b</sup>, Ersan BEKTAŞ<sup>2,c</sup>, Şahin DİREKEL<sup>3,d</sup>, Muhammet KARAMAN<sup>4,e</sup>, Halide Sedef KARAMAN<sup>5,f</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Karadeniz Technical University, 61080, Trabzon, Turkey

<sup>2</sup>Giresun University, Espiye Vocational School, 28600, Espiye, Giresun, Turkey

<sup>3</sup>Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Giresun University, 28100 Giresun, Turkey

<sup>4</sup>Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Arts and Science, Kilis 7 Aralık University, 79000 Kilis, Turkey

<sup>5</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Ataturk University, 25240-Erzurum, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 24.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 05.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 01.06.2020

### Abstract

In this study, new thiophene Schiff bases with morpholine (1,2) were synthesized. The structures of the compounds were confirmed by <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR and IR spectrometry and their antioxidant, antibacterial, antileishmanial and enzyme activities were tested. The antioxidant activities observed from compounds 1 and 2 were remarkably high. According to the results obtained in our study, the compounds did not have antileishmanial activity (MIC >20000 µg/ml). It was determined that the synthesized compounds had different rates of antibacterial activity against nine different standard bacterial isolates. Enzyme inhibition effect of the compounds 1 and 2 was unimportant level and the compound exhibited low binding affinity against the enzyme in molecular docking studies. The compounds 1 and 2 formed many  $\pi$  interactions with active site residue, however, they do not inhibit the enzyme due to did not interact with key residues of the enzymes. Our in silico and in vitro studies results were compatible with each other. As a result, the compounds 1 and 2 may be used as antioxidant and antimicrobial drugs, If they can be investigated as drug candidates.

**Keywords:** Antibacterial, Antileishmanial, Antioxidant, Enzym Activity, Morpholine, Schiff Base

### Öz

*Bu çalışmada, morfolinli (1,2) yeni tiyofen Schiff bazları sentezlenmiştir. Bileşiklerin yapıları, 1H-NMR, 13C-NMR ve IR spektrometrisi ile doğrulanarak antioksidan, antibakteriyel, antileishmanial ve enzim aktiviteleri test edilmiştir. Bileşik 1 ve 2'den gözlemlenen antioksidan aktiviteler dikkat çekici derecede yüksek olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre, bileşikler antileishmanial aktivite göstermemiştir (MIC > 20000 µg / ml). Sentezlenen bileşiklerin dokuz farklı standart bakteri izolatına karşı farklı antibakteriyel aktivite oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Bileşik 1 ve 2'nin enzim inhibisyon etkisi önemsiz düzeyde olup ve bu bileşikler moleküler docking çalışmalarında enzimlere karşı düşük bağlanma afinitesi sergilemişlerdir. Bileşik 1 ve 2, aktif bölge kalıntısı ile birçok  $\pi$  etkileşimi oluşturmuştur., Ancak, bu enzimlerin önemli kalıntıları ile etkileşime girmediği için enzimleri inhibe etmemişlerdir. In silico ve in vitro çalışma sonuçları birbiri ile uyumludur. Sonuç olarak bileşikler 1 ve 2, ilaç olarak araştırılırsa, antioksidan ve antimikrobiyal ilaçlar olarak kullanılabilir.*

**Anahtar kelimeler:** Antibakteriyel, Antileishmanial, Antioksidan, Enzim Aktivitesi, Morfolin, Schiff Bazı

\*a Dilek ÜNLÜER; dunluer@yahoo.com, Tel: (0546) 477 53 61, orcid.org/0000-0003-1939-2246

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-5834-3223

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-9030-6908

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0003-3368-0447

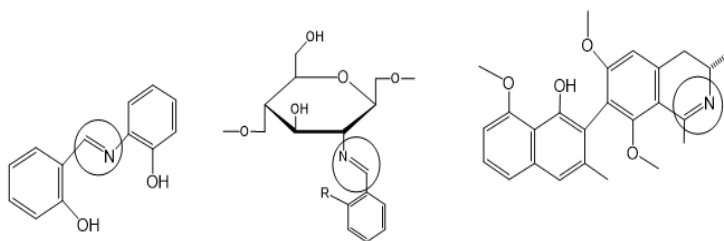
<sup>e</sup> orcid.org/0000-0002-0155-3223

<sup>f</sup> orcid.org/0000-0001-7925-7156

## 1. Introduction

Schiff bases have a broad spectrum of biological activities such as antibacterial, antioxidant, antiviral, antipyretic, anti-inflammatory,

antifungal, anticancer, antiproliferative and antimalarial properties (Ünver et al. 2014, 2016, 2018). The compounds shown in Figure 1 are derived from natural products and contain Schiff base in their structure (Da Silva et al., 2011).



**Figure 1.** Bioactive Schiff base compounds

It is known that the antiepileptic drugs (AEDs) such as tiagabine, etizolam, brotizolam currently used contain Schiff base as well as thiophene as active pharmacophore group (Kulandasamy et al., 2009). In addition, Benzo [b] thiophene have anti-inflammatory, analgesics, anti-fungal, antidepressant, anti-angiogenic, estrogen receptor modulating, anti-mitotic, enzyme inhibitors, anticancer, inhibiting kinases, anti-tuberculosis, anticonvulsant, anti-malaria, anti-hyperglycemic and pesticide activity (Bryant and Dere, 1998; Jagtap and Agasimundin, 2015; Jiang et al., 2003; Berrada et al., 2011).

Morpholine is known as a valuable structure for the synthesis of more efficacious antimicrobial agents. Especially, N-functionalized morpholines have found to possess diverse pharmacological activities such as antiemetic, antimicrobial, platelet aggregation inhibitory, proteinemic, anticancer, antihyperlipid, antitumor, antiproliferative, and bronchodilator activity (Aridos et al., 2007; Helal et al., 2013).

Glutathione reductase (GR) and glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) enzymes play a key role in extinguishing of reactive oxygen species (ROS). Decreasing of their activity directly related ROS-induced diseases. (Berg et al., 2002). The enzymes are over-expressed, although ROS producing is high level in the cancer cell. Therefore, the enzymes' activity blocks oxidative stress (Kumari et al., 2018). Many researchers have focused on inhibiting the enzyme activity for cancer treatment by creating oxidative stress in the cancer cells.

In this study, we synthesized Schiff base derivatives containing thiophene with morpholine to obtain more effective biological activities.

Structures of synthesized compounds were characterized by IR, NMR, LC-MS/MS and 2. analysis. All compounds were evaluated in antioxidant, antibacterial, antileishmanial, enzyme activities and *in silico* and *in vitro* studies.

## 2. Experimental

### 2.1. General Information

The  $^1\text{H}$ -, and  $^{13}\text{C}$ -Nuclear Magnetic Resonance spectra were recorded on a Bruker 400 MHz spectrometer, where TMS as an internal standard and DMSO- $d_6$  as solvent were used. IR spectra were recorded on a Perkin-Elmer Spectrum One FT-IR spectrometer in KBr pellets. The mass spectral analyses were carried out by a Micromass Quattro LC-MS/MS spectrometer. The elemental analyses were performed by Costech ECS 4010 instrument. Melting points were measured by an electrothermal apparatus.

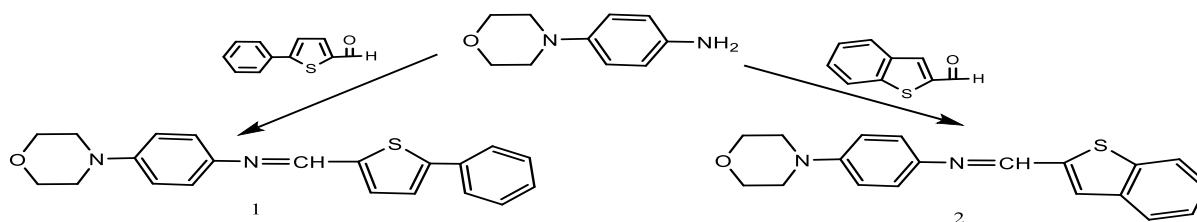
### 2.2. Synthesis of Schiff bases (1,2)

4-morpholinophenyl (0.01 mol) and 5-phenylthiophene-2-carbaldehyde / benzo[b] thiophene-2-carbaldehyde (0.01 mol) were heated for 1 h. at 170-180 °C. The reaction was controlled with TLC and the content cooled to room temperature. The obtained solid was recrystallized from a mixture of DMF and water. The synthesis of Schiff base derivatives with morpholine was performed following steps shown in the reaction Figure 2.

**N-(4-morpholinophenyl)-1-(5-phenylthiophene-2-yl)methanimine (1):** Yield: 95.00%. m.p: 227-229 °C. IR (KBr,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3072 (CH), 1609 (C=N), 1510 (C=C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.79 (s, 1H, CH=N), 6.99-7.77 (m, 11H, arom H),

3.75 (s, 4H, O-CH<sub>2</sub>), 3.15 (s, 4H, N-CH<sub>2</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 Hz, DMSO-d<sub>6</sub>) δ: 48.75, 66.52, 116.30, 122.62, 124.89, 126.62, 128.35, 129.75, 133.55, 142.15, 143.20, 147.06, 149.85, 150.17;

LC-MS (m/z): 349 (M+1, 100%). Analysis (calculated/found) for C<sub>21</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>SO: C: 72.38 / 71.08, H: 5.79 / 4.65, N: 8.04 / 7.55.



**Figure 2.** Synthetic pathway for the compounds **1-2**.

**1-(benzo[*b*]thiophene-2-yl)-N-(4-morpholinophenyl)methanimine (2):** Yield: 92.00%. m.p: 284-286 °C. IR (KBr, cm<sup>-1</sup>): 3058 (CH), 1609 (C=N), 1566 (C=C); <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) δ: 8.96 (s, 1H, CH=N), 7.00-8.11 (m, 9H, arom H), 3.75 (s, 4H, O-CH<sub>2</sub>), 3.16 (s, 4H, N-CH<sub>2</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 Hz, DMSO-d<sub>6</sub>) δ: 48.54, 66.92, 115.71, 122.02, 122.61, 124.89, 126.60, 138.96, 139.98, 141.60, 143.87, 150.79, 151.02; LC-MS (m/z): 323 (M+1, 100%). Analysis (calculated / found) for C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>SO: C: 70.78 / 71.05, H: 5.63 / 6.50, N: 8.69 / 8.00.

In the FTIR spectra of compounds **1** and **2**, NH<sub>2</sub> and aldehyde signals belonging to starting compounds disappeared. In the <sup>1</sup>H NMR spectra of the compounds, proton signals belonging to imine group N=CH of compounds **1** and **2** were observed at 8.79 and 8.96 ppm respectively as singlet. In addition, imine N=CH carbon signals were observed at 150.17 and 151.02 ppm respectively in the <sup>13</sup>C-NMR spectra. Further more, the other NMR data also supported structures of compounds **1** and **2**. FTIR and NMR spectra of the compounds **1** and **2** were given in Supplementry File.

### 2.3. Antioxidant Activity

#### 2.3.1. Method and Determination of Antioxidant Capacity

The antioxidant activities of the compounds were analyzed by FRAP and DPPH tests, which are considered as a good indicator of the antioxidant capability of various compounds. The FRAP is an antioxidant activity determination method based on the reduction of Fe<sup>3+</sup>-TPTZ complex to the Fe<sup>2+</sup>-TPTZ complex in the presence of antioxidants (Benzie et al., 1999). A volume of 100 µl of the compound dissolved in DMSO was

mixed with 3 mL of freshly prepared FRAP reagent. The reaction mixture was then incubated for 4 min at 37°C. The absorbances of the substances were determined at 593 nm against the blank. A calibration curve was prepared using absorbances from the FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O solution in the range of 31.25-1000 µM. FRAP values were stated as µM FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O equivalent/g sample.

The scavenging effects of the compounds against the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical were examined according to the method of Kartal et al., (2007) with some alterations. In the presence of an antioxidant, it is based on the decolorization of purple color of DPPH, and the change in absorbance is measured spectrophotometrically at 517 nm. A volume of 0.75 mL of 0.1 mM DPPH in methanol was mixed with an equal volume of dissolved compound solution in DMSO (at various concentrations), shaken well, kept in the dark for 50 minutes, and activity measured at 517 nm using Trolox as standard and values were revealed as SC<sub>50</sub> (µg sample per mL).

### 2.4. Antibacterial and Antileishmanial Activities

#### 2.4.1. Preparation of Standard Bacterial Isolates

In this study, it was aimed to evaluate the minimal inhibitory concentrations (MICs) of the synthesized compounds against nine different standard bacteria by the liquid microdilution method (CLSI) with alamar blue added. The standard obtained from the American Type Culture Collection (ATCC); *Escherichia coli* ATCC 25922, *Yersinia enterocolitica* ATCC 9610, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Staphylococcus aureus* (Methicillin Resistant; MRSA) ATCC 43300, *Haemophilus influenzae* ATCC 40247, *Enterococcus faecalis* ATCC



29212 Shiels 25933 isolates were used. Standard bacteria were removed by removing the isolates from the freezer and waiting at room temperature. Bacteria were revitalized and purity checks were performed by incubating at 37 °C overnight using bloody agar (Merck) and Eosin Methylene Blue Agar (EMB, Merck) media. Standard bacterial isolates were prepared in saline with an approximate number of bacteria of  $1.5 \times 10^8$  cfu / mL according to McFarland 0.5 turbidity chart.

#### **2.4.2. Preparation of *Leishmania infantum* Promastigotes**

In the antiparasitic activity study, axenic standard MON-183 (Montpellier system) *Leishmania infantum* promastigot isolates were used. Standard isolates supplied are RPMI with 10% Fetal Bovine Serum (FBS F4135 Sigma-Aldrich USA), 1% Penicillin (P3032 Sigma-Aldrich USA) and Streptomycin (S9137 Sigma-Aldrich USA) (100,000 units of penicillin and 10 mg streptomycin). -1640 (Roswell Park Memorial Institute) (R8758 Sigma Aldrich USA) was reproduced in medium and passage was maintained.

Standard promastigote isolates were taken 20 ml from the medium from which they were produced and transferred to sterile falcon tubes and centrifuged at 1.000 g for 10 minutes. Then, about 40 ml of sterile Phosphate Buffered saline (PBS) was added to the promastigotes in the precipitate by discarding the supernatant in the tubes and vortexed at low speed. This prepared solution is 10 min. It was centrifuged at 1.000 g and the procedure was repeated three times to wash the promastigotes with PBS. Finally, promastigotes were diluted with RPMI-1640 to a cell count of  $2.5 \times 10^7$  cells / mL using a hemocytometer.

#### **2.4.3. In Vitro Antibacterial Activity Test**

The synthesized compounds were dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO, Sigma de Aldrich, USA) / H<sub>2</sub>O (10%) and the final concentrations were diluted to 40 mg / ml with distilled water to prepare stock solutions. The stock solution of the compounds was sterilized by passing through sterile membrane filters with a diameter of 0.45 µm. The antibacterial activity test of the stock solutions of the compounds was performed using 96-well sterile microplates. Firstly, 100 µl of Mueller Hinton Broth (MHB, Merck) medium was added to all wells. As previously described (İskeleli et al., 2015), dilutions of the compounds were carried out in wells ranging from 20,000 µg /

mL to 625 µg / mL. Then 100 µL was added to each well from standard bacteria suspensions adjusted to McFarland 0.5 turbidity. Negative and positive control wells were prepared and the microplate was incubated in the incubator at 37°C for about 20 hours. After incubation, 20 µl of alamar blue was added to all wells and incubated for again 4 hours. Microplates were evaluated visually after 24 and 48 hours. Color change into pink in the well after incubation was interpreted as positive bacterial growth, whereas blue color indicated absence of viability. In addition, growth control was performed by inoculation from each well to the blood agar medium. The antibacterial activity test for each compound was repeated twice, while amikacin was used as the control drug.

#### **2.4.4. In Vitro Antileishmanial Activity Test**

The synthesized compounds were dissolved in Dimethylsulfoxide (DMSO) / H<sub>2</sub>O (10%). Stock solutions of the compounds were prepared in a concentration of 40 mg / mL by addition of heat-inactivated RPMI-1640 medium containing 10% FBS and sterilized with a 0.45-µm membrane filter. 96 well sterile microplates were used for antileishmanial activity testing. The Alamar blue added liquid microdilution method was performed as previously described (Süleymanoglu et al., 2017). The dilutions of the compounds in the wells were 20,000 µg / mL to 625 µg / mL. 100 µl of *Leishmania infantum* promastigotes were added to all wells. Negative and positive control wells were prepared and the microplate was incubated in the incubator at 27°C for about 20 hours in a cooled incubator. After incubation, 20 µl of alamar blue was added to all wells and incubated for again 4 hours. Microplate was evaluated visually after 24, 48 and 72 hours. Color change into pink in the well after incubation was interpreted as positive parasite growth, whereas blue color indicated absence of viability. In addition, 30 µl samples were taken from all wells and fresh preparation was prepared for observing the vitality movements of the promastigotes in microscope and confirmed by the visual results. Amphotericin B was used as a standard control drug. The test was repeated twice for each compound.

### **2.5. Enzyme Studies**

#### **2.5.1. Preparation of Blood Sample**

This study was approved by the Clinical Research Ethics Committee of Faculty of Medicine,



Cukurova University, Adana, Turkey. The donor was informed consent that blood will collect by using a sterile syringe from their vein. Fresh human blood sample obtained from a healthy volunteer donor, 26 age male, in blood collection tube with EDTA. The sample was centrifuged for 15 min at 2500 g, to collect red blood cell (RBCs). Collected RBCs were washed three times by centrifugation at 2500 g with serum physiological (0.9% NaCl). For the hemolysis, RBCs are slowly vortexed with five volumes of ice-cold water, then centrifuged for 20 min at 10,000 g to remove the ghosts and intact cells. All studies were performed at +4°C.

### 2.5.2. Ammonium Sulfate Precipitation

Ammonium sulfate precipitation was carried 30-70% precipitation step for hGR enzyme (Erat et al., 2005) and 35-65% precipitation step for hG6PD enzyme (Ninfali et al., 1990). The precipitate was obtained by centrifugation for 15 min at 5000 g and was immediately dissolved in ice-cold dialysis buffer (50 mM K-acetate/50 mM K-phosphate buffer, pH 7.0). The solution was dialyzed at against dialysis buffer for 2 h with two changes of buffer.

### 2.5.3. hGR Purification

In order to purify hGR enzyme, 2'5' ADP Sepharose 4B (GE Healthcare Life Sciences, 71-7092-00 AF) which strongly interacts with NADP<sup>+</sup>-dependent dehydrogenases was used as affinity column resin. The column resin was equilibrated in binding buffer (10 mM K-phosphate, 0.15 M NaCl, pH 7.3). The dialyzed proteins solution was loaded on the column. The resin was washed respectively with 25 mL of washing buffer 1 (0.1 M K-Ac, 0.1 M K-phosphate, pH 6), 25 mL of washing buffer 2 (0.1 M K-Ac, 0.1 M K-phosphate, pH 7.85) and washing buffer 3 (50 mM K-phosphate, 1 mM EDTA, pH 7) to cleaning non-binding enzymes on the column. Then Gr enzyme was eluted with 5 mL of step elution buffers (0–0.5 mM GSH and 0–1 mM NADPH in 50 mM potassium phosphate, 1 mM EDTA, pH 7) (Carlberg et al., 1981; Karaman et al., 2012). Elutes were collected at 1 mL volume in eppendorf tubes on ice. In all fractions, GR enzyme activity and protein amount were determined and active fractions were stored at -80°C until performing kinetic studies by collecting. In the washing and eluting steps, the flow rates were 50 ml h<sup>-1</sup> and 20 ml h<sup>-1</sup>, respectively.

### 2.5.4. GR activity assay

GR activity was measured from pure enzyme solution according to the method described by Carlberg and Mannervik (Carlberg et al., 1981) with Multiskan GO Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific Corporation) at 25°C. Briefly, the optic density of mixture including 200 mL of KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (100 mM), 100 mL of oxidized glutathione (GSSG) (20 mM) and 10 mL of pure enzyme solution was spectrophotometrically measured for 3 min. at 340 nm, following 100 mL of NADPH (2 mM) added. The measurement was repeated three times. The enzyme activity was calculated using a molar extinction coefficient of NADPH (6.22 mM<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>) with equation (I). A unit of GR enzyme is defined as the amount of enzyme required to oxidase one mmol NADPH per minute.

### 2.5.5. hG6PD Purification

In order to purify hG6PD enzyme, 2'5' ADP Sepharose 4B (GE Healthcare Life Sciences, 71-7092-00 AF) which strongly interacts with NADP<sup>+</sup>-dependent dehydrogenases was used as affinity column resin. The column resin was equilibrated in binding buffer (10 mM K-phosphate, 0.15 M NaCl, pH 7.3). The dialyzed proteins solution was loaded on the column. The resin was washed with washing buffer (50 mM K-phosphate, 1 mM EDTA, 1 mM dithiothreitol, 80 mM KCl, pH 7.35) to cleaning non-binding enzymes on the column. Then hG6PD enzyme was eluted with 20 mL of elution buffer (80 mM K-phosphate, 80 mM KCl, 0.5 mM NADP<sup>+</sup>, 1 mM EDTA, pH 7.35). Elutes were collected at 1 mL volume in eppendorf tubes on ice. In all fractions, hG6PD enzyme activity and protein amount were determined and active fractions were stored at -80°C until performing kinetic studies by collecting. In the washing and eluting steps, the flow rates were 50 ml h<sup>-1</sup> and 20 ml h<sup>-1</sup>, respectively.

### 2.5.6. hG6PD activity assay

hG6PD enzyme activity was measured from pure enzyme solution according to the method described by Beutler (Beutler, 1975) with Multiskan GO Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific Corporation) at 25°C. Briefly, the optic density of mixture including 200 mL of Tris-HCl (50 mM), 100 mL of glucose-6-phosphate (G6P) (6 mM) and 10 mL of supernatant was spectrophotometrically measured for 3 min. at 340 nm, following 100 mL of NADP<sup>+</sup> (2 mM) added.

The measurement was repeated three times. The enzyme activity was calculated using a molar extinction coefficient of NADPH ( $6.22 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) with equation (1). A unit of hG6PD enzyme is defined as the amount of enzyme required to reduce one mmol  $\text{NADP}^+$  per minute.

$$EU = \frac{A_{\lambda 340}}{\varepsilon \times t \times l} \times \frac{V_E}{V_T} \times DF \quad (1)$$

$\varepsilon$ : The extinction coefficient of NADPH,  $6.22 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ; t: Time of reaction, minute; l: Beam path, cm;  $V_E$ : Total enzyme volume;  $V_T$ : Total cuvette volume; DF: Dilution factor

### 2.5.7. Protein assay

Protein concentrations were performed according to the method described by Bradford. A (Bradford, 1976) standard curve was generated with absorbance values of bovine serum albumins solutions at different concentrations.

### 2.5.8. Kinetics Studies

Effect of molecule **1** and **2** and DMSO on hGR and hG6PD enzyme activity were detected by using solution of the molecules and DMSO at different concentrations into the reaction cuvette. The enzymes activity was spectrophotometrically measured and measurement performed without molecules was used as a control.

## 2.6. Molecular Docking Studies

To gain some insight into the binding mechanism between molecules and human glutathione reductase and human glucose 6-phosphate dehydrogenase enzymes, molecular docking studies were performed using Small Drug Discovery Suites package (Schrödinger, Inc.).

### 2.6.1. Ligand Preparation

3D structures of molecules **1** and **2** were obtained by drawing 2D structures of the molecules. Correct molecular geometries of the 3D structures were generated using Epik module and correct protonation state at  $\text{pH } 7.0 \pm 2.0$  of the 3D structures was reached using OPLS-2005 force field (Bayrak et al., 2019; Turkan et al., 2019).

### 2.6.2. Protein Preparation and Binding Site Detection

The crystal structure of hGR and hG6PD receptors (PDB code 3DK9 and 6E08, respectively) were accessed from RCSB Protein Data Bank. Since they have the best percentile

ranks than other enzymes, the crystal structures were chosen for use in molecular docking studies. Moreover, the crystal structures have a ligand in the active site. This situation provides an advantage in performing docking validation study.

The crystal structures were prepared using Protein preparation wizard panel. Protein workflows are briefly, as follows. In the first step, bond order and charges were assigned by using chemical component dictionary, missing hydrogen atoms were added to crystal structures, and then zero bond order to metals and disulphide bonds were created between two Sulphur atoms. Missing side chains were filled with the help of Prime module. In the second step, amino acids were ionized by setting pH 7.0 using Propka module and hydroxyl, Asn, Gln, and His residues were optimized using ProtAssign module. Water molecules that were formed less than 3 contacts with the protein or ligand were removed. In the last step, energy minimization and geometry optimization have also been performed using OPLC force field until RMSD was  $0.30 \text{ \AA}$  for heavy atoms (Turkan et al., 2019). Following protein preparation, binding site of prepared receptors was identified using SiteMap module. Binding sites were generated into the prepared receptors with default parameter of top-ranked potential protein binding sites setting. The tool also calculated Sitescore and Dscore of binding sites. The scores were used evaluating binding site of the receptors whether exhibit active site properties or not (Bayrak et al., 2019; Turkan et al., 2019).

### 2.6.3. Binding Mechanism Detection

In order to understand and explain binding mechanism between the molecules and the receptors, molecular docking studies were performed using Induced Fit Docking (IFD) module. Docking workflows are briefly, as follows. In the first step, Centroid of the residues was generated around ligand in the active site (Flavin adenine dinucleotide and nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, respectively) of hGR and hG6PD receptors. In the second step, side chains were automatically trimmed based on B-factor and in the last step, closest residues to the ligand were refined within  $3.4 \text{ \AA}$  of ligand pose in prime refinement. In order to validate accuracy of the IFD process, ligands in the active site of the receptors were re-docked into active site of the receptors. Following docking validation, molecules **1** and **2** were docked into active sites of the hGR and hG6PD receptors by IFD

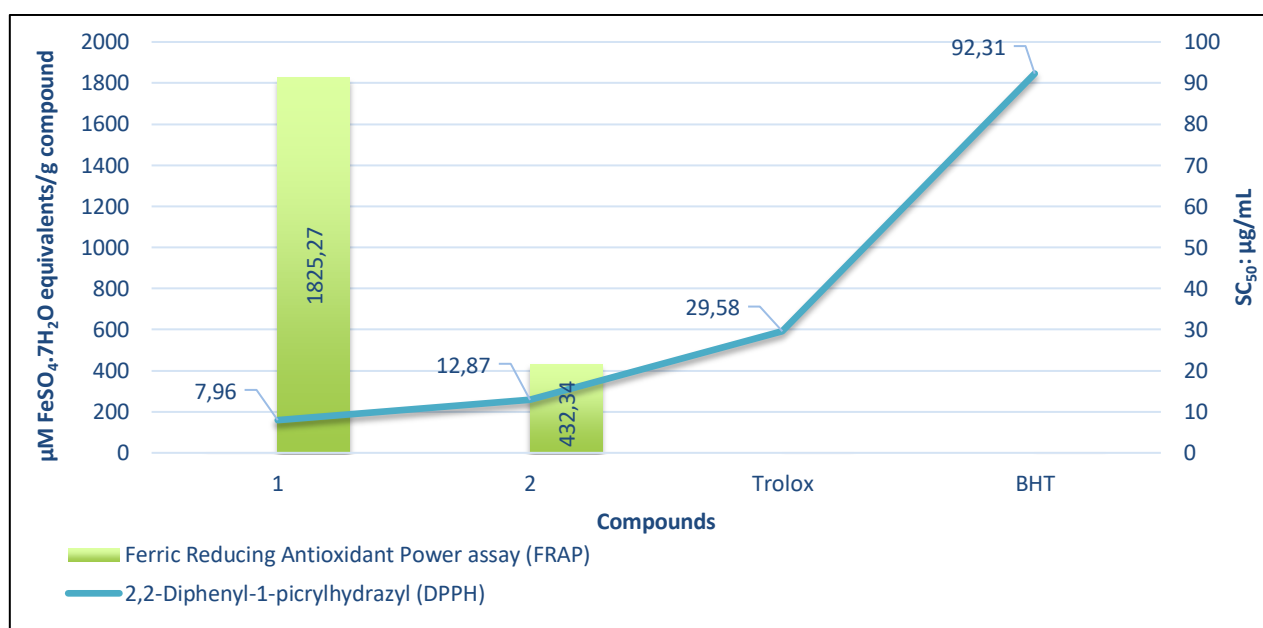
methodology (Bayrak et al., 2019; Turkan et al., 2019).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Antioxidant Activity

In this study, FRAP and DPPH tests were followed to appraise the antioxidant activities of compounds 1 and 2 and the results are given in the Figure 3. In the FRAP and DPPH tests, the upgrade  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  equivalent and the decrescent  $\text{SC}_{50}$  rates are indicative of more powerful activity. When the results were compared with the results obtained from the

standard antioxidant compound (Trolox and BHT), it was detected that the activities observed from compounds 1 and 2 were remarkably high. In the ferric reducing power test, the FRAP rates were identified as 1825.27  $\mu\text{M}$   $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  equivalent/g sample in compound 1 and 432.34  $\mu\text{M}$   $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  equivalent/g sample in compound 2. In the DPPH assay, compounds 1 and 2 have a considerable free radical scavenging effect with  $\text{SC}_{50}$  values of 7.96 and 12.87  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively. The  $\text{SC}_{50}$  values of standard antioxidant compounds, namely trolox and BHT were found as 29.58 and 92.31  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively.



**Figure 3.** Ferric reducing antioxidant power (FRAP), and radical scavenging activities (DPPH) of compounds.

#### 3.2. Antileishmanial and Antibacterial Activities

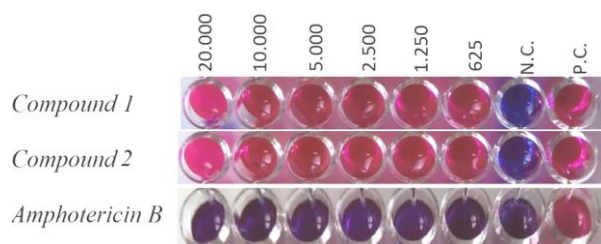
In this study, antileishmanial activity of the synthesized compounds was investigated by using liquid microdilution alamar blue method in 96-well microplates. If the color changes from blue to pink the parasite continues to growth, the color does not change is interpreted as the parasite is not growth. The antileishmanial activity of the compounds is shown in Figure 4. In the study, the MIC values belong antileishmanial activity of the compounds were determined  $> 20000 \mu\text{g}/\text{mL}$  and are shown in Table 1. Visual results and microscopic examination results were found to be consistent with each other. The compounds did not show any antileishmanial activity at the studied concentrations.

**Table 1.** Minimal Inhibitory Concentration (MIC) value of the compounds against *Leishmania infantum* Promastigotes

		MIC value ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )
1	Compound 1	$>20.000$
2	Compound 2	$>20.000$
3	Amphotericin B	$<625$

It was determined that the synthesized compounds had different rates of antibacterial activity against nine different standard bacterial isolates. Compound 1 was found to be ineffective (MIC  $>20000(\mu\text{g}/\text{mL})$ ) against the isolate of *P. mirabilis* while the most effective (MIC:  $2500(\mu\text{g}/\text{mL})$ ) was against the *E. coli* isolate.



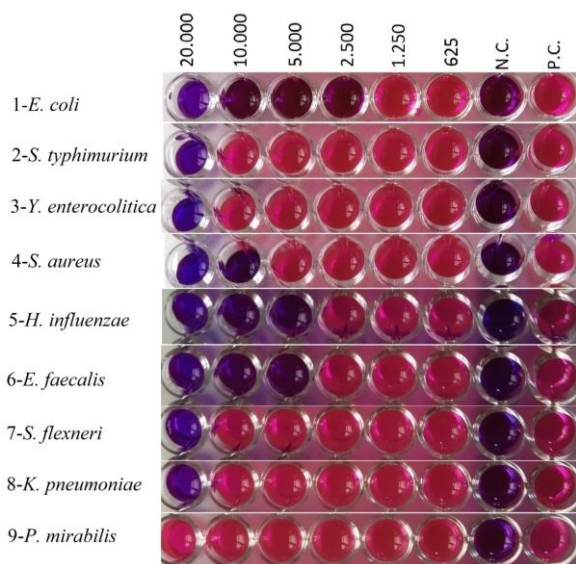


**Figure 4.** The result of antileishmanial activity against the standard *Leishmania infantum* promastigotes; N.C. Negative Control, P.C. Positive Control

Compound 2 was found to be ineffective (MIC >20000(µg/mL)) against *P. mirabilis* and *K. pneumoniae* isolates while the most effective (MIC: 2500(µg/mL)) was found against *E. coli* and *Y. enterocolitica* isolates. As expected in the study, the color of the positive control well changed from blue to pink, whereas no color change was observed in the negative control well. In this study, Minimal Inhibitor Concentration (MIC) values of the compounds are shown in Figure 5, 6 and Table 2.

**Table 2.** Results of antibacterial activity of compounds

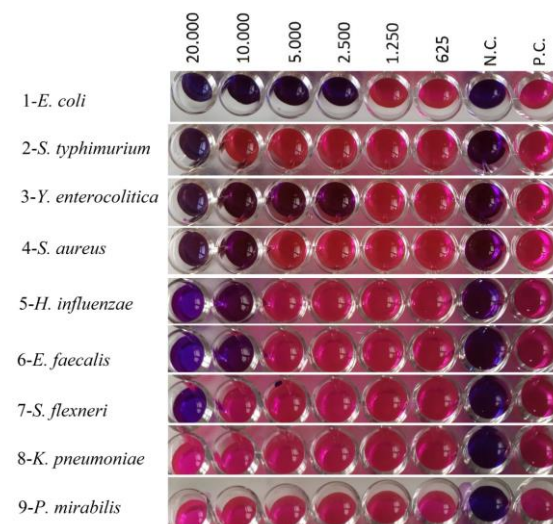
Bacteria	Compounds								
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)	<i>Haemophilus influenzae</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Shigella flexneri</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Proteus mirabilis</i>
<b>Compound 1</b> (µg / mL)	2500	20000	20000	10000	5000	5000	20000	20000	>20000
<b>Compound 2</b> (µg / mL)	2500	20000	2500	10000	10000	10000	20000	>20000	>20000
<b>Amikacin</b>	<625	<625	<625	<625	<625	<625	<625	<625	<625



**Figure 5.** Results of antibacterial activity of Compound 1; 1- *E. coli*, 2- *S. typhimurium*, 3- *Y. enterocolitica*, 4- *S. aureus*, 5- *H. influenzae*, 6- *E. faecalis*, 7- *S. flexneri*, 8- *K. pneumoniae*, 9- *P. Mirabilis*  
N.C. Negative Control, P.C. Positive Control

In our study, the antibacterial activities of the synthesized compounds against some bacteria (*Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*,

Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus*) which cause foodborne diseases were tested. The tested compounds showed the best antibacterial activity against to *Escherichia coli* and *Yersinia enterocolitica* isolates.



**Figure 6.** Results of antibacterial activity of Compound 2; 1- *E. coli*, 2- *S. typhimurium*, 3- *Y. enterocolitica*, 4- *S. aureus*, 5- *H. influenzae*, 6- *E. faecalis*, 7- *S. flexneri*, 8- *K. pneumoniae*, 9- *P. Mirabilis*  
N.C. Negative Control, P.C. Positive Control

The purpose of the control drug study was made to test whether the experimental study was working properly. The substances studied showed antibacterial activity even if they had a higher value than the MIC of the standard drug amikacin. In this antimicrobial activity study, while aiming to determine the concentration of the compound that is effective against bacteria, the reliability, toxic effect and side effects of the substances should also be evaluated for new drug candidates. In order to use the compounds evaluated for their antileishmanial and antibacterial activities as drug active substances, further studies are required: control studies in experimental animal models are needed in vivo.

No research has been conducted so far on antileishmanial activity of the compounds used in this study. According to the results obtained in our study, the compounds did not have antileishmanial activity (MIC >20000 µg/mL) (Table 1). Amphotericin B, which was used as a standard drug, was found to be effective even at the lowest concentration (MIC= <625 µg/mL).

Mikus et al. (Mikus et al., 2000) also showed that alamar blue was the applicable colorimetric indicator in the drug screening test with *L. major* promastigotes. In our study, alamar blue was used as indicator dye.

As a result; in this study, it was determined that the synthesized compounds has antibacterial activity against different bacteria while the antileishmanial activities were not found. For the use of synthesized compounds as a medicine; In vitro macrophage culture, which is thought to be necessary, has a need for efficacy against *Leishmania amastigotes* and control studies in experimental animal models in vivo.

### 3.3. Enzyme Purification

We purified hGR and hG6PD enzyme from human erythrocyte with 2',5' -ADP Sepharose-4B affinity chromatography. Purification scheme of purified enzymes has shown in Table 1. As seen in Table 3, purified hGR and hG6PD enzymes have specific activity (SA) with 12.535 and 7.08, respectively. The enzymes purified with purification factor 10474 and 186, respectively.

**Table 3.** Purification scheme of hGR and hG6PD from human erythrocyte.

Purification Step	Activity (EU/ml)		Total Volume (ml)		Protein (mg/ml)		Total Protein (mg)		Total Activity (EU)		Specific Activity (EU/mg)		Yield (%)		Purification Factor	
	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD	hGR	hG6PD
Haemolysate	0.011	0.493	40	46	8.956	12.02	358.23	552.92	0.429	22.68	0.001	0.04	100	100	1	1
Ammonium sulfate precipitation (35–65)%	0.107	0.430	1.3	6	4.200	3.04	5.460	17.33	0.139	2.58	0.026	0.13	33	9	21	3
Affinity chromatography	0.401	0.219	5	3	0.003	0.03	0.016	0.08	2.004	0.66	12.53	7.82	468	2	10474	186

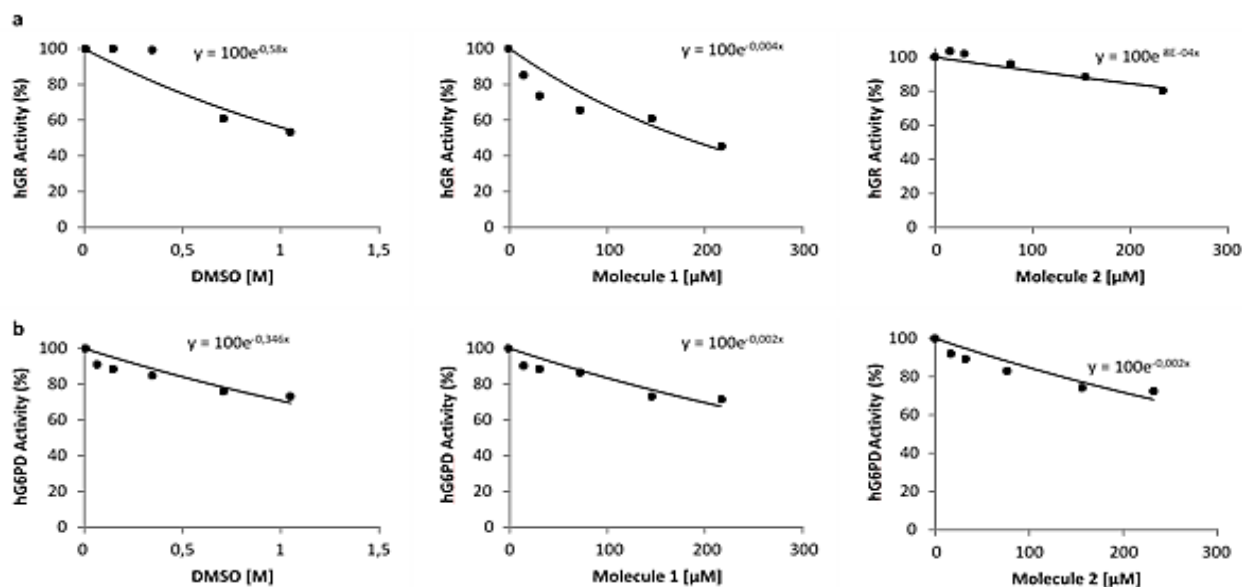
### 3.4. Enzyme Kinetics

Effect of the compounds on hGR and hG6PD enzymes was detected using different concentrations of the compounds. With the kinetic

studies results, we carve out activity (%) vs. compound concentration graph and presented it in Figure 7. 216 µM of compound 1 and 232 µM of compound 2 slightly inhibited both hGR and hG6PD enzyme. The compounds solve in

dimethyl sulfoxide (DMSO), so the activity mixture with water could not be prepared at concentrations greater than the specified compound concentrations. Moreover, we examined the effects of DMSO on hGR and hG6PD enzymes we observed that DMSO inhibits

enzymes more than compounds 1 and 2 at concentrations above 300 mM. When considering the effect of DMSO on the enzyme, inhibition effect of the compounds 1 and 2 is unimportant level.



**Figure 7.** Activity (%) vs. compound concentration graph for (a) hGR and (b) hG6PD enzymes in the presence of 5 different concentrations of compounds.

### 3.5. Molecular Docking Studies

We have used SiteMap tool for prediction of binding site on the hGR and hG6PD receptors and calculate active site and druggable site properties of the binding sites. Based on these calculations, we have detected that the binding sites of hGR and hG6PD receptors have high SiteScores, 1.069 and 1.033, respectively and plausible Dscores, 1.040 and 0.995, respectively. The scores indicated that the binding sites of receptors can be accepted as active site and druggable site. These active sites of the receptors were used illustrating interactions between ligand and residues of the receptors as seen in Figure 8.

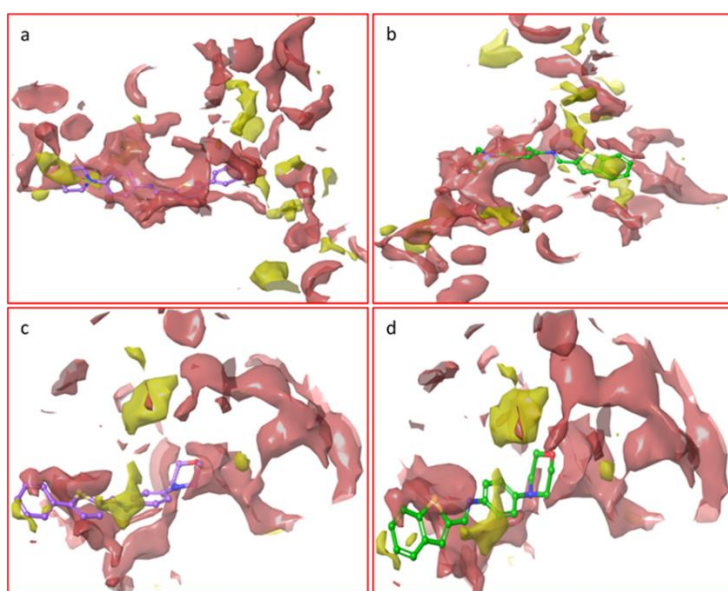
Following active site detection, we validated IFD methodology by docking co-crystallized ligand, FAD and NADP, respectively, in the detected active site of hGR and hG6PD receptors. Docking validation analyses were shown in Figure 9. When the analyses were examined in the perspective of ligand's binding position, co-crystallized and docked ligands were located in the receptors' very closet region as seen in Figure 9-a and 9-b. After docking validation, we docked compounds 1 and 2 into active sites of hGR and

hG6PD receptors and analyzed docking results on the basis of binding energies, interactions between ligand and receptor, and ligand-binding pose. Calculated binding energies of the compounds were presented in Table 4. The binding energies have shown that the compounds have a moderate binding affinity against both hGR and hG6PD receptors. Pose with most negative binding energies was selected as best-pose of docked compounds into hGR and hG6PD receptors and interactions between best-poses of compounds and residues of receptors were analyzed. The analyses results were shown as 2D interaction diagram and detailed binding mode in Figure 10. Compound 1 formed hydrogen bond with Ser51 residue and  $\pi$ -cation with Arg291 residue of hGR receptor. The compound also formed hydrogen bond with Ser30 residue through water compound into active site of hGR receptor (Figure 10-a). Compound 2 formed  $\pi$ -cation with Arg291 residue of hGR receptor and also hydrogen bond with Gly157 and Gly158 residues through water compound into active site of hGR receptor (Figure 10-b). Compound 1 interacted through  $\pi$ -cation with Lys238, Lys366 and Arg370 residues and  $\pi$ - $\pi$  stacking with Tyr503 residue of hG6PD receptor. Moreover, the compound formed



hydrogen bond with Tyr507 residue (Figure 10-c). Compound 2 was interacted through  $\pi$ -cation with Lys366 and Arg370 residues and also formed hydrogen bond with Arg487 and Gly505 residues of hG6PD receptor (Figure 10-d). The hGR and hG6PD enzymes have many important residues of active site. However, some residues in active site play important ant role catalyzing of specific reaction. Cys58, Cys63, and Tyr197 residues are some of important active sites' residues of hGR

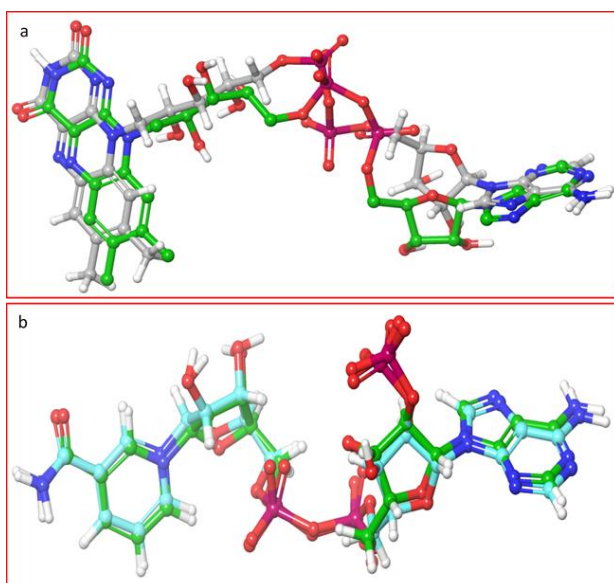
enzyme (Berkholz et al., 2008). Compound 1 and 2 did not interact closely with the residue. Lys171 and Prr172 residues are key residues for activity of hG6PD enzyme (Hwang et al., 2018). Although compounds 1 and 2 form many  $\pi$  interactions with active site residue, they do not inhibit the enzyme due to did not interact with key residues of hG6PD enzyme. Our *in silico* and *in vitro* studies results are compatible with each other.



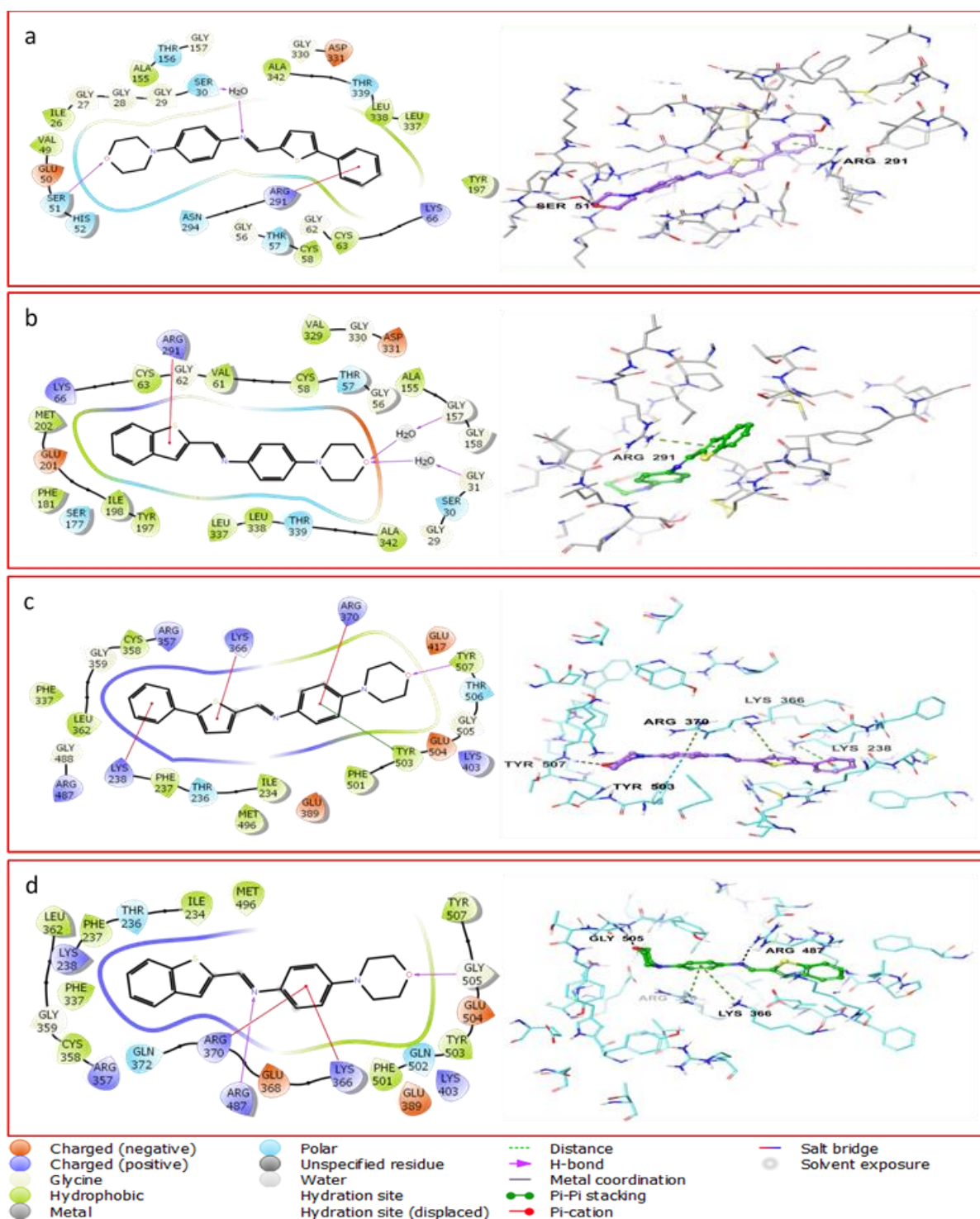
**Figure 8.** Results of SiteMap analyses. (a) 1-hGR, (b) 2-hGR, (c) 1-hG6PD, and (d) 2-hG6PD. Hydrophilic site is represented as pink surface and hydrophobic site is represented as yellow surface. Compound 1 is represented in purple ball and stick modeling. Compound 2 is represented in green ball and stick modeling

**Table 4.** Binding energies (kcal/mol) of the compounds 1 and 2 in the catalytic active sites of hGR and hG6PD receptors.

Compounds	Gr		G6PD	
	Glide Score	IFD Score		Glide Score
<b>1</b>	-8.317	-906.644	<b>1</b>	-8.317
<b>2</b>	-8.823	-961.702	<b>2</b>	-8.823



**Figure 9.** Docking validation analyses. (a) NADP and (b) FAD. The poses of co-crystallized ligands are represented in green color ball and stick modelling, re-docked NADP is represented in grey color ball and stick modelling and re-docked FAD is represented in gyan color ball and stick modelling.



**Figure 10.** 2D interaction diagram and 3D detailed binding mode of compound 1 and 2 into active sites of the receptors. (a) 1-hGR, (b) 2-hGR, (c) 1-hG6PD, and (d) 2-hG6PD. Residues of hGR are depicted in grey thick tube modeling. Residues of hG6PD are depicted in gyan thick tube modeling. Compound 1 is represented in purple ball and stick modeling. Compound 2 is represented in green ball and stick modeling.

#### 4. Conclusion

In this study, two new Schiff base with morpholine derivatives were synthesized. The structures of the compounds were confirmed by <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR and infrared spectrometry and their antioxidant, antibacterial,

antileishmanial and enzyme activities were tested. The antioxidant activities observed from compounds 1 and 2 were remarkably high. The compounds did not have antileishmanial activity. The synthesized compounds had different rates of antibacterial activity against nine different standard bacterial isolates. We purified GR and

G6PD enzyme human erythrocyte with affinity chromatography. Effect of synthesized compounds on the enzymes was examined with *in silico* and *in vitro* studies. According to these studies result, the enzymes that play an important role in preventing oxidative stress and maintaining of many metabolic pathways did not inhibit by the compounds which have antibacterial activity. We expect that the molecules will not cause any side effects when used as a drug.

### Acknowledgement

This study was financed by Kilis 7 Aralik University (Project No: 11471/174MAP7 and 12432LTP)

### References

- Aridoss, G., Balasubramanian, S., Parthiban, P. and Kabilan, S. 2007. Synthesis, Stereochemistry and Antimicrobial Evaluation of Some N-morpholinoacetyl-2,6-diarylpiperidin-4-ones. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 42, 851-860.
- Bayrak, Ç., Taslimi, P., Karaman, H.S., Gülçin, I. and Menzek, A., 2019. The First Synthesis, Carbonic Anhydrase Inhibition And Anticholinergic Activities of Some Bromophenol Derivatives with S Including Natural Products. *Bioorganic Chemistry*, 85, 128-139.
- Benzie, I.F.F. and Szeto, Y.T., 1999. Total Antioxidant Capacity of Teas by the Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 633-636.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L. and Stryer, L., 2002. Glucose 6-Phosphate Dehydrogenase Plays a Key Role in Protection Against Reactive Oxygen Species: New York, W.H Freeman and Company, 1515 p.
- Berkholz, D.S., Faber, H.R., Savvides, S.N. and Karplus, P.A., 2008. Catalytic Cycle of Human Glutathione Reductase Near 1 Å Resolution. *Journal of Molecular Biology*, 382, 371-374.
- Berrade, L., Aisa, B., Ramirez, M.J., Galiano, S., Guccione, S., Moltzau, L.R., Levy, F.O., Nicoletti, F., Battaglia, G., Molinaro, G., Aldana, I., Monge, A. and Perez-Silanes, S., 2011. Novel Benzo[B]Thiophene Derivatives as New Potential Antidepressants with Rapid Onset of Action. *Journal of Medicinal Chemistry*, 54, 3086-3090.
- Beutler, E., 1975. Red Cell Metabolism. A Manual of Biochemical Methods: New York, Grune & Stratton, 160 p.
- Bradford, M.M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for The Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing The Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Bryant, H.U. and Dere, W.H., 1998. Selective Estrogen Receptor Modulators: An Alternative to Hormone Replacement Therapy. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 217, 45-52.
- Carlberg, I. and Mannervik, B., 1981. Purification and Characterization of Glutathione Reductase from Calf Liver. An Improved Procedure for Affinity Chromatography on 2', 5'-ADP-Sepharose 4B. *Analytical Biochemistry*, 116(2), 531-536.
- Da Silva, C.M., da Silva, D.L., Modolob, L.V., Alves, R.B., de Resende, M.A., Martins, C.V.B. and de Fátima, Â., 2011. Schiff bases: A Short Review of Their Antimicrobial Activities. *Journal of Advanced Research*, 2, 1-8.
- Erat, M., Sakiroğlu, H. and Ciftçi, M., 2005. Effects of Some Antibiotics on Glutathione Reductase Activities from Human Erythrocytes in Vitro and from Rat Erythrocytes in Vivo. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 20(1), 69-74.
- Helal, M.H.M., Salem, M.A., El-Gaby, M.S.A. and Aljahdali, M., 2013. Synthesis and Biological Evaluation of Some Novel Thiazole Compounds as Potential Anti-Inflammatory Agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 13(65), 517-526.
- Hwang, S., Mruk, K., Rahighi, S., Raub, A.G., Chen, C., Dorn, L.E., Horikoshi, N., Wakatsuki, S., Chen, J.K. and Mochly-Rosen, D., 2018. Correcting Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase Deficiency with A Small-Molecule Activator. *Nature Communications*, 9, 4045.
- İskeleli, N.O., Alpaslan, Y.B., Direkel, Ş., Ertürk, A.G., Süleymanoğlu, N. and Ustabaş, R., 2015. The New Schiff Base 4-[(4-Hydroxy-3-fluoro-5-methoxy-benzylidene)amino]-1,5-dimethyl-2-phenyl-1,2-dihydro-pyrazol-3-one: Experimental, DFT Computational Studies and in Vitro Antimicrobial Activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 139, 356-366.
- Jagtap, V.A. and Agasimundin, Y.S., 2015. Synthesis and Preliminary Evaluation of Some 2-amino-n'-[substituted]-4,5,6,7-tetrahydro-1-benzothiophene-3-carbohydrazide as Antimicrobial Agents. *Journal of Pharmacy Research*, 9, 10-14.

- Jiang, J.J., Chang, T.C., Hsu, W.L., Hwang, J.M., and Hsu, L.Y., 2003. Synthesis and Biological Activity of Sulfur-Containing Aryl-aldehyde Schiff Bases. *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, 51, 1307-1310.
- Karaman, M., Akkemik, E., Budak, H. and Ciftci, M., 2012. In Vitro Effects of Some Drugs on Human Erythrocyte Glutathione Reductase. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(1), 18-23.
- Kartal, N., Sokmen, M., Tepe, M., Daferera, D., Polissiou, M. and Sökmen, A., 2007. Investigation of the Antioxidant Properties of *Ferula Orientalis* L. Using a Suitable Extraction Procedure. *Food Chemistry*, 100, 584-589.
- Kulandasamy, R., Adhiraki, A.V. and Stables, J.P., 2009. A New Class of Anticonvulsants Possessing 6Hz activity: 3,4-Dialkyloxy Thiophene Bishydrazones. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44, 4376-4384.
- Kumari, S., Badana, A.K., Mohan, M.G., Shailender G. and Malla, R.R., 2018. Reactive Oxygen Species: A Key Constituent in Cancer Survival. *Biomarker Insights*, 13, 1-9.
- Mikus, J. and Steverding, D., 2000. A Simple Colorimetric Method to Screen Drug Cytotoxicity Against *Leishmania* Using the Dye Alamar Blue®. *Parasitology International*, 48, 265-269.
- Ninfali, P., Orsenigo, I., Barociani, L. and Rapa S., 1990. Rapid Purification of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from Mammal's Erythrocytes. *Preparative Biochemistry*, 20, 297-309.
- Süleymanoğlu, N., Ünver, Y., Ustabaş, R., Direkel, Ş. and Alpaslan, G., 2017. Antileishmanial Activity Study and Theoretical Calculations for 4-Amino-1,2,4-Triazole Derivatives. *Journal of Molecular Structure*, 1144, 80-86.
- Turkan, F., Cetin, A. Taslimi, P. Karaman, M. and Gulçin, İ., 2019. Synthesis, Biological Evaluation and Molecular Docking of Novel Pyrazole Derivatives as Potent Carbonic Anhydrase and Acetylcholinesterase Inhibitors. *Bioorganic Chemistry*, 86, 420-427.
- Turkan, F., Cetin, A. Taslimi, P. Karaman, M. and Gulçin, İ., 2019. Synthesis, Biological Evaluation and Molecular Docking of Novel Pyrazole Derivatives as Potent Carbonic Anhydrase and Acetylcholinesterase Inhibitors. *Bioorganic Chemistry*, 86, 420-427.
- Ünver, Y., Sancak, K., Çelik, F., Birinci, E., Küçük, M., Soylu, S. and Burnaz, N.A., 2014. New Thiophene-1,2,4-triazole-5(3)-ones: Highly Bioactive Thiosemicarbazides, Structures of Schiff Bases and Triazole-thiols. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 84, 639-650.
- Ünver, Y., Bektaş, E. and Direkel, Ş., 2018. Synthesis and Antioxidant and Antileishmanial Activities of New Bis N-Amino Triazole Derivatives. *Russian Journal of General Chemistry*, 88, 2616-2620.
- Ünver, Y., Deniz, S., Çelik, F., Akar, Z., Küçük, M. and Sancak, K., 2016. Synthesis of New 1,2,4-Triazole Compounds Containing Schiff and Mannich Bases (Morpholine) with Antioxidant and Antimicrobial Activities. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31, 89-95.

## Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Kabuk Deformasyonu Belirleme Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

*Investigating the Potential of Precise Point Positioning in Crustal Deformation Studies*

**Sefa YALVAÇ\***

*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane*

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 27.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 01.06.2020

### Öz

Bu çalışmada, HNK (Hassas Nokta Konumlama) yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilirliği, rölatif GNSS (Global Navigation Satellite System) analizleri eşliğinde araştırılmıştır. Bu amaçla, Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının kuzeyinde yer alan GIRS, SINP ve ZONG istasyonları ile söz konusu fay hattının güney kesiminde konumlanan RHIY, ANKR ve BILE TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) istasyonlarının 2011-2018 (8 yıl) yılları arasındaki periyodik verileri elde edilerek analiz edilmiştir. Analizler, HNK yöntemi için CSRS PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning) çevrimiçi servisiyle, rölatif yöntem için ise GAMIT/GLOBK V10.7 akademik GNSS analiz yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Koordinat değerleri Kalman filtreleme tekniği yardımıyla analiz edilerek, her istasyona ait hız değerleri Avrasya plakasında konumlanan ORID IGS (International GNSS Service) istasyonu sabit olarak Kuzey, Doğu ve Yukarı bileşenler için ayrı ayrı kestirilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen hız kestirim değerleri arasındaki farklardan hesaplanan üç boyutlu konum hatası değerlerinin 0.1 mm ile 2.4 mm seviyeleri arasında olduğu ve HNK yönteminin bilimsel kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** GNSS, HNK, Kabuk Deformasyonu, Mutlak Konumlama, Rölatif Konumlama

### Abstract

*In this study, the potential of PPP (Precision Point Positioning) method in crustal deformation studies was investigated with the help of relative GNSS (Global Navigation Satellite System) analyses. For this purpose, data of six GNSS stations, three (GIRS, SINP and ZONG) of which are located to the north of the North Anatolian Fault (NAF) zone and the other three (RHIY, ANKR and BILE) are located to the south of the NAF zone, were obtained and analyzed between the years of 2011-2018 (8 years long). The analyzes were carried out by means of the CSRS online service for the PPP method and the GAMIT / GLOBK V10.7 academic GNSS analysis software for the relative positioning technique. The obtained coordinates are analyzed with the help of Kalman filter to estimate the velocities of each station for the North, East and Up components as fixed on the ORID IGS (International GNSS Service) station which located on the Eurasian plate. It was found that the 3D positioning error calculated from the velocity differences between the both methods ranged from 0.1 mm to 2.4 mm levels. Thus, it is concluded that PPP method can be used successfully in crustal deformation studies.*

**Keywords:** GNSS, PPP, Crustal Deformation, Absolute Positioning, Relative Positioning

\*Sefa YALVAÇ; sefayalvac@gmail.com; Tel: (0456) 233 10 00 (1762); <https://orcid.org/0000-0002-8989-6231>



## 1. Giriş

GNSS (Global Navigation Satellite System) tekniği, sivil kullanıma sunulmasından bu yana özellikle jeodezi alanına büyük kolaylıklar sunmuş ve beraberinde getirdiği birçok avantaj ile klasik yersel ölçme tekniklerinin yerini hızla almıştır. Her zaman ve her yerde, her türlü hava koşulunda, global bir koordinat sisteminde, yüksek hassasiyette 3B konum üretebilen GNSS tekniği, bu özellikleri sebebiyle kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında da sıklıkla tercih edilmektedir (Ustun vd., 2010; Yalvaç, 2020b).

Çoğu jeodezik çalışmada olduğu gibi kabuk deformasyonu belirleme çalışmaları da yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalar arasındadır. Söz konusu çalışmalarda yatayda birkaç milimetre düzeyde ise santimetre altı hassasiyet beklenir. Böylesi bir hassasiyeti elde edebilmek için GNSS ağı homojen bir yapıda tasarlanır ve GNSS gözlemleri, statik GNSS oturumları eşliğinde ardışık günlerde tekrarlı olarak gerçekleştirilir. Ölçüler yapılırken ağ geometrisinin ve ölçü planının değişmemesine özen gösterilir (Baarda, 1968). Elde edilen gözlemler birçok hata kaynağının faz farkları yardımıyla elemine edilebildiği rölatif konumlama yöntemine göre yapılır (Herring vd., 2010; Aydın vd., 2019). Bu durum göz önünde bulundurularak noktalar arasındaki baz uzunluklarının belirli sınırlar içerisinde kalması sağlanır (Amiri-Simkooei vd., 2017). Ayrıca, rölatif GNSS tekniğiyle konum belirlemede yukarıda bahsedilen hassasiyet değerlerinin elde edilebilmesi için GAMIT/GLOBK, BERNESE ve GIPSY OASIS gibi GNSS konusunda deneyim sahibi kişilerin kullanabileceği bilimsel analiz yazılımlarının da yer alması neredeyse zorunludur (Aydın vd., 2019). Tüm bu parametreler rölatif konumlama yöntemi ile yapılan deformasyon izleme çalışmalarında kısıtlayıcı birer parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öte yandan, 1990 yılı sonlarında NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory) tarafından, herhangi bir sabit noktaya ihtiyaç duymayan, tek bir GNSS alıcısı ile cm-dm seviyelerinde doğruluk elde edilmesine imkan tanıyan bir nokta konumlama yöntemi geliştirildi ve Precise Point Positioning (Türkçe: Hassas Nokta Konumlama) olarak isimlendirildi (Nistor ve Buda, 2015).

Hassas Nokta Konumlama (HNK) yöntemi ile nokta konumunun elde edilmesinde doğrudan uydu-alıcı anteni arasındaki uzunluk esas alınır.

Bu nedenle, rölatif nokta konumlama yöntemini kısıtlayan ağ geometrisinin ve ölçü planının sabit kalması, GNSS istasyonları arası baz uzunluklarının belirli bir sınır içerisinde tutulması ve jeodezik ağı bir referans sistemine taşınması için bölgesel istasyonlara ihtiyaç duyulması gibi kısıtlamalar bu yöntem ile konum belirlemede giderilmiştir (Zhou vd., 2018). Ancak, mutlak konulamayı esas alan HNK yönteminde, faz farkları oluşturulamadığından, alıcı saati hatası elemine edilemez ve başlangıç tamsayı belirsizliği çözümü için de belirli bir yakınsama süresine ihtiyaç duyulur (Yalvaç, 2019). Analiz için gerekli olan alıcı saati hataları kestirilmek ve yörünge parametreleri de GNSS ürünlerinden temin edilmek suretiyle elde edilir. Ancak yöntemin geliştirildiği dönemlerde, oldukça kısıtlı merkez tarafından gerçekleştirilen GNSS ürünleri ve bu ürünlerin doğruluklarının günümüze göre nispeten düşük olması HNK yönteminin o dönemlerde, özellikle jeodezide yüksek hassasiyet beklenen çalışmalarda kullanımını kısıtlamıştır.

Son 10 yıllık süreçte, 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), Wuhan üniversitesi gibi hassas saat ve yörünge parametrelerini üreten ajansların artmasıyla birlikte hem gözlenebilir uydu sayısı hem de GNSS ürünlerinin doğruluğu artmıştır (Yiğit vd., 2016a). Bu durum, hem HNK yönteminden elde edilen doğruluğun artması hem de yakınsama süresinin kısaltması ile sonuçlanmış ve yöntemin doğruluğu rölatif nokta konumlama hassasiyeti seviyelerine oldukça yaklaşmıştır (Yiğit vd., 2016a; Bahadır ve Nohutçu, 2018). Ek olarak, son zamanlarda HNK yöntemi ile analiz yapılabilmesine imkan tanıyan, oldukça basit arayüze sahip, birçok çevrimiçi servis ve ücretsiz yazılım literatüre girmiştir (Tétreault vd., 2015; Zhou vd., 2018). Operasyonel kolaylık, düşük maliyet, sabit istasyon zorunluluğunun ortadan kalkması, analizlerin hızlı ve çevrimiçi gerçekleştirilebilmesi gibi nedenler, HNK yönteminin son yıllarda yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Böylece jeodezide yüksek hassasiyet gerektiren deformasyon belirleme çalışmalarında, rölatif konum belirleme yerine kullanılabilirliği de bir araştırma sorusu olarak akla gelmektedir.

Literatür incelendiğinde, HNK yönteminin deformasyon belirleme çalışmalarında kullanılabilirliğinin yatay bileşende (2 boyutlu) incelendiği (Yiğit vd., 2016b; Aydın vd., 2019),



sadece zemin çökmeleri çalışmalarında yükseklik bileşenin (tek boyutun) değerlendirildiği (Yalvaç, 2020a), farklı atmosferik koşullar altında HNK yönteminden elde edilen yükseklik bilgisinin araştırıldığı (Rajner ve Liwosz, 2011) ve multi-GNSS çözümleriyle HNK yönteminden elde edilen zaman serilerinin karşılaştırıldığı çalışmalar olduğu görülmektedir (Yiğit vd., 2016a). Ancak, son yıllarda GPS ve GLONASS sistemlerinin modernizasyonu ve GNSS ürünlerinin kalitesindeki yüksek ivmeli artış göz önünde bulundurulduğunda, üç boyutlu ağlarda HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarındaki performansının ortaya konulması hala araştırılmaya muhtaç bir konu olarak görülmektedir.

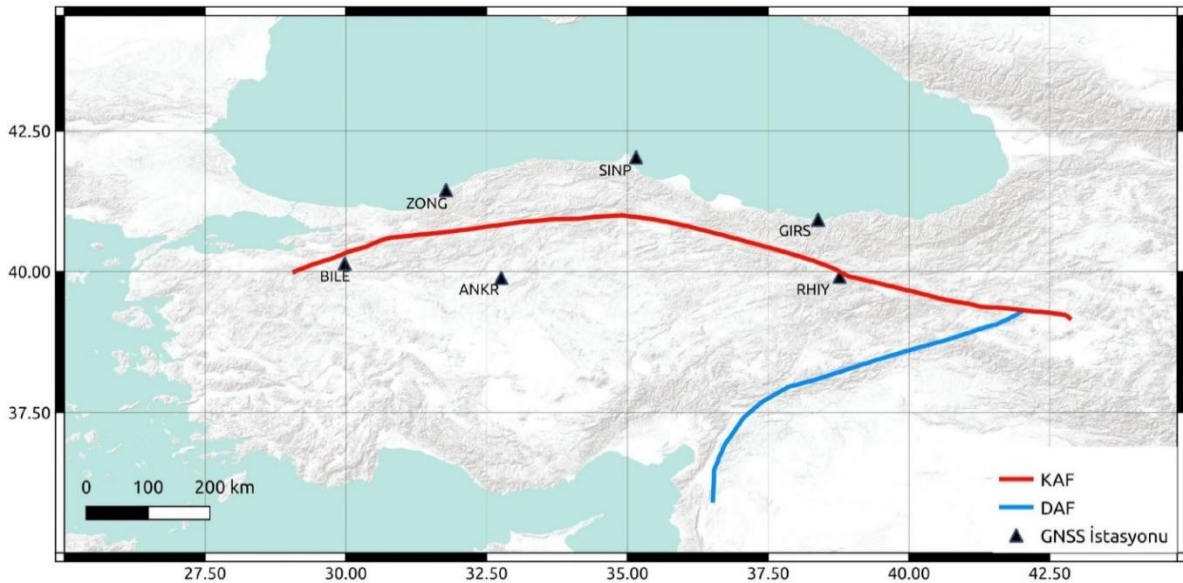
Bu çalışmada, HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, üç tanesi Kuzey Anadolu Fayı (KAF) hattı kuzeyine ve diğer üç tanesi de KAF hattı güneyinde konumlanan, 5 tanesi TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı- Aktif) ve bir tanesi de IGS ağına ait toplam 6 istasyonun, 2011-2018 yıllarını kapsayan periyodik verileri elde edilerek HNK ve rölatif GNSS analizleriyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen günlük çözümlerden, Avrasya plakasında bulunan ORID IGS istasyonu sabit hız değerleri Kalman

filtreleme yöntemiyle kestirilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar değerlendirilerek, yeni bir analiz tekniği olan HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarındaki kullanılabilirliği sayısal olarak ortaya konulmuştur.

## 2. Yöntem

### 2.1 GNSS Ağının Oluşturulması

GNSS ağının oluşturulması amacıyla TUSAGA-Aktif ve IGS (International GNSS Service) ağına ait, KAF hattı kuzeyinde yer alan GIRS, SINP, ZONG ve Güney kesiminde konumlanan RHIY, ANKR ve BILE istasyonları analiz için seçilmiştir (Şekil 1). Bu istasyonların seçiminde, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) çevrelemesi, fay hattının her iki yakasında homojen dağılmış olması, sinyal yansımaları hatasından etkilenmemesi gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu istasyonların 2011-2018 (8 yıl) yılları aralığındaki 30 sn. kayıt aralıklı gözlem verileri her yıl için 4 periyot (Şubat, Mayıs, Temmuz ve Aralık ayları) ve her periyotta ardışık üç gün için TUSAGA-Aktif sunucularından elde edilerek analiz edilmiştir. Analizlere ait detaylar alt başlıklarda sunulmaktadır.



**Şekil 1.** Analizlerde kullanılan GNSS istasyonları ve fay hatları (DAF: Doğu Anadolu Fayı, KAF: Kuzey Anadolu Fayı)

### 2.2. GNSS Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

GNSS analizleri rölatif ve mutlak yöntemlerle ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Rölatif yöntemle yapılan GNSS analizlerinde GAMIT/GLOBK V10.7

yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım ile yapılan analizler temel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki GAMIT modülü ile günlük çözümlerin oluşturulmasıdır. GAMIT modülü ile çözümler, her istasyonda eş zamanlı

kaydedilen faz gözlemlerinden (L1 ve L2) oluşturulan iyonosferden bağımsız kombinasyonlar (LC) ile kısmi iz-minimum esasında (ANKR sabit) ve en küçük kareler prensibine göre gerçekleştirilmiştir. Günlük çözümler için hassas yörünge ve saat parametreleri IGS'den elde edilmiş, ağ zorlaması yatayda ve düşeyde 5 cm seviyeye yapılmıştır. İkinci aşamada, günlük bazda elde edilen çözümler ITRF (International Terrestrial Reference Frame) sistemine dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yazılıma ait GLOGR modülü kullanılarak, koordinatları ve hızları ITRF sisteminde tanımlı, Türkiye ve yakın çevresinde konumlanan (yaklaşık 1000 km) 10 IGS istasyonu vasıtasıyla, günlük çözümler birkaç mm'lik dönüşüm hataları eşliğinde Helmert transformasyonu ile ITRF08 sistemine taşınmıştır. Bu sayede aynı referans sisteminde tanımlanan günlük çözümlere ait zaman serileri de oluşturulmuştur. Son aşama, deformasyonların kestirildiği GLOBK aşamasıdır. Bu aşamada, GAMIT yardımıyla günlük çözümler sonucu kestirilen koordinat ve varyans-kovaryans matrisleri GLOBK modülü ile değerlendirilmiştir. GLOBK modülü Kalman filtreleme görevini yerine getirerek analiz süresince meydana gelen deformasyonları kestiren bir araçtır (Herring vd., 2010).

Mutlak yöntemle yapılan analizler HNK yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. HNK yöntemine göre yapılan analizler, çevrimiçi analiz servislerinden olan ve bugüne kadar birçok akademik çalışma için tercih edilen, CSRS PPP (Canadian Spatial

Reference System Precise Point Positioning) kullanılarak yapılmıştır. Analizler statik modda, hassas yörünge parametreleri (IGS) eşliğinde ve GPS, GLONASS verileri kullanılarak 7.5° uydu yükseklik açısı altında gerçekleştirilmiştir. ITRF08 sisteminde elde edilen koordinatlar varyans-kovaryans matrisleri ve genişletilmiş analiz raporlarıyla birlikte, kısa bir süre sonra belirtilen e-posta adresine ulaşmıştır.

### 3. Bulgular

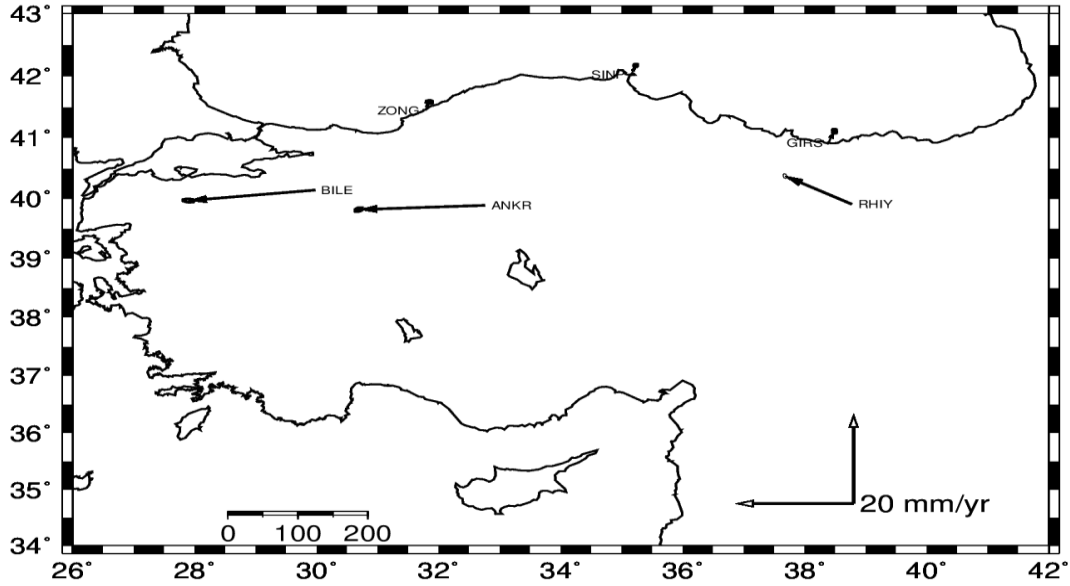
Bu bölümde, Şekil 1'deki GNSS ağında 2011-2018 yılları arasında yapılan analizlerden elde edilen hız kestirim değerleri rölatif ve HNK yöntemleri için ayrı ayrı sunulacak ve sayısal değerler karşılaştırılacaktır.

Rölatif yöntemden elde edilen günlük çözümler, GLOBK modülü ile birleştirilerek, KAF hattının Kuzey ve Güney bölümlerinde kalan istasyonların hız değerleri Avrasya plakası üzerinde konumlanan ORID istasyonu sabit olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler sayısal olarak Tablo 1'de, hız değerleri hata elipsleri ile birlikte Şekil 2'de gösterilmektedir.

HNK yöntemiyle elde edilen günlük çözümler, varyans-kovaryans matrisleri de göz önünde bulundurularak Kalman filtreleme tekniği ile birleştirilerek hız değerleri yine ORID istasyonu sabit kestirilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Rölatif GNSS analiz ile elde edilen ORID sabit nokta hızları (mm/yıl) ve standart sapmaları

İstasyon	Kuzey $\pm\sigma$ (mm)	Doğu $\pm\sigma$ (mm)	Yukarı $\pm\sigma$ (mm)
RHIY	6.29 $\pm$ 0.12	-11.32 $\pm$ 0.21	-1.09 $\pm$ 2.54
GIRS	2.55 $\pm$ 0.13	1.01 $\pm$ 0.27	-1.95 $\pm$ 2.42
SINP	1.96 $\pm$ 0.11	0.77 $\pm$ 0.12	-2.36 $\pm$ 1.77
ANKR	-0.94 $\pm$ 0.24	-21.35 $\pm$ 0.17	-3.17 $\pm$ 2.24
ZONG	1.85 $\pm$ 0.21	0.70 $\pm$ 0.13	-4.69 $\pm$ 2.33
BILE	-2.35 $\pm$ 0.35	-21.45 $\pm$ 0.15	-0.72 $\pm$ 3.34



Şekil 2. Rölatif GNSS analizleri sonucu elde edilen nokta hızları haritası

Tablo 2. HNK analizlerinden elde edilen ORID sabit nokta hızları (mm/yıl) ve standart sapmaları

İstasyon	Kuzey $\pm\sigma$ (mm)	Doğu $\pm\sigma$ (mm)	Yukarı $\pm\sigma$ (mm)
RHIY	6.05 $\pm$ 0.76	-11.46 $\pm$ 1.21	-0.36 $\pm$ 3.28
GIRS	2.42 $\pm$ 0.82	0.91 $\pm$ 0.84	-1.34 $\pm$ 3.76
SINP	1.98 $\pm$ 0.81	0.73 $\pm$ 0.76	-2.31 $\pm$ 2.94
ANKR	-0.74 $\pm$ 0.74	-21.01 $\pm$ 1.01	-3.83 $\pm$ 4.12
ZONG	1.98 $\pm$ 0.82	0.73 $\pm$ 0.91	-2.31 $\pm$ 3.98
BILE	-2.09 $\pm$ 0.83	-21.56 $\pm$ 0.93	-0.32 $\pm$ 4.11

Tablo 1 ve 2’de verilen hız değerleri arasındaki farklar Kuzey, Doğu ve Yukarı bileşenler için elde edilmiş ve tek anlamlı ifade edilmek üzere 3B konum hatası da hesaplanarak Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Rölatif ve HNK yöntemlerinden elde edilen hızlara ait farklar ve 3B ifadesi (mm/yıl)

İstasyon	Kuzey	Doğu	Yukarı	3B Konum
RHIY	0.24	0.14	-0.73	0.78
GIRS	0.13	0.10	-0.61	0.63
SINP	-0.02	0.04	-0.05	0.07
ANKR	-0.20	-0.34	0.66	0.77
ZONG	-0.13	-0.03	-2.38	2.38
BILE	-0.26	0.11	-0.4	0.49

#### 4. Tartışma ve Sonuç

HNK ve rölatif GNSS analizlerinden elde edilen ve Tablo 1 ve 2'de sunulan hız kestirim değerlerine ait standart sapmalar incelendiğinde, HNK yönteminden elde edilen standart sapma değerlerinin 0.5 ile 1.5 mm seviyelerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 3'de söz konusu iki yöntemden elde edilen hız kestirim farklarının ise Kuzey, Doğu ve Yukarı bileşenler için 0-2.4 mm/yıl seviyeleriyle sınırlı kaldığı görülmektedir. Tablo 3'te bulunan 3B konum hatası incelendiğinde tüm istasyonlar için hız kestirim farklılıklarının 0.1-2.4 mm seviyeleri aralığında olduğu görülmüştür.

Her iki yöntemden elde edilen hassasiyet ve koordinat değerleri arasındaki farklılaşmanın iki temel sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan ilki, rölatif GNSS yöntemiyle konum belirlemede, alıcı saati hatası ve başlangıç tamsayı belirsizliği tamamen elemine edilebilirken, HNK yönteminde alıcı saati hatası kestirilmekte, başlangıç tamsayı belirsizliği ise yakınsama suretiyle elde edilmektedir. Diğeri ise, rölatif GNSS analizleriyle istasyonlar arasındaki baz uzunluğu kestirilmekte, HNK yönteminde ise doğrudan uydu-alıcı arasındaki mesafe bilgisi ile koordinatlar elde edilmektedir. Bu nedenle, çok düşük seviyelerde (birkaç mm) de olsa bu farklılık doğal karşılanmıştır.

Bu çalışmada, son yıllarda oldukça popüler bir nokta konum belirleme yöntemi olan HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilirliği, rölatif GNSS analizi yöntemiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Hız kestirim değerleri ve standart sapmalar arasındaki farklılıklar incelendiğinde, sabit ya da hareketli noktalar için elde edilen değerlerin birkaç mm sınırlarını geçmediği ve yöntemin bilimsel yer kabuğu deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilmesi ortaya çıkmaktadır. Diğeri taraftan, Tablo 3 ile verilen farklar, kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında sıklıkla başvurulan gerinim analizleri için de farklılık oluşturmayacak kadar küçüktür. Ayrıca HNK yönteminin, ölçü planı ve ağ geometrisindeki değişikliklerden etkilenmemesi, datum dönüşümü için referans istasyona ihtiyaç duymaması, hızlı ve kolay analiz edilebilmesi gibi birçok avantaj göz önünde bulundurulduğunda, kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında, rölatif GNSS analiz yöntemi yerine tercih edilmesi oldukça makul görülmektedir. Ancak, bu çalışmada 24 saatlik gözlemler eşliğinde mm seviyelerinde farklılık

elde edildiği ve gözlem süresinin kısaldığı durumlarda HNK yönteminin performansının düşebileceği unutulmamalıdır.

#### Kaynaklar

- Amiri-Simkooei, A.R., Alaei-Tabatabaei, S.M., Zangeneh-Nejad, F. and Voosoghi, B., 2017. Stability Analysis of Deformation-Monitoring Network Points Using Simultaneous Observation Adjustment of Two Epochs. *Journal of Surveying Engineering*, 143(1), 04016020.
- Aydin, C., Uygur, S.Ö., Cetin, S., Özdemir, A. ve Dogan, U., 2019. Ability of GPS PPP in 2D Deformation Analysis With Respect to GPS Network Solution. *Survey Review*, 51(366), 199-212.
- Baarda, W., 1968. A testing Procedure for Use in Geodetic Networks. *Publication on Geodesy, New Series*, 2.
- Bahadur, B. and Nohutcu, M., 2018. PPPH: a MATLAB-Based Software for Multi-GNSS precise Point Positioning Analysis. *GPS solutions*, 22(4), 113.
- Herring, T.A., King, R.W. ve McClusky, S.C., 2010. Introduction to GAMIT/GLOBK. *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts*.
- Nistor, S. ve Buda, A.S., 2015. Ambiguity Resolution in Precise Point Positioning Technique: A Case Study. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 5(1), 53-60.
- Rajner, M. ve Liwosz, T., 2011. Studies of Crustal Deformation due to Hydrological Loading on GPS Height Estimates. *Geodesy and Cartography*.
- Tétrault, P., Kouba, J., Héroux, P. ve Legree, P., 2005. CSRS-PPP: An Internet Service for GPS User Access to the Canadian Spatial Reference Frame. *Geomatica*, 59(1), 17-28.
- Ustun, A., Tusat, E. ve Yalvac, S., 2010. Preliminary Results of Land Subsidence Monitoring Project in Konya Closed Basin between 2006-2009 by Means of GNSS Observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(6), 1151.
- Yalvac, S., 2019. Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Doğruluğunun Mikro-Jeodezik Bir Ağda İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 575-581.
- Yalvac, S., 2020a. Validating InSAR-SBAS Results by Means of Different GNSS Analysis Techniques in Medium-and High-Grade Deformation Areas.

- Environmental Monitoring and Assessment, 192(2), 120.
- Yalvaç, S., 2020b. Determining the Effects of the 2020 Elazığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations. Turkish Journal of Geosciences, 1(1), 15-20.
- Yiğit, C.Ö., Kızıllarslan, M. ve Çalışkan, E., 2016a. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1), 22-39.
- Yigit, C. O., Coskun, M. Z., Yavasoglu, H., Arslan, A., ve Kalkan, Y., 2016b. The Potential of GPS Precise Point Positioning Method for Point Displacement Monitoring: A case study. Measurement, 91, 398-404.
- 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), 33.

## Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile Jeodezik Elipsoidal Koordinatların $(\varphi, \lambda, h)$ 3 Boyutlu Global Kartezyen Koordinatlara $(X, Y, Z)$ Dönüşümü

*Transformation of Geodetic Ellipsoidal Coordinates  $(\varphi, \lambda, h)$  to 3 Dimensional Global Cartesian Coordinates  $(X, Y, Z)$  with Multi-layer Perceptron Artificial Neural Network*

**Berkant KONAKOĞLU\***

*Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, 05100, Amasya*

• Geliş tarihi / Received: 31.03.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.05.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 02.06.2020

### Öz

Jeodezik elipsoidal koordinatlar  $(\varphi, \lambda, h)$  ile üç boyutlu (3B) global kartezyen koordinatlar  $(X, Y, Z)$  arasındaki dönüşüm işlemi sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Bu dönüşüm problemini çözmek için sadece bir yöntem bulunmuştur. Mevcut araştırmalar incelendiğinde jeodezik elipsoidal koordinatlardan 3B global kartezyen koordinatlara dönüşüm yöntemine alternatif olabilecek tekniklerin uygulanması ve test edilmesi konusunda tam olarak değinilmediği belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (ÇKAYSA) kullanarak jeodezik elipsoidal koordinatlardan 3B global kartezyen koordinatlara dönüşüm yönteminin performansını araştırmaktır. Tahmin için Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı'na (TUTGA) ait 594 noktalı veri seti kullanılmıştır. Yapılan çok sayıda denemeler sonucu eğitim algoritması olarak Bayesian Regulation ve gizli katman sayısı 2 olarak belirlenmiştir. ÇKAYSA modellerinin performans değerlendirilmesi için karesel ortalama hata (KOH), ortalama mutlak hata (OMH) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) kriterleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre ÇKAYSA ile 3B global kartezyen koordinatların bileşenleri için KOH değeri 0.4536 cm ile 0.9411 cm arasında, OMH değeri 0.3883 cm ile 0.8165 cm arasında değişim göstermiş, tüm modeller için  $R^2$  değeri 0.9999 olarak hesaplanmıştır. Sonuçları daha detaylı incelemek için tahmin edilen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki fark değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, fark değerlerinin az sayıda veri hariç sıfır değerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Söz konusu istatistiksel kriterlere göre, bu çalışmada kullanılan ÇKAYSA'nın klasik koordinat dönüşüm yöntemine alternatif olarak kullanılabilir bir yöntem olduğunu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı, Jeodezik Elipsoidal Koordinatlar, Koordinat Dönüşümü, 3B Global Kartezyen Koordinatlar

### Abstract

The problem of transformation between geodetic ellipsoidal coordinates  $(\varphi, \lambda, h)$  and three-dimensional (3D) global Cartesian coordinates  $(X, Y, Z)$  is a common one. Only one method for solving this transformation problem has been found. An examination of the current studies reveals that the application and testing of possible alternative techniques for transforming geodetic ellipsoidal coordinates to 3D global Cartesian coordinates have not been fully addressed. The aim of this study was to investigate the performance of a method of transforming geodetic ellipsoidal coordinates to 3D global Cartesian coordinates using a multilayer perceptron artificial neural network (MLP-ANN). For the prediction, 594-point datasets of the Turkish National Fundamental GPS Network (TNPGN) were used. As a result of many trials, the Bayesian Regulation was determined as the training algorithm and the number of hidden layers was 2. The mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), and coefficient of determination ( $R^2$ ) were used for the performance evaluation of the MLP-ANN model. According to the test results, the MSE value for the components of the MLP-ANN and the 3D global Cartesian coordinates varied between 0.4536 cm and 0.9411 cm, the MAE value ranged between 0.3883 cm and 0.8165 cm, and the  $R^2$  value was calculated as 0.9999 for all models. To examine the results in more detail, the difference between the estimated values and the calculated values was determined. Accordingly, it was found that the difference in the values was quite close to zero except for a few number of data. According to these statistical criteria, it was concluded that the MLP-ANN used in this study could be used as an alternative to the classical coordinate transformation method.

**Keywords:** Multi-layer Perceptron Artificial Neural Network, Geodetic Ellipsoidal Coordinates, Coordinate Transformation, 3B Global Cartesian Coordinates.

\*Berkant KONAKOĞLU; berkantkonakoglu@gmail.com, Tel: (0462) 377 27 78, orcid.org/0000-0002-8276-587X



## 1. Giriş

Dünya yüzeyinin üstünde veya altında, sabit ve sabit olmayan nesnelerin konumlarını belirleyen küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS) gibi uydu konumlandırma teknolojilerindeki hızlı gelişmelerle birlikte koordinat konumları yüksek doğrulukla elde etme olasılığını artırmıştır. Bu konumlandırma teknolojileri, noktanın konumlarını elipsoidal jeodezik koordinat ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) olarak ya da üç boyutlu (3B) global kartezyen koordinat (X, Y, Z) olarak sunmaktadır. GNSS'in doğru kullanımı için ülke sistemiyle arasındaki ilişkilerin tanımlanması gerekir. Her iki sistemin jeodezik alt yapısı farklıdır. GNSS ile elde edilen koordinat bilgisinin ülke sisteminde kullanılabilmesi için, üç boyutlu (3B) global kartezyen koordinat ve elipsoidal jeodezik koordinat sistemleri arasında dönüşüm yapılması gereklidir (Yıldırım vd., 2011). Üç boyutlu global kartezyen koordinatlardan elipsoidal jeodezik koordinatlara dönüşüm hesabı için farklı yöntemler geliştirilmişken, tersi işlem için tek bir çözüm mevcuttur.

Farklı mühendislik disiplinlerinde kullanılan yapay sinir ağının (YSA) jeodezi alanında da klasik koordinat yöntemlere alternatif olabileceği yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Bazı araştırmacılar YSA'larını iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) koordinat dönüşüm metodu olarak kullanmışlardır (Zaletnyik, 2004; Lin ve Wang, 2006; Tierra vd., 2008; Gullu, 2010; Tierra ve Romero, 2014; Konakoğlu ve Gökalp, 2016; Elshambaky vd., 2018; Cakir ve Konakoglu, 2019; Ziggah vd., 2019). Bu çalışmalara örnek olarak, Turgut, B. (2010) yaptığı çalışmada çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKAYSA) kullanarak ED50 (European Datum 1950) ve WGS84 (World Geodetic System 1984) datumları arası 3B global kartezyen koordinatların dönüşümünde kullanmıştır. ÇKAYSA sonuçları, 7-parametrelilik benzerlik dönüşüm yöntemi (Molodensky-Badekas) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre, ÇKAYSA'nın Molodensky-Badekas yönteminden daha doğru sonuç verdiği, ÇKAYSA'nın ED50 ve WGS84 datumları arası 3B koordinat dönüşümünde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Konakoglu vd. (2016) yaptıkları çalışmada üç farklı yapay sinir ağı modelinin (ileri beslemeli geriye yayılım yapay sinir ağı (İBGYYSA), ileri kademeli geri yayılım yapay sinir ağı (İKGYYSA) ve radyal temelli fonksiyon yapay sinir ağı (RTFYSA)) ED50 ve ITRF (International Terrestrial Reference Frame)

datumlarında bulunan 2B'lu koordinat dönüşümü performansını incelemişlerdir. Sonuçlar, optimum model parametrelerinin seçildiği durumlarda YSA'larının 2B koordinat dönüşümü için kullanılabileceğini göstermiştir. Ziggah vd. (2016a) yaptıkları çalışmada Gana'da kullanılan 2B'lu iki farklı bölgesel datum arasında dönüşüm için YSA'nı kullanmışlardır. ÇKAYSA ve RTFYSA yöntemleri iki farklı klasik dönüşüm yöntemleri (4- ve 6- parametrelilik modeller) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bir datumdan diğerine, RTFYSA'nın, ÇKAYSA ve diğer iki klasik dönüşüm yöntemlerinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, bu çalışma Gana'nın koordinat dönüşüm problemlerini çözmeye YSA tekniğinin önemini anlamada fırsat yaratmıştır. Elshambaky vd. (2018) yaptıkları çalışmada Mısır datumunun koordinatlarını dönüşümünde YSA yöntemini yeni bir datum dönüşüm aracı olarak kullanılmasını göstermişlerdir. Klasik yöntemlerden Helmert ve Molodensky, regresyon ve minimum eğrilik yüzeyi yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar YSA ile yapılan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda YSA yönteminin, Mısır'daki dönüşüm problemini çözmek için bir araç olarak kullanılmasında diğer yöntemlere göre daha uygun bir yöntem olduğunu tespit etmişlerdir. Ziggah vd. (2016b) yaptıkları çalışmada jeodezik elipsoidal koordinatların ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) 3B kartezyen koordinatlara (X, Y, Z) dönüştürülmesinde YSA'nın kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışma kapsamında, YSA olarak ÇKAYSA, radyal temelli fonksiyon sinir ağı (RTFYSA) ve çoklu lineer regresyon (ÇLR) modelleri kullanılmıştır. Veri olarak batı Afrika'da bulunan Gana, Tarkwa'da arazi ölçümü ile toplanan toplam 328 GPS koordinat verisi kullanılmıştır. Girdi verisi olarak enlem ( $\phi$ ), boylam ( $\lambda$ ), yükseklik ( $h$ ), ana eğrilik yarıçapı (N) ve birinci merkezdeşliliğin karesi ( $e^2$ ) kullanılmıştır. Çıktı verisi olarak her bir 3B global kartezyen koordinatların bileşenleri (X, Y, Z) ayrı ayrı kullanılmıştır. Modellemede gizli katman sayısı 1 olarak alınmıştır. Her bir bileşen için oluşturulan modeller, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile eğitilmiştir. ÇKAYSA, RTFYSA ve ÇLR modelleri arasındaki yapılan karşılaştırmada, RTFYSA'nın ÇKAYSA ve ÇLR'dan çok daha iyi sonuçlar üretmiştir.

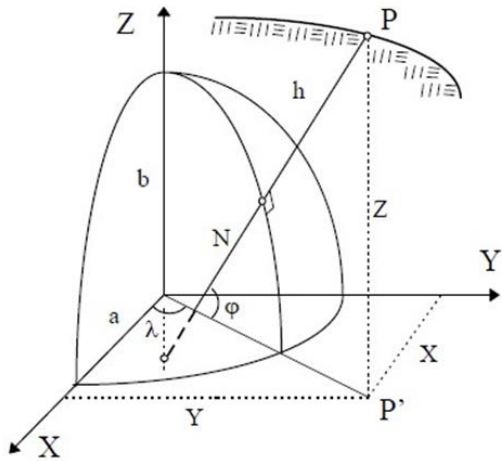
Bu çalışma kapsamında ise toplam 594 adet Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı'na (TUTGA) ait nokta veri seti kullanılarak, jeodezik elipsoidal koordinatların global kartezyen koordinatlara dönüşümünde YSA'nın kullanımının test edilmesi amaçlanmıştır. Dönüşüm işlemi YSA'nın en çok

kullanılan modeli olan çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (ÇKAYSA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ÇKAYSA'nın seçilme nedeni bu modelin jeodezik uygulamalarda yüksek performansla çalışmasıdır. Ziggah vd. (2016b) yaptıkları çalışmasından farklı olarak girdi verisi olarak enlem ( $\varphi$ ), boylam ( $\lambda$ ) ve yükseklik ( $h$ ) kullanılırken, çıktı verisi olarak her bir 3B global kartezyen koordinatların bileşenleri ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) ayrı ayrı kullanılmıştır. ÇKAYSA ile oluşturulan modellerin performansı, karesel ortalama hata (KOH), ortalama mutlak hata (OMH) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

## 2. Yöntemler

### 2.1. Klasik Yaklaşım

Bir noktanın üç boyutlu (3B) global kartezyen koordinatlarıyla ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) jeodezik elipsoidal koordinatların ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) arasındaki ilişki;



Şekil 1. 3B global kartezyen ve jeodezik elipsoidal koordinatlar (Üstün, 1996)

Üç boyutlu (3B) global kartezyen koordinatlar ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) ve jeodezik elipsoidal koordinatların ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) birbirleriyle olan dönüşümünü sağlayan denklemler (1) – (3) olarak ifade edilebilir (Heiskanen ve Moritz, 1967):

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (1)$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \varphi \quad (3)$$

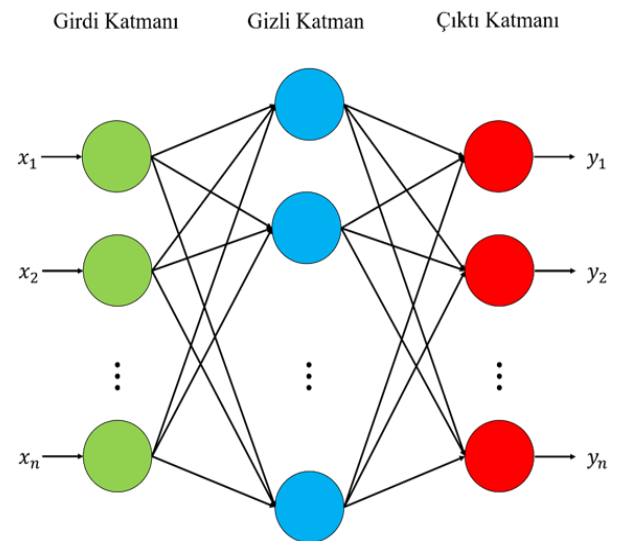
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (4)$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (5)$$

Burada  $\varphi$ , ( $-\pi/2 \leq \varphi \leq +\pi/2$ ) jeodezik enlemi;  $\lambda$  ( $-\pi < \lambda \leq +\pi$ ) jeodezik boylamı;  $h$  ( $-b \leq h < +\infty$ ) jeodezik yüksekliği;  $e$ , birinci merkez dışılığı;  $a$ , jeodezik elipsoidin büyük yarı eksenini;  $b$ , jeodezik elipsoidin küçük yarı eksenini ifade etmektedir.

### 2.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı (ÇKAYSA)

Yapay sinir ağları (YSA), en güçlü ve esnek makine öğrenme yöntemleri olarak bilinir. YSA'ları insan beyninin çalışma sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. YSA'nın yaygın kullanımının en önemli nedeni, klasik yöntemlerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır. Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (ÇKAYSA), basit bir yapıya sahip en yaygın olarak kullanılan ve geleneksel ileri beslemeli YSA'ları arasında popüler olan bir modeldir. Tek katmanlı algılayıcılar doğrusal olayları tahmin edebilirken, ÇKAYSA doğrusal olmayan olayların tahmininde kullanılabilir (Haykin, 2009). ÇKAYSA, bir giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman(lar) ve bir çıkış katmanı dâhil olmak üzere birkaç katmandan oluşmaktadır. ÇKAYSA'nda, giriş katmanı girdi parametrelerinin girdiği yerdir. Çıktı katmanı parametrelerine ilişkin değerler, ilgilenilen problemin hedef değerlerine göre belirlenir. Şekil 2, ÇKAYSA'nın mimarisine bir örnek göstermektedir.



Şekil 2. Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı mimarisini

Şekil 1'den de görüldüğü gibi katman içerisinde bulunan nöronların kendi aralarında bir bağlantı yoktur (Kisi ve Alizamir, 2018). Her bir katmandaki veriler, bir önceki ve bir sonraki katmanlardaki diğer nöronlarla birbirine bağlanan nöronlar aracılığı ile aktarılır. Bağlantılar sinaptik ağırlıklar ve hatalar ile ilişkilidir ve ağırlıkların amacı bu parametreleri sistemin eğitimi yoluyla ayarlamaktır (Kisi vd., 2017). Gizli katmanda yer alacak nöron sayısı uygulamaya göre değişmekte olup genellikle deneme yanılma yoluyla tespit edilmektedir. Girdi ve çıktı nöronlarının değerlerinin ayarlanmasından sonraki adım, ağırlıkların her nöronun aktif fonksiyonuna uygun olarak gizli nöronlarla ilişkili parametreleri tahsis etmesi için eğitilmesidir. Girdi vektörünün  $x_i$  olduğu düşünüldüğünde, bir transfer fonksiyonundan geçirilerek işlem elemanının çıktı değeri aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

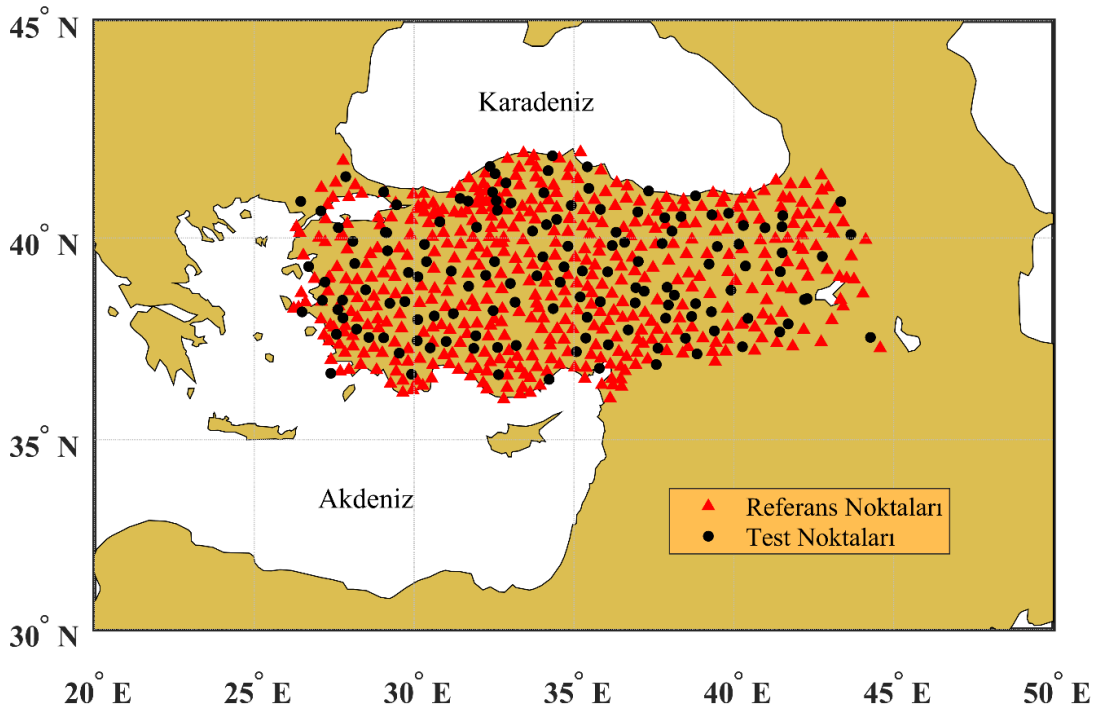
$$y_i = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ji}x_i + b\right) \quad (6)$$

Burada  $f$ , aktivasyon fonksiyonunu;  $n$ , girdi sayısını;  $w_{ji}$ ,  $i$ . işlem elemanından  $j$ . işlem

elemanına olan ağırlık değerini;  $b$ , eşik değerini göstermektedir. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyonlar şeklinde ikiye ayrılır. Doğrusal olmayan fonksiyonlarda en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Bu çalışmada, aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılmıştır.

### 3. Veri Seti

Çalışma kapsamında, toplam 594 adet TUTGA noktasından oluşturulan veri seti uygulamada, referans ve test olarak iki ayrı veri setine ayrılarak kullanılmıştır. Nokta verilerinin dağılımlarının homojen bir şekilde dağılmış olmasına dikkat edilmiştir. Tüm veri setinin yaklaşık %80'i (475 nokta) ÇKAYSA'nın eğitiminde kullanılırken, geri kalan %20'si (119 nokta) ÇKAYSA modellerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Referans ve test veri setine ait jeodezik noktaların dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Referans ve test noktalarının dağılımı

Girdi ve çıktı verileri, hesaplama hızını iyileştirmek ve daha doğru sonuçlar elde etmek için YSA modellerini geliştirmeden önce bir ölçeklendirme kriterine göre normalleştirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan enlem ( $\phi$ ), boylam ( $\lambda$ ) ve yükseklik ( $h$ ), 3B global kartezyen koordinatların bileşenleri ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) eşitlik (7) kullanılarak -1 ile 1 arasında normalleştirilmiştir.

$$x_i = x_{min} + \frac{(x_{mak}-x_{min}) \times (y_i - y_{min})}{(y_{mak}-y_{min})} \quad (7)$$

Burada  $x_i$ , normalize veriyi;  $y_i$ , normalleştirilmemiş veriyi;  $y_{min}$  ve  $y_{mak}$  normalleştirilmemiş verinin minimum ve maksimum değerlerini;  $x_{min}$  ve  $x_{mak}$  -1 ve 1 değerlerini göstermektedir.

#### 4. Modelin Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada geliştirilen ÇKAYSA modellerinin performansını değerlendirmek için üç değerlendirme ölçütü, karesel ortalama hata (KOH), ortalama mutlak hata (OMH) ve belirlilik

katsayısı ( $R^2$ ) kullanılmıştır. Bu ölçütler şu şekilde tanımlanır:

$$KOH = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - T_i)^2 \right)^{1/2} \quad (8)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_i - T_i| \quad (9)$$

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2 \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \right)^2 \quad (10)$$

Burada  $n$ , veri sayısını;  $H_i$  ve  $T_i$ , sırasıyla hesaplanan ve tahmin edilen değerleri;  $\bar{H}$  ve  $\bar{T}$ , sırasıyla ortama hesaplanan ve ortalama tahmin edilen değeri göstermektedir.

#### 5. Uygulama

Jeodezik elipsoidal koordinatların ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), 3B global kartezyen koordinatlara ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) ÇKAYSA ile dönüşümünde referans ve test noktalarının coğrafi koordinatları ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) girdi verisi olarak ve noktanın her bir global kartezyen koordinat bileşeni çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Gizli katman sayısının seçimi YSA'nın işleyişinde önemli bir adımdır ve bunun için kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Tek bir gizli katmanın kullanımının yeterli olduğu [Hornik vd. \(1989\)](#) tarafından belirtilmiştir. Buna rağmen, 1 gizli katmana sahip ÇKAYSA'nın eğitim aşamasında yapılan denemeler sonucunda karesel ortalama hata (KOH) değerinin metre seviyesinde kaldığı tespit edilmiştir. Bir katman kullanılarak elde edilen sonuçlara bu makalede yer verilmemiştir. Bu yüzden, ÇKAYSA modellerinde 2 gizli katman kullanılmıştır. Eğitim aşamasından önce, sorun için en uygun eğitim algoritması seçilmelidir. Yapılan denemeler sonucunda ÇKAYSA'nın eğitimi için, *Bayesian Regulation* eğitim algoritmasının kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. *Bayesian Regulation* eğitim algoritması için daha fazla bilgiye [MacKay \(1992\)](#) çalışmasından ulaşılabilir. Geçmişte, gizli katmandaki nöron sayısının hesaplanması için birçok yaklaşım önerilmiştir. Fakat bu çalışmada, gizli nöronların sayısı deneme yanılma yaklaşımı ile saptanmıştır.

Optimum nöron sayısını seçmek için KOH ölçütü olarak alınmıştır. Beş gizli nöronla başlayarak, gerekli doğruluk elde edilene kadar gizli nöronların sayısı her denemede 5'er kez artırılmıştır. Nöronlarda aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir global kartezyen koordinat bileşeni için oluşturulan ÇKAYSA modellerinde öğrenme oranı 0.4, momentum değeri ise 0.5 olarak seçilmiştir. Öğrenme oranı, bir öğrenme prosedürünün hızı ve doğruluğu ile orantılı olup bunları kontrol eden bir sabittir. Momentum katsayısı, ağırlıkların yerel gradientleri aşmasını sağladığı gibi aynı zamanda hatanın düşmesine de yardımcı olur. Bu katsayı ile öğrenme esnasında ağırlıkların salınımını engellenir. Birçok denemeden sonra, jeodezik elipsoidal koordinatların 3B global kartezyen koordinatlara dönüştürmek için ÇKAYSA'nın optimum yapısı  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  bileşenleri için sırasıyla [3-5-5-1], [3-10-10-1] ve [3-10-10-1] olarak belirlenmiştir.

##### 5.1. Eğitim Aşaması Sonuçları

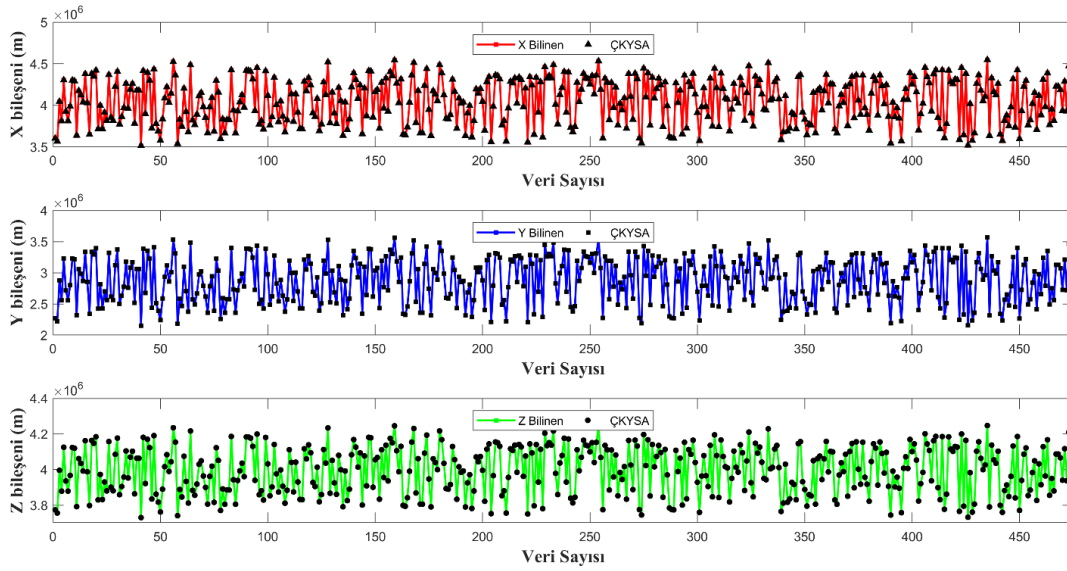
ÇKAYSA modellerinin KOH, OMH ve  $R^2$  açısından eğitim aşaması için performansı Tablo 1'de verilmiştir.

Sonuçlara göre,  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  bileşenleri için geliştirilen ÇKAYSA modellerindeki eğitim verilerine ait elde edilen KOH ve OMH değerleri, hesaplanan global kartezyen koordinat değerlerinin eğitim sonucu elde edilen koordinat değerlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Bu durum grafiksel olarak Şekil 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 1.** ÇKAYSA modellerinin için eğitim aşaması sonuçları

Aşama	Ölçüt	X	Y	Z
Eğitim	KOH (cm)	1.0963	0.8822	0.5004
	OMH (cm)	0.3768	0.2511	0.1455
	$R^2$	0.9999	0.9999	0.9999





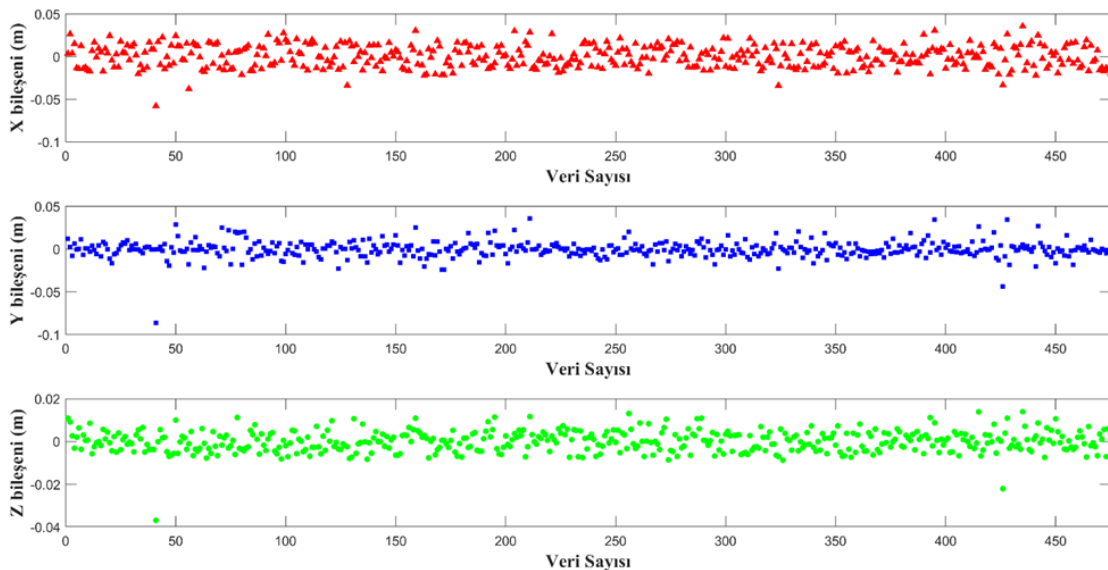
Şekil 4. Eğitim veri için tahmin ve bilinen koordinat değerlerinin dağılım diyagramları

Ayrıca, eğitim aşamasında elde edilen yüksek  $R^2$  değeri (Tablo 1), her bir global kartezyen koordinat bileşeni için geliştirilen modellerin eğitim performanslarının kalitesini daha da doğrulamıştır. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak, düşük KOH ve OMH ve yüksek  $R^2$  değeri ile tatmin edici bir eğitim performansı sergilemiş olduğu göstermektedir.

ÇKAYSA modelleri ile tahmin edilen koordinat değerlerinin yakınlığına bağlı olarak, tahmin edilen sonuçların karşılık gelen hesaplanan koordinatlardan sapma miktarını Şekil 4 yardımıyla görsel olarak tanımlamak güçtür. Bu nedenle, eğitim aşamasında ÇKAYSA modellerinden elde edilen koordinat farklarını açıkça gösteren bir grafiğin gösterilmesi önemlidir. Farklar, tahmin edilen koordinatlara karşılık gelen hesaplanan koordinatlarından

çıkararak hesaplanmıştır. Elde edilen bu farklar ile geliştirilen ÇKAYSA'nın tahmin limitini göstermektedir. Şekil 5 tüm bileşenler için geliştirilen modelleri kullanıldığında, eğitim veri noktalarına göre fark değişimlerini göstermektedir.

Klasik yöntemle hesaplanan koordinatlar ile tahmin edilen koordinatların farklarının sıfır olması beklenir; fakat bu durum mümkün değildir. Bu grafik gösterimleri ile ÇKAYSA modelleri kullanılarak tahmin edilen koordinat değerlerinin, hesaplanan koordinat değerleri ile ne kadar uyumlu olduğunu daha açık gösterebilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde fark değerlerinin az sayıda veri hariç sıfır değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durumdan yola çıkacak olursak kurulan modelin iyi bir şekilde eğitilmiş olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Eğitim verileri için hesaplanan fark değerleri

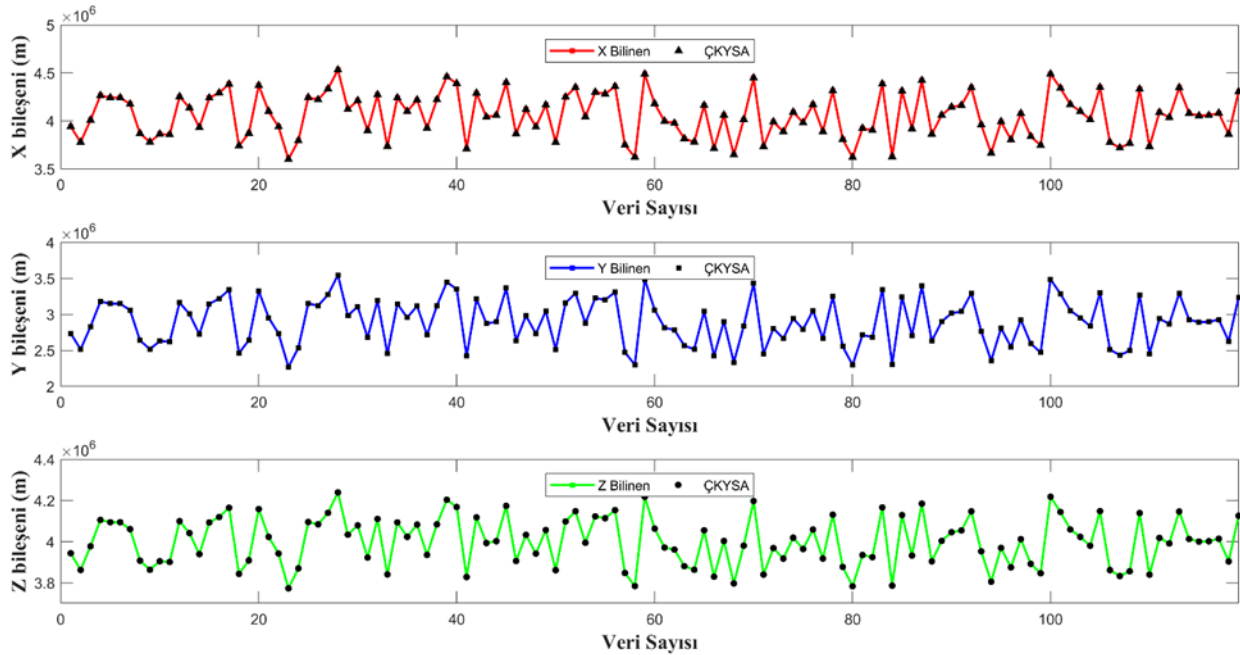
## 5.2. Test Aşaması Sonuçları

Eğitim aşaması bitmesinden sonra oluşturulan ÇKAYSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için test aşamasına geçilmiştir. Test aşaması için bulunan istatistiksel sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

KOH ve OMH sonuçlara göre, geliştirilen modellere girdi olarak verilen test verilerinin koordinat değer sonuçları, hesaplanan koordinat verileri ile önemli ölçüde yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, ÇKAYSA’nın iyi şekilde geliştirildiğini göstermektedir. Test aşaması için hesaplanan ve tahmin edilen koordinatların grafiksel gösterimi Şekil 6’da verilmiştir.

**Tablo 2.** ÇKAYSA modellerinin için test aşaması sonuçları

Aşama	Ölçüt	X	Y	Z
Test	KOH (cm)	0.9411	0.8420	0.4536
	OMH (cm)	0.8165	0.6102	0.3883
	R <sup>2</sup>	0.9999	0.9999	0.9999



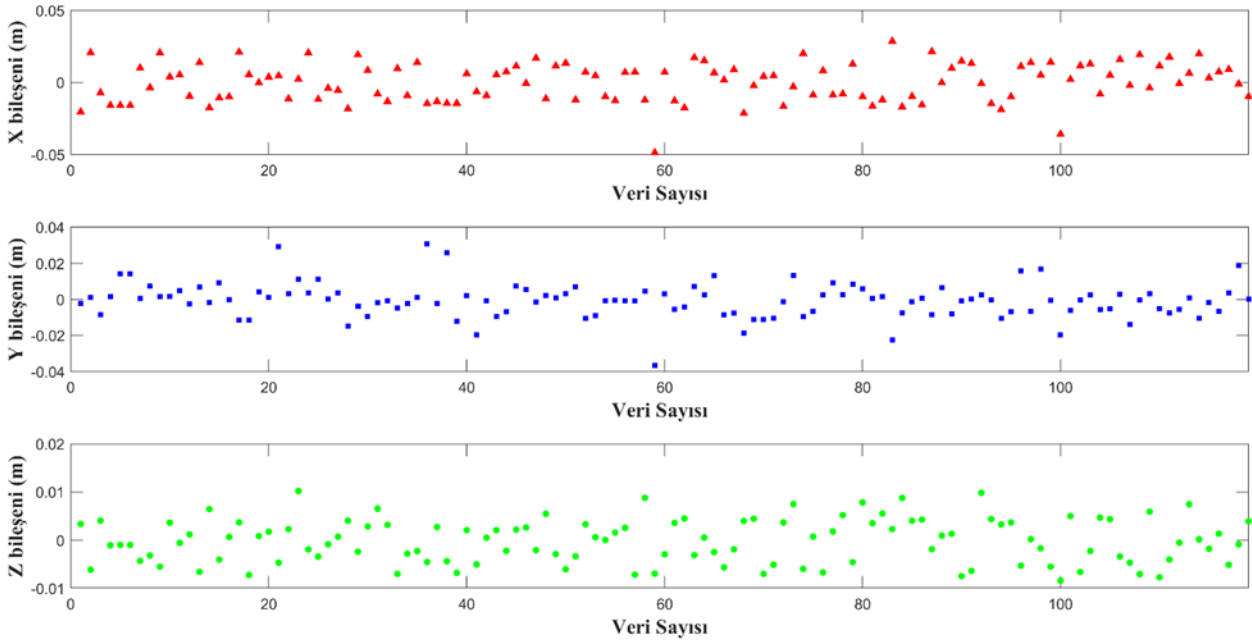
**Şekil 6.** Test veri için tahmin ve hesaplanan koordinat değerlerinin dağılım diyagramları

Ayrıca test verilerine dayalı ÇKAYSA tahminlerinin yeterliliği R<sup>2</sup> ölçütü kullanılarak da tespit edilmiştir. R<sup>2</sup> sonuçlarına göre, geliştirilen tüm ÇKAYSA modellerinde 1’e yakın değerler verdiği açıktır. Bu durum, test verilerinin kullanılarak yapılan tahmin sonucu elde edilen koordinatların hesaplanan koordinatları ile oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Test aşaması için düşük KOH ve OMH ve yüksek R<sup>2</sup> değerinin elde edilmesi ÇKAYSA’nın jeodezik elipsoidal koordinatların 3B global kartezyen koordinatlara dönüşümünde kullanılabileceğini göstermiştir.

Test aşamasında da koordinat farkları, tahmin edilen koordinatlara karşılık gelen hesaplanan koordinatlarından çıkararak hesaplanmıştır. Şekil 7 tüm bileşenler için geliştirilen modelleri kullanıldığında, test veri noktalarına göre fark değişimlerini göstermektedir.

Şekil 7 incelendiğinde fark değerlerinin az sayıda veri hariç sıfır değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durumdan yola çıkacak olursak kurulan modelin test sonuçlarının da yeterli hassasiyete sahip olduğu sonucuna varılmıştır.





Şekil 7. Test verileri için hesaplanan fark değerleri

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

Jeodezik elipsoidal koordinatlardan ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) 3B global kartezyen koordinatlara ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) dönüşüm işlemi jeodezide oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu dönüşüm işlemi matematiksel olarak tek bir yöntem ile yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmanın amacı, çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (ÇKAYSA)'nın bilinen klasik dönüşüm yöntemine alternatif olarak kullanılabilirliğini araştırmaktır. Dönüşüm işlemi için, 594 noktalı TUTGA koordinat verisi kullanılmıştır. Bu kapsamda, oluşturulan ÇKAYSA'nda girdi verisi olarak jeodezik elipsoidal koordinatlar ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), çıktı verisi olarak her bir 3B global kartezyen koordinatı ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) YSA modeline tanıtılmıştır. Her bir bileşen için uygun ÇKAYSA modeli bulunmuştur. Daha önce Ziggah vd. (2016b) girdi verisi olarak enlem ( $\varphi$ ), boylam ( $\lambda$ ), yükseklik ( $h$ ), ana eğrilik yarıçapı ( $N$ ) ve birinci merkez dışılığı karesi ( $e^2$ ) kullanılarak modelleme yapmışlardır. Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanarak yaptıkları çalışmada bir gizli katman yeterli hassasiyete ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise Bayesian Regulation eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan iki gizli katmanlı dönüşüm modelleri yeterli derecede sonuç vermiştir. Yapılan çok sayıda deneme sonucunda, en düşük KOH, OMH ve en büyük  $R^2$  değerlerine bakılarak modellerin  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  bileşenleri için sırasıyla [3-5-5-1], [3-10-10-1] ve [3-10-10-1] mimarisine sahip ÇKAYSA modeli olduğu görülmüş ve bu modeller yardımıyla jeodezik elipsoidal koordinatlardan 3B global kartezyen koordinatlara dönüşüm hesabı

gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde tüm bileşenler için KOH ve OMH hataların 1 cm'nin altında kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, tüm bileşenler için  $R^2$  değeri 1'e çok yakın çıkmıştır. İstatistiksel kriterlere ek olarak tahmin ile hesaplanan koordinat değerleri arasındaki farklara göre çoğu farkın sifira yakın olduğu tespit edilmiştir. Tüm sonuçlara göre ÇKAYSA'nın jeodezik elipsoidal koordinatlardan ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) 3B global kartezyen koordinatlara ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) dönüşüm işlemi için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilirliği çıkarımı yapılabilir. Ziggah vd. (2016) ve bu çalışma arasındaki fark veri setine veya farklı girdi verisinin kullanımı olabilir. Aynı veri seti ile radyal temelli fonksiyon yapay sinir ağı (RTFYSA) ve genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı (GRYSA) gibi farklı YSA modelleri de kullanılıp, ÇKAYSA ile performans karşılaştırması yapılabilir. Bu çalışmanın jeodezide yapılan YSA uygulamalarına ek bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Yazar, makalenin son şeklini almasındaki değerli katkıları için üç hakeme teşekkür eder.

## Kaynaklar

Cakir, L. ve Konakoglu, B., 2019. The Impact of Data Normalization on 2D Coordinate Transformation Using GRNN. Geodetski Vestnik, 63(4), 541-553. doi: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.541-553.

- Elshambaky, H.T., Kaloop, M.R. ve Hu, J.W., 2018. A Novel Three-direction Datum Transformation of Geodetic Coordinates for Egypt Using Artificial Neural Network Approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(6), 110. doi: 10.1007/s12517-018-3441-6.
- Gullu, M., 2010. Coordinate Transformation by Radial Basis Function Neural Network. *Scientific Research and Essays*, 5, 3141-3146.
- Haykin, S., 2009. *Neural Networks and Learning Machines*. NJ: Pearson Education Inc.
- Heiskanen, W.A. ve Moritz, H., 1967. *Physical geodesy*: San Fransisco, USA, W.H. Freeman and Company, 364p.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. ve White, H., 1989. Multilayer Feedforward Networks Are Universal Approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359-366. doi: 10.1016/0893-6080(89)90020-8.
- Kisi, O. ve Alizamir, M., 2018. Modelling Reference Evapotranspiration Using a New Wavelet Conjunction Heuristic Method: Wavelet Extreme Learning Machine vs Wavelet Neural Networks. *Agricultural and Forest Meteorology* 263: 41-48. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.08.007.
- Kisi, O., Alizamir, M. ve Zounemat-Kermani, M., 2017. Modeling Groundwater Fluctuations by Three Different Evolutionary Neural Network Techniques Using Hydroclimatic Data. *Natural Hazards*, 87(1), 367-381. doi: 10.1007/s11069-017-2767-9.
- Konakoglu, B., Cakır, L. ve Gökalp, E., 2016. 2D Coordinate Transformation Using Artificial Neural Networks. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 42, 183-186. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-183-2016.
- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2016. A Study on 2D Similarity Transformation Using Multilayer Perceptron Neural Networks and a Performance Comparison with Conventional and Robust Outlier Detection Methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 21(4), 324-332.
- Lin, L.S. ve Wang, Y.J., 2006. A Study on Cadastral Coordinate Transformation Using Artificial Neural Network, 27<sup>th</sup> Asian conference on remote sensing, Ekim 2006, Ulaanbaatar, Mongolia.
- MacKay, D.J., 1992. Bayesian Interpolation. *Neural computation*, 4(3), 415-447.
- Tierra, A. ve Romero, R., 2014. Planes Coordinates Transformation Between PSAD56 to SIRGAS Using a Multilayer Artificial Neural Network. *Geodesy and Cartography*, 63(2), 199-209. doi: 10.2478/geocart-2014-0014.
- Tierra, A., Dalazoana, R. ve De Freitas, S., 2008. Using An Artificial Neural Network to Improve The Transformation of Coordinates Between Classical Geodetic Reference Frames. *Computers and Geosciences*, 34(3), 181-189. doi: 10.1016/j.cageo.2007.03.011.
- Turgut, B., 2010. A Back-propagation Artificial Neural Network Approach for Three Dimensional Coordinate Transformation. *Scientific Research and Essays*, 5(21), 3330-3335.
- Üstün, A., 1996. *Datum Dönüşümleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul*, 85s.
- Yıldırım, F., Kaya, A. ve Kaplan, Y., 2011. Jeodezik Dik ve Coğrafi Koordinat Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Harita Dergisi*, 146, 1-7.
- Zaletnyik, P., 2004. Coordinate Transformation with Neural Networks and with Polynomials in Hungary, *International symposium on modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields*, Sofia, Bulgaria, s.471-479.
- Ziggah, Y.Y., Youjian, H., Tierra, A.R. ve Laari, P.B., 2019. Coordinate Transformation Between Global and Local Data Based on Artificial Neural Network with K-Fold Cross-Validation in Ghana. *Earth Sciences Research Journal*, 23(1), 67-77. doi: 10.15446/esrj.v23n1.63860.
- Ziggah, Y.Y., Youjian, H., Tierra, A., Konaté, A.A. ve Hui, Z., 2016a. Performance Evaluation of Artificial Neural Networks for Planimetric Coordinate Transformation—a Case Study, Ghana. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(17), 698. doi: 10.1007/s12517-016-2729-7.
- Ziggah, Y.Y., Youjian, H., Yu, X. ve Basommi, L.P., 2016b. Capability of Artificial Neural Network for Forward Conversion of Geodetic Coordinates ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) to Cartesian Coordinates ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). *Mathematical Geosciences*, 48(6), 687-721. doi: 10.1007/s11004-016-9638-x.

## Mobil Uygulamaların Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi

### *Performance Evaluation of Mobile Applications with Data Envelopment Analysis*

Aliye Ayça SUPÇİLLER\*<sup>1,a</sup>, Muhammet Enis BULAK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli

<sup>2</sup>Üsküdar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34662, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 18.09.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 02.06.2020

#### Öz

Performans değerlendirmesi işletmelerin operasyonlarını etkin ve verimli bir şekilde sürdürebilmeleri için önemli bir kavramdır. Özellikle çok sayıda girdi ve çıktının bulunması halinde karar verme birimlerinin etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan yöntemlerden biri veri zarflama analizidir (VZA). Bu çalışmada, VZA yöntemi ile mobil kullanıcılar tarafından sıkça kullanılan uygulamaların verimlilik ve etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, VZA için mobil uygulamalarda girdi ve çıktı olabilecek ortak değişkenler tespit edilmiş ve değişkenlerin tanımlamaları yapılarak ölçüm modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model doğrultusunda çıktı odaklı CCR yaklaşımı ile uygulamaların göreceli etkinlik puanları hesaplanmıştır. Sonuçlar doğrultusunda etkin olmayan mobil uygulamalar analiz edilerek gerekli iyileştirmeler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Mobil Uygulamalar, Performans Ölçümü, Verimlilik, Veri Zarflama Analizi

#### Abstract

Performance evaluation is an important concept for companies to sustain their operations effectively and efficiently. Data envelopment analysis is one of the methods used to measure the effectiveness of decision-making units, especially if there are many inputs and outputs. In this study, efficiency analysis of the mobile applications is performed with data envelopment analysis (DEA). Firstly, common variables that can be input and output for DEA in mobile applications have been identified and the measurement model has been developed by defining the variables. Based on this model, the relative efficiency scores of the applications were calculated with the output oriented CCR approach. According to the results, inefficient mobile applications were analyzed, and necessary improvements are presented.

**Keywords:** Mobile Applications, Performance Measurement, Efficiency, Data Envelopment Analysis

\*a Aliye Ayça SUPÇİLLER; asupciller@pau.edu.tr; Tel: (0258) 296 31 36; orcid.org/0000-0001-5234-8234

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-3784-7830

## 1. Giriş

Akıllı telefonlar ve tabletler gibi mobil cihazlar günlük yaşamın birçok alanında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda, küresel mobil kullanıcılarının yarısından fazlasında internete erişmek için mobil cihazlar birincil yöntem haline gelmiştir. Diğer taraftan akıllı telefonların kullanımının hızla artan bir oranda benimsenmesi mobil uygulamaların sayısını, popüleritesini ve kullanımını çarpıcı biçimde arttırmaktadır (Guo vd., 2019). Mobil uygulamalar akıllı telefon, tablet, dizüstü bilgisayar ve mobil cihazlarda çalışması amaçlanan ve içeriksel bilgi girdisini almak için kullanılan yazılım uygulamalarıdır (Kaur ve Kaur, 2019). Mobil uygulamalar, çeşitli iş alanlarının ortak bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Oyunlar gibi boş zamanı eğlenceli geçirmeyi sağlayan basit uygulamalardan, güvenlik açısından kritik etki alanındaki tıbbi uygulamalara kadar çeşitlilik göstermektedir. Jabangwe vd.'ne (2018) göre, mobil uygulama piyasası oldukça rekabetçi bir seviyede olup trilyon dolar değerindeki mobil cihaz pazarına önemli katkılar sağlamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Android ve iPhone kullanıcıları, mobil uygulamaları kullanarak ayda yaklaşık 30 saat harcamakta ve ortalama olarak ayda 26.8 uygulama kullanmaktadır (Hwang vd., 2019). Mobil uygulamaların popülerliği hızla artmaya devam ederken, bireysel bir uygulamanın potansiyelini değerlendirmek zorlaşmaktadır. Pazar araştırmaları, uygulamaları indirme kararlarında, genel derecelendirme ve kullanıcı incelemelerinin kilit faktörler olduğunu göstermiştir (Sigg vd., 2019). Ancak tek bir değişken veya ölçü ile performanslarını ölçmek mümkün değildir. Sadece birkaç oran, uygulamaların durumlarını yansıtsa da genel performansı ölçmek için yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, uygulamanın tüm performansını yansıttığı girdi ve çıktı kümelerini ağırlıklandırmak suretiyle birleştirmek gereklidir.

Sistem performanslarını ölçmekte faydalanan metodlardan birisi etkinlik analizidir. Etkinlik analizi ile mal ya da hizmet üretimindeki girdilerin yani kaynakların ne derece etkin ve verimli kullanıldığı analiz edilmektedir. Parametrik olmayan etkinlik analiz yöntemi olarak en çok kullanılan yöntem ise Veri Zarflama Analizi (VZA)'dir (Bakırcı, 2006). VZA yönteminde, modellerin kullanımıyla, sistemlerin "toplam etkinlik", "teknik etkinlik" ve "ölçek

etkinlik" gibi göstergeleri hesaplanabilmektedir (Özden, 2008).

Bu çalışma mobil uygulamaların etkinliğini VZA yöntemiyle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın devamında literatür araştırması, üçüncü bölümünde VZA ile ilgili genel bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde mobil uygulamaların etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan performans kriterleri, girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmiştir. Tanımlanan bu girdi ve çıktı değişkenleriyle mobil uygulamaların etkinliğini ölçen model geliştirilmiş ve bu model ile 21 farklı uygulamanın göreceli etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde analiz ve bulgular sunulmuştur. Ayrıca, etkin olmayan uygulamaların etkin olabilmeleri için ulaşmaları gereken hedef değerler belirlenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ile ilgili yorumlar aktarılmış, tavsiye ve ileriye dönük yapılacak araştırmalar hakkında değerlendirmeler verilmiştir.

## 2. Literatür

VZA, hizmet sektörü için de oldukça kullanılan bir araçtır. Xing vd. (2013) tarafından hizmet sektörü hakkında yapılan literatür taraması çalışmasında, VZA'nın taşıma, sağlık, perakende ve finans sektöründe performans geliştirme için kullanılan başlıca Yöneyim Araştırması tekniklerinden olduğunu belirtilmiştir. Petersen (2011), yazılım verimliliğini ölçme ve tahmin etme için yaptığı literatür taramasında, VZA'nın yazılım projelerinin etkinliğini ölçmek ve çok değişkenli analize olanak sağlamak için kullanılan güçlü bir yöntem olduğunu vurgulamıştır. Storto (2013) çalışmasında bilgisayar ekipmanı, müzik CD'si, CD, DVD ve kitap gibi ürünlerini çevrimiçi satan 52 web sitesini karşılaştırmak için VZA yöntemini uygulamıştır.

Ancak mobil uygulama alanında VZA ile yapılan çalışmalar çok azdır. Chatzigeorgiou ve Stiakakis (2011) kütüphane ve uygulama yazılımlarını VZA yöntemiyle karşılaştırmıştır. Önerilen yaklaşım 22 açık kaynaklı uygulamaya ve 22 açık kaynaklı kütüphaneye uygulanmıştır. VZA sonuçları, analiz edilen tasarımları genel verimliliklerine göre sınıflandırmaya ve hangi yönlerin iyileştirilebileceği ile ne ölçüde geliştirilebileceğini belirlemeye olanak tanımıştır. Her ne kadar yaklaşım küçük bir ölçüm kümesiyle sınırlı olsa da nesneye yönelik tasarımları karşılaştırmak için VZA yönteminin kullanılabilir olduğu görülmüştür.

### 3. Veri Zarflama Analizi

VZA, çoklu girdi ve çıktılara sahip karar birimlerinin verimliliğini değerlendirmek için dinamik kolektif karşılaştırmalı sonuçlar sağlayan doğrusal bir programlama tekniğidir. VZA tekniği ilk olarak 1978'de Charnes vd. tarafından Farrell'in 1957'de yapmış olduğu üretken verimliliğin ölçülmesine dayanan seminer çalışması üzerine kurulmuştur (Farrell, 1957; Charnes vd., 1978, 1994). 1978'den günümüze, VZA ile ilgili hem teorik hem de uygulamada etkileyici gelişmeler yaşanmıştır (Cook ve Seiford, 2009). Bu nedenle de VZA hakkında farklı amaçlar için hazırlanan literatür çalışmaları mevcuttur (Liu vd., 2016). VZA, birçok araştırmacının dikkatini çeken, karar verme birimlerinin (KVB) göreceli verimliliğini ölçen ve avantajlarından dolayı geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığı sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

VZA'da, yapılacak olan çalışmanın amacına ve kapsamına göre değişkenlik gösteren birçok spesifik model seçeneği bulunmaktadır (Cook ve Seiford, 2009). Bunlardan en çok kullanılanları ve geleneksel olan yöntemlerden ikisi CCR ve BCC modelleridir. Eğer KVB'lerin toplam etkinliklerine ulaşmak isteniyorsa ve ölçüğe göre sabit getiri sonucu üreteceği varsayımı bulunuyorsa CCR veya yönelimsiz modeller kullanılmaktadır. Diğer taraftan KVB'lerin teknik etkinlikleri değerlendirilmek isteniyorsa ve ölçüğe göre değişken getiri sonucu üreteceği varsayımı bulunuyorsa BCC modelinin kullanılması tercih edilmektedir (Özden, 2008). VZA modelinin doğru olarak tanımlanması KVB'lerin etkinliklerinin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

VZA'nın en temel modellerinden biri, 1978'de Charnes, Cooper and Rhodes tarafından önerilen CCR modelidir (Cooper vd., 2007). CCR modelinde amaç, KVB'ler için, çıktı değerlerini girdi değerlerine göre maksimize etmektir ve ölçüğe göre sabit getiri esasına göre değerlendirme yapar. Literatürde sıklıkla kullanılan modellerden biri olan CCR modeli birden fazla girdi ve çıktıyı tek bir sonuç altında toplayabilen bir yapıya sahiptir. Spesifik olarak belirlenen KVB için çoklu fonksiyon yapısıyla beraber bir etkinlik sonucu üretmektedir. Bu modele göre, girdide yapılan bir birimlik değişim çıktıda bir birimlik değişime neden olmaktadır (Charnes vd., 1978).

Bir diğer temel model, ölçüğe göre değişken getiri esasına göre değerlendirme yapan ve Banker,

Charnes ve Cooper tarafından önerilen BCC modelidir. BCC modeli daha esnek bir model olup ölçüğe göre değişken sonuçlar oluşturmaktadır (Banker vd., 1984). Bu model CCR modeline konvekslik kısıtının eklenmesi ile oluşturulmuştur. Bu kısıt BCC modelindeki etkinlik sınırının, karar birimlerini birbirlerine daha yakın ve sıkı bir şekilde zarflamasını sağlamaktadır. Bu nedenle bir karar verme biriminin BCC'de etkin olması CCR modeline göre daha kolay ve olasıdır (Romana ve Guerrini, 2011). Dolayısıyla CCR modelinde etkin olarak elde edilen bir karar verme birimi BCC modelinde de etkindir. Fakat BCC modelinde etkin olan bir karar verme biriminin CCR'da etkin olması her durum için mümkün olmamaktadır. Ayrıca diğer modellerinde etkin sınırlarının konumları sebebiyle etkin bir sonuç elde edilmesi yüksek orandadır. Bu da kurulan modelin güvenilirliğinin sorgulanmasına sebep olur. CCR modeli VZA modelleri içerisinde gerçekçi sonuçlar üreterek en hassas etkinlik ölçümü gerçekleştirdiği (Lombardi vd., 2019) için bu çalışmada CCR modeli tercih edilmiştir.

VZA ile etkinliği ölçülen KVB'ler, girdileri çıktılara dönüştüren, performansı değerlendirilmekte olan birimlerdir (Özdemir ve Demireli, 2013). VZA için KVB'ler yeterli sayıda olmalıdır. Cooper vd., (2007) serbestlik derecesi nedeniyle, KVB sayısının girdi ve çıktı sayısının en az iki katı kadar ya da girdi sayısı  $m$ , çıktı sayısı  $s$ , KVB sayısı da  $n$  olmak üzere  $n \geq \max\{m \times s, 3(m+s)\}$  şeklinde olmasını önermiştir (Cooper vd., 2007).

VZA, her birim için bir etkinlik puanı sağlarken elde edilen etkinlik puanları arasında karşılaştırmayı gerçekleştirmektedir. Etkin birimlerin verimli sınır elde edeceği ve etkin olmayan elemanların referans sınır kümeleriyle sarılacağı, emsal grubu karşılaştırmasına dayanmaktadır (Cooper vd., 2007). Verimlilik oranı genel bir biçimde aşağıdaki formülle belirlenmektedir:

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı Değerleri}}{\text{Girdi Değerleri}} \quad (1)$$

Literatüre göre, herhangi bir özellikli birime ait etkinlik skoru 1'den büyük olamaz, dolayısıyla 1'e eşit veya küçük olmalıdır. KVB'lerin göreceli etkinlikleri 0 ile 1 arasındaki değerlerle gösterilmektedir. Bunun dışındakiler göreceli olarak etkin olmayan KVB'lerdir (Cooper vd., 2007).

$$\frac{\text{Çıktı Değerleri}}{\text{Girdi Değerleri}} \leq 1 \quad (2)$$

Bu formülün lineer faza geçişi şu şekildedir:

$$\text{çıktı değerleri} \leq \text{girdi değerleri} \quad (3)$$

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m b_{ih} y_{ih} \quad h = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

$m = \text{çıktı değişkenleri sayısı}$

$k = \text{karar verme birimleri sayısı}$

Öyle ki;

$$\sum_{i=1}^n a_{ih} x_{ih} \quad h = 1, 2, \dots, k$$

$n = \text{girdi değişkenleri sayısı}$

$$\sum_{i=1}^n (\sum_{i=1}^n a_{ih} x_{ih} - \sum_{i=1}^m b_{ih} y_{ih}) \leq 0 \quad (5)$$

$Z = \text{Etkinlik Skoru}$

$x_{ih} = \text{Karar verme birimi } h \text{ için } i \text{'nin gözlemlenen girdi değeri}$

$y_{ih} = \text{Karar verme birimi } h \text{ için } i \text{'nin gözlemlenen çıktı değeri}$

$a_{ih}, b_{ih} = \text{Karar verme birimi } h \text{ için girdi ve çıktı ağırlık değerleri}$

Geleneksel VZA modelleri girdi odaklı ve çıktı odaklı iki gruba ayrılmaktadır. Eğer girdiler için kontrol az ise (ya da yoksa) çıktı odaklı, çıktılar üzerinde kontrol azsa (ya da yoksa) girdi odaklı bir model kurulmalıdır. Girdi odaklı modelde etkin olmayan birimlerin etkin olabilmesi için çıktı değerleri korunurken girdiler oransal olarak azalmaktadır. Diğer taraftan, çıktı odaklı modelde etkin olmayan birimlerin verimli hale gelebilmesi için girdi değerleri sabit kalırken çıktı değerleri maksimize edilmeye çalışılır (Özden, 2008).

VZA yönteminin temel aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir (Özdemir ve Demireli, 2013):

1. Karar birimlerinin belirlenmesi,
2. Girdi ve çıktı faktörlerinin belirlenmesi
3. Faktörlere ait verilerin elde edilmesi,
4. Modelin kurulması ve etkinlik ölçümü
5. Sonuçların değerlendirilmesi.

#### 4. Uygulama

Bu bölümde öncelikle çalışmada yer alan KVB'ler olan mobil uygulamalar belirlenmiştir. Daha sonra VZA'da kullanılan girdi ve çıktı faktörleri belirlenerek bu faktörlere ilişkin verilerin elde edilmesi aşaması anlatılmıştır. Bir sonraki

aşamada modelin kurulması verilmiş ve etkinlik ölçümü yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### 4.1. Karar Birimlerinin Belirlenmesi

Çalışmada 3 girdi ve 3 çıktı kullanılmış ve üçüncü bölümde verilen formülden en az 18 adet KVB kullanılması gerektiği çıkmıştır. Bu nedenle Apple Store ve Google Play uygulama mağazalarında en çok kullanılan 21 adet mobil uygulama KVB olarak seçilmiştir.

#### 4.2. Girdi ve Çıktı Faktörlerinin Belirlenmesi

Belirlenen girdi-çıktı değişkenleri, mobil uygulama firmalarının hizmet süreçlerini iyi bir şekilde temsil etmelidir. Bu nedenle çalışmada kullanılan girdiler kullanıcı arayüzü, uygulamanın kapladığı alan ve uygulamada geçirilen süre; çıktılar ise ciro, indirme sayısı ve görünürlüktür. Bilgiye kolayca ulaşılan günümüz dünyasında, karışık ve sıkıcı aşamaları içeren uygulamalar yerine yalın, anlaşılması kolay ve "kullanıcı dostu" uygulamalar geliştirebilmek, kullanıcıların etkileşimini arttırmada oldukça fazla önem taşımaktadır. Bu nedenle kullanıcı arayüzü tasarımı mobil uygulamalarda kritik bir faktör olarak görülmektedir. Uygulamada geçirilen süre ve uygulamanın kapladığı alan da kullanıcılar için oldukça önemlidir. Giro, indirme sayısı, görünürlük, uygulamalar üzerinde başarıyı belirleyen finansal ve finansal olmayan faktörlerdir ve mobil uygulama analizi yapan şirketler tarafından da sıkça kullanılan performans ölçütleridir. Aşağıdaki kısımda da belirlenen girdi-çıktı değişkenlerinin detaylı tanımlarından verilmiştir.

##### 4.2.1. Girdiler

**Kullanıcı Arayüzü:** Mobil cihazlar için kullanıcı arayüzleriyle ilgili teknolojileri açıklamaktadır. Kullanıcı arayüzü tasarımı mobil uygulamaların en önemli noktasıdır. Bu nedenle uygulamaların kullanılma amaçları ve özellikleri teknik tasarımdan çok önce iyice düşünülmelidir. Kullanıcı arayüzlerinin kullanılabilir olması istenmektedir. Kullanılabilirlik, kullanıcı arayüzlerinin kullanımının ne kadar kolay olduğunu değerlendiren bir kalite özelliğidir. Ayrıca arayüzün kullanıcının istediğini hızlı ve doğal bir şekilde yapması yani işlevselliği de oldukça önemlidir. Kullanıcının verimli ve çabuk bir şekilde uygulamayı kullanabilmesi, uygulamayı kolayca öğrenmesi, kullanım memnuniyeti ve beklentilerinin karşılanması arayüzün başarısını göstermektedir. Tüm bunlar,



uygulamanın kullanıcılar tarafından kullanımının devam edip etmeyeceğini belirlemektedir (Namlı, 2010; Nayebe vd., 2012; Nielsen, 2012).

**Uygulamada Geçirilen Süre:** Mobil telefon kullanıcılarının sahip oldukları mobil telefonlardaki uygulamada harcadığı zamandır. Günlük, haftalık ve aylık olarak ne kadar süre harcadıklarını öğrenmek için mobil telefonun ayarlar kısmından kolayca ulaşılabilmektedir (Özkoçak, 2016).

**Uygulamaların Kapladıkları Alan:** Uygulamaları geliştirilebilmesi için cihazların yeterli kapasiteye sahip olmaları gereklidir. Ancak mobil cihazlar bu yönden kısıtlı özelliklere sahiptir (Kes ve Kara, 2015). Buna rağmen ihtiyaç duyulan kullanım koşulları rahatlıkla sağlanabilmektedir. Verinin kullanılma şekli hafızada nasıl yer aldığı, tavan yaptığı yerlerde sistemin davranışı ve uygulamanın veriyi nasıl yerleştirdiği ile ilgilidir. Bu nedenle, veri yapıları ve kullanılan hafıza daima dikkate alınmalıdır (Namlı, 2010).

#### 4.2.2. Çıktılar

**İndirme Sayısı:** İnternette bulunan her türlü veri dosyasını bir bilgisayara ya da telefona transfer etme işlemidir. Yaygın kullanılan İngilizce karşılığına “download” adı verilmektedir. Bu

veriler bilgisayara indirilmediği durumlarda, veriyi bilgisayarda ya da telefonunda görüntüleme işlemi esnasında da bir indirme işlemi gerçekleştirilmektedir (Mobilike, 2014).

**Ciro:** KVB tarafından günlük, haftalık, aylık veya yıllık şeklinde belirli bir zaman dilimi boyunca gerçekleştirilen faaliyetlerden elde edilen brüt gelir veya hasılat olup finansal analizlerde kullanılmaktadır (Candeğer, 2017).

**Görünürlük:** Bir kuruluş ya da uygulamanın internet üzerindeki görünürlüğünü ölçmek oldukça zordur. Öncelikle, internetin merkezi ve hiyerarşik bir yapısı olmadığı için bu şekilde bir bilgi halihazırda yoktur. Ancak böyle bir bilgiye olabildiğince nesnel bir şekilde ulaşılmalıdır. İnternetteki görünürlük, yaygın kullanıcı tabanına sahip bir arama motorunun ilgili siteyi kaç arama sonucu döndürdüğü ile belirlenebilmektedir (Schmidbauer vd., 2007).

#### 4.3. Faktörlere İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

VZA yöntemi kullanılarak mobil uygulama alanında yapılan çalışmalarda kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri incelenmiştir. Uygulamada 3 adet girdi ve 3 adet çıktı mobil uygulama etkinliğini yükseltme kriterlerine göre belirlenmiş olup veriler Tablo 1’de belirtilen sitelerden ve yapılan anket sonucu elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Girdi ve çıktı değişkenleri

<b>Girdi</b>	<b>Tanımlama</b>
Kullanıcı Arayüzü	Yapılan anket sonucunda alınan verilerden oluşturulmuştur.
Uygulamada Geçirilen Süre	Yapılan anket sonucunda alınan verilerden oluşturulmuştur.
Uygulamaların Kapladıkları Alan	2019 Apple Store'daki verilerden alınmıştır.
<b>Çıktı</b>	<b>Tanımlama</b>
İndirme Sayısı	2019 Şubat ayı verileri Mobileaction sitesinden alınmıştır.
Ciro	2019 Şubat ayı verileri Mobileaction sitesinden alınmıştır.
Görünürlük	2019 Şubat ayı verileri Mobileaction sitesinden alınmıştır.

Bu çalışmada 21 adet KVB bulunmaktadır. Yasal nedenlerle uygulamaların isimleri belirtilmemiş, bunun yerine çalışmada U kodları ile temsil edilmişlerdir. Tablo 2’de KVB’lere ait girdi ve çıktı değişkenleri verilmiştir. Tablodaki kullanıcı arayüzü başlıklı sütunda 100 kişinin değerlendirmiş olduğu anket sonuçları görülmektedir. Kullanıcı arayüzü değerleri, anketi dolduranlar tarafından 1 (çok kötü), 2 (kötü), 3 (orta), 4 (iyi), 5 (çok iyi) olarak değerlendirilmiş ve tüm sonuçların ağırlıklı ortalama puanları yazılmıştır. Bu doğrultuda en yüksek puanı U21

ve en düşük puanı ise U2 mobil uygulamasının aldığı gözlemlenmektedir. Anketin sağlıklı bir şekilde doldurabilmesi için anketi doldurmadan önce katılımcıların telefonlarındaki uygulama analizlerinden harcamış oldukları süreleri göz önünde bulundurmaları istenmiştir. Uygulamada geçirilen süre verileri kullanıcıların akıllı telefonlarındaki geribildirim istatistiklerinden gerçek tam sayı olarak alınmıştır. Anket aracılığıyla kullanıcılara telefonlarındaki bilgileri kontrol ederek verileri girmesi istenmiştir. Dolayısıyla bu değişken için kullanıcıların

haftalık ortalama geçirmiş oldukları süreler saat biriminde alınarak analizde kullanılmıştır. Tablo 2’de sunulan haftalık geçirilen süre verileri ışığında, kullanıcıların vakitlerinin çoğunu U3, U4 ve U8 uygulamalarında harcamış olduğu görülmektedir. Mobil uygulamaların mobil telefonlarda kapladıkları hafızaları, ilgili web sayfalarından bulunmuştur (Apple Store’dan alınmıştır.)

İnternetteki verilere göre 21 mobil uygulamadan en çok indirilen U4 kodlu uygulamadır. En çok

ciroya sahip mobil uygulama aylık 99 milyon dolarla U8 olmuştur. En az ciroya sahip uygulama ise aylık 12 bin dolarla U17’dir. Mobil uygulamalar seçilirken sosyal medyada en popüler olan uygulamaları tercih edilmiştir. Bu yüzden görünürlük puanları ve oranları çok yüksektir. Kullanıcılar, arama motoruna anahtar kelime yazdıklarında ilk sırada bu uygulamalarla karşılaşacaktır. U1 (96), U6 (95), U13 (89), U12 (98), U15 (89) ve U19 (76.5) hariç kalan 15 uygulamanın görünürlük oranları 100’dür.

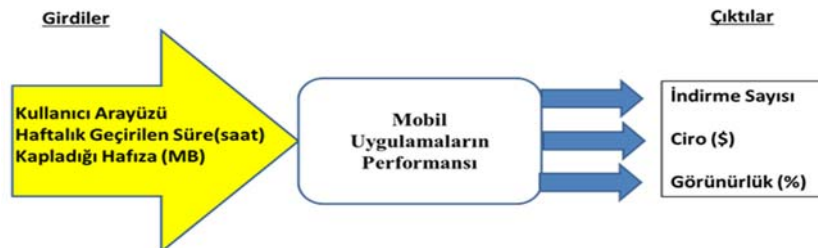
**Tablo 2.** KVB’lere ait girdi-çıkı değişkenleri

Uygulama	Girdiler			Çıktılar		
	Kullanıcı arayüzü	Haftalık geçirilen süre (saat)	Kapladığı alan (MB)	İndirme sayısı	Ciro (\$)	Görünürlük (%)
U1	4.05	2.58	78.10	15,000,000	81,000,000	96
U2	2.88	1.63	270.00	16,000,000	561,000	100
U3	4.29	3.88	90.82	12,000,000	7,000,000	100
U4	4.13	3.76	87.10	30,000,000	15,000,000	100
U5	3.80	2.36	89.10	7,000,000	4,000,000	100
U6	3.82	2.27	109.80	5,000,000	118,000	95
U7	3.47	1.41	56.80	1,351,000	5,000,000	100
U8	4.30	3.51	147.80	17,000,000	99,000,000	100
U9	2.92	1.19	124.00	9,000,000	300,000	100
U10	4.10	1.70	172.70	164,000	115,000	100
U11	3.96	1.34	69.50	311,000	5,000,000	100
U12	3.26	1.20	73.50	269,000	73,000	98
U13	3.42	1.27	83.10	6,000,000	120,000	89
U14	3.02	1.16	166.90	14,000,000	141,000	100
U15	3.95	1.27	56.00	4,000,000	148,000	89
U16	3.29	1.21	92.70	5,000,000	393,000	100
U17	3.67	1.24	59.90	743,000	12,000	100
U18	3.21	2.29	892.00	3,287,000	23,000,000	100
U19	3.43	1.33	149.00	2,925,000	12,000,000	76.5
U20	3.02	1.25	100.80	50,000	27,000	100
U21	4.54	3.05	216.60	1,000,000	2,000,000	100

#### 4.4. Modelin Kurulması ve Etkinlik Ölçümü

Çalışmada incelenen firmaların, çıktıları artırma yetenekleri vardır ve firmalar çıktı

maksimizasyonu odaklı çalışmaktadırlar. Bu nedenle VZA için çıktı maksimizasyonu modeli uygun bulunmuş olup çıktı yönelimli CCR modeli tercih edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Konsept Model

Bu çalışmada Apple Store ve Google Play uygulama mağazalarında en çok kullanılan uygulamaların görece etkinlik skorları, DEA Solver programı ile CCR modelleri yardımıyla hesaplanmıştır. Girdi ve çıktılar, teknik açıdan mümkün ve anlamlı olarak oluşturulmaya çalışılmış, girdilerin istenen çıktıyı karşılayabilecek yeterlilikte olmasına dikkat edilmiştir. Önerilen modelin temel amacı mobil uygulamaların etkin olup olmadığını bulmaktır. Dolayısıyla modelde amaç fonksiyonunun değeri 1'e eşitse, mobil uygulama etkin olarak

tanımlanmakta; eğer bu değer 1'den küçük ise, verimsiz bir uygulama olarak tanımlanmaktadır.

#### 4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi.

Toplanan veriler DEA Solver programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar bulunmuştur. Tablo 3'te değişkenlere ait en az, en çok, ortalama ve standart sapma başlıkları altında açıklamalı istatistik değerleri verilmiştir. Girdi ve çıktı değişkenlerinin arasındaki korelasyon katsayısı (r) değerleri de hesaplanarak Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Girdi/çıkıtı oranlarının istatistikleri

	Kullanıcı arayüzü	Haftalık geçirilen süre (saat)	Kapladıkları alan (MB)	İndirme sayısı	Ciro (\$)	Görünürlük (%)
En çok	4.54	3.88	892	30,000,000	99,000,000	100
En az	2.88	1.16	56	50,000	12,000	76.5
Ortalama	3.644	1.947	151.723	7,147,619	12,143,238	97.309
Standart sapma	0.487	0.896	174.154	7,534,296	26,079,572	5.720

Korelasyon katsayısının negatif olması iki değişken arasında ters ilişki olduğunu göstermektedir ve "değişkenlerden biri artarken diğeri azalmaktadır" şeklinde yorumlanmaktadır. Korelasyon katsayısının pozitif olması durumunda ise "değişkenlerden biri artarken diğeri de artmaktadır" şeklinde yorumu yapılmaktadır. Korelasyon katsayısı 0.2'den küçük ise "çok zayıf ilişki ya da korelasyon yok", 0.2-0.4 arasında ise "zayıf korelasyon", 0.4-0.6 arasında ise "orta şiddette korelasyon", 0.6-0.8 arasında ise "yüksek korelasyon" ve 0.8'den büyük ise "çok yüksek korelasyon" olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Yıldız ve Güneş, 2017). Buna göre kullanıcı arayüzü ile uygulamada geçirilen süre arasında 0.7071 korelasyon katsayısı ile yüksek korelasyon

vardır. Yani kullanıcı arayüzünün kullanılabilirliğinin artması, uygulamada geçirilen süreyi arttıracaktır. Kullanıcı arayüzü ile uygulamaların kapladıkları hafıza arasında -0.2223 korelasyon katsayılı ters ilişki vardır. Buna göre de uygulamanın kapladığı hafıza arttıkça kullanıcı arayüzü daha da karmaşık hale gelecektir. İndirme sayısı ve uygulamaların kapladıkları hafıza arasında -0.0535 korelasyon katsayılı ters ilişki mevcuttur. Uygulamanın kapladığı hafıza ne kadar fazla olursa uygulamanın indirilme sayısı azalmaktadır. Uygulamanın görünürlüğü ile cirosu arasında 0.0243 şeklinde zayıf korelasyon katsayısı vardır. Uygulamanın cirosu ne kadar fazlaysa görünürlüğü de o kadar fazladır.

**Tablo 4.** Girdi ve çıktılarının korelasyon matrisi

	Kullanıcı arayüzü	Haftalık geçirilen süre (saat)	Kapladıkları alan (MB)	İndirme sayısı	Ciro (\$)	Görünürlük (%)
Kullanıcı arayüzü	1	0.7072	-0.2224	0.1402	0.3723	0.0411
Haftalık geçirilen süre	0.7072	1	0.1162	0.5882	0.4973	0.2487
Kapladıkları hafıza	-0.2224	0.1162	1	-0.0535	0.0864	0.1210
İndirme sayısı	0.1402	0.5882	-0.0535	1	0.4304	0.1542
Ciro	0.3723	0.4973	0.0864	0.4304	1	0.0244
Görünürlük	0.0411	0.2487	0.1210	0.1542	0.0244	1

Yapılan analiz sonucunda elde edilen etkinlik puanları Tablo 5'te sunulmuştur. Etkinlik istatistiklerine göre puanların ortalaması 0.936

olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin standart sapması 0.105, maksimum değeri 1 ve minimum değeri ise 0.647 olarak bulunmuştur. Ortalama

değerin yüksek olmasının sebebi KVB'lerinin %50'den fazlasının göreceli olarak verimli bir uygulama olmasından kaynaklanmaktadır. Standart sapma değerinin de 0.105 değerine sahip olması genel etkinlik puanlarının dağılım aralığının dar olmasındandır. Nitekim maksimum ve minimum etkinlik puanı arasında 0.357

değerinde bir fark gözlemlenmektedir. Diğer taraftan ise etkin olmayan firmaların hali hazırda referans kümelerinde ki uygulamalar ile karşılaştırma yapılarak verimli bir uygulamaya gelmeleri için mutlak iyileştirilmeleri gerekmektedir.

**Tablo 5.** KVB'lerin etkinlik puanları

KVB	Etkinlik Skoru	KVB	Etkinlik Skoru	KVB	Etkinlik Skoru
U1	1	U8	1	U15	1
U2	1	U9	1	U16	1
U3	0.842	U10	0.713	U17	1
U4	1	U11	0.983	U18	0.998
U5	0.893	U12	1	U19	0.829
U6	0.792	U13	0.959	U20	1
U7	1	U14	1	U21	0.647

Kıyaslama aşamasında, etkin olmayan her bir karar birimi ayrı ayrı incelenerek, bunların etkin hale gelebilmesi için ne gibi iyileştirmelerin yapılması gerektiği belirlenmektedir. VZA, etkin olmayan KVB'lerin, göreceli olarak etkin KVB'lerin uyguladığı yöntemleri uygulayarak, girdi-çıkıtı değerlerinde yapılabilecek değişiklikler ile etkin KVB'lerle aynı etkinlik düzeyine ulaşabilecekleri varsayımı üzerine kurulmuştur. Kıyaslama için referans kümesi frekanslarına bakılmış ve Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Referans kümesi frekansı

Referans	Diğer KVB'lerindeki sıklık
U1	2
U2	2
U4	3
U7	3
U8	2
U9	6
U14	1
U15	1
U16	2
U17	1
U20	2

Tabloda uygulamaların diğer firmalara örnek olarak gösterildiği sayılar görülmektedir. Örneğin U1 verimli bir mobil uygulamadır. Bu uygulama diğer verimsiz mobil uygulamaların referans setinde 2 defa yer almıştır.

Etkin olmayan uygulamaların referans seti ise Tablo 7'de verilmiştir. U13 uygulaması referans setinde 4 farklı uygulamayla kıyaslama yapılırken U10, U18 ve U19 uygulamalarının referans setinde 2 farklı uygulama görülmektedir.

Etkin olmayan her bir uygulamanın referans setlerindeki uygulamalara ait girdi ve çıktı değerlerine atanan ağırlık değerleriyle çarpılması ve ulaşılan değerlerin toplanmasıyla etkin olmayan her bir uygulamanın optimum girdi ve çıktı değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen optimum girdi ve çıktı değerleri etkin olmayan uygulamanın hedeflenen değeri olarak da tanımlanır.

**Tablo 7.** Etkin olmayan uygulamaların referans seti

Etkin Mobil Uygulama	Olmayan Referans Seti
U3	U4, U7, U9
U5	U4, U7, U9
U6	U7, U9, U20
U10	U9, U20
U11	U1, U16, U17
U13	U4, U9, U15, U16
U18	U2, U8
U19	U1, U14
U21	U2, U8, U9

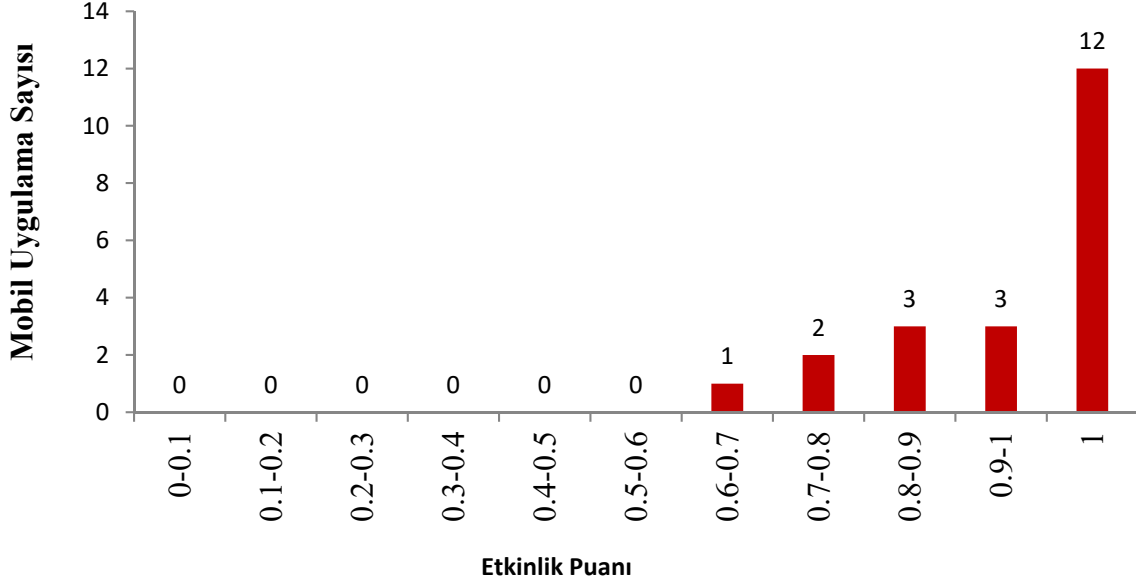
## 5. Analiz ve Bulgular

Önerilen modelde çıktı değerlerini maksimize ederek karar birimlerini verimli seviyeye ulaştırma hedefi doğrultusunda çıktı odaklı CCR

modeli kullanılmıştır. Bu nedenle birçok etkinlik analizinde kullanıldığı gibi DEA Solver programı kullanılarak çıktı odaklı CCR modeli çalıştırılmıştır.

Bütün uygulamaların birlikte analiz edilerek elde edilen etkinlik puanlarına bakıldığında farklı verimlilik alanlarına dağıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 2’de görüldüğü üzere 0.8 etkinlik puanının

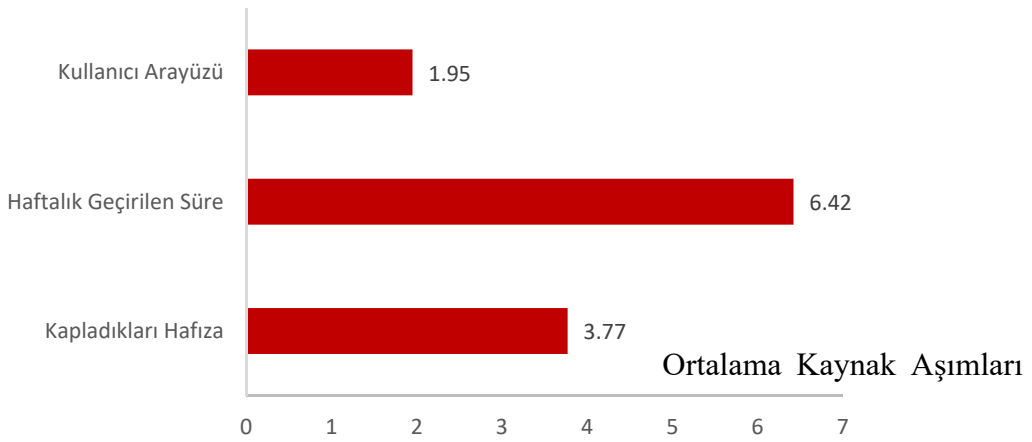
altında 3 uygulama ve 0.9 etkinlik puanının altında 6 uygulama olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 9 uygulamanın etkinlik puanı 1’in altında elde edilmiş ve bu değer aynı zamanda verimsiz uygulama sayısına işaret etmektedir. Diğer taraftan geriye kalan 12 firma ise “1” etkinlik puanını elde ederek tüm uygulamaların içinde göreceli olarak verimli ve etkin uygulama kategorisi içinde yer almışlardır.



Şekil 2. Mobil uygulamaların genel etkinlik analizi

Tüm uygulamaların etkinlik puanları dikkate alındığında KVB'lere ait ağırlıklı ortalama 0.93 olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre 6 uygulama ortalamasının altında etkinlik puanına sahip olmuşlardır. Bunun başlıca nedenlerden biri modelde yer alan çıktı değişkenlerinin özellikle finansal performansı ölçen kriterlerden biri olan

cironun istenilen seviyelerde olmamasındandır. Ayrıca Şekil 3’te görüldüğü gibi toplam olarak 21 uygulamada ortalama %1.95 kullanıcı arayüzü, %3.77 kapladıkları hafıza ve %6.42 haftalık geçirilen süre bazında optimum seviyenin üstü rakamlar gözlemlenmektedir.



Şekil 3. Mobil uygulamaların ortalama kaynak aşımaları

Diğer taraftan indirme sayısı, ciro ve görünürlük puanındaki düşük değerler çıktı seviyelerinin yetersizliğine ve dolayısıyla verimsizliğe neden olmuştur. Bu nedenle uygulamalar verimli hale gelebilmek için genel olarak indirme sayılarını %18.91, cirolarını %14.35 ve son olarak görünürlüklerini %8.48 seviyesinde arttırmaları gerekmektedir. Analitik açıdan bakıldığında verimsiz firmaların başarıya ulaşabilmeleri için girdi ve çıktı değerleri dikkate alınmalı ve yapılacak iyileştirmeler veriler üzerinden değerlendirilmelidir. Örneğin, 0.64 etkinlik puanına sahip olan en verimsiz uygulamaya ait optimum kaynak seviyesi ve çıktı eksiklikleri Tablo 8’de verilmiştir.

Kurulan model doğrultusunda çıktı odaklı yapılan analiz öncelikle verimsizliğe neden olan çıktılardaki eksiklikleri bulmaya odaklanmıştır. Daha sonra ise girdi fazlalıkları hesaplanmıştır. Dikkate aldığımız en verimsiz uygulamayı incelediğimizde bu uygulamanın referans kümesinde 3 adet uygulamanın olduğu görülmüştür. Uygulamaların girdi ve çıktı değerlerine atanan ağırlıklar ise sırasıyla 0.16, 0.12 ve 1.35 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla firmanın verimli hale gelebilmesi için kıyaslama yapılan diğer 3 firmanın girdi ve çıktı değerleriyle atanan ağırlıkların çarpılması sonucunda elde edilen değerler toplanır ve firmaya ait optimum girdi-çıkıtı değerleri hesaplanır. Tablo 8’de ulaşılan toplam değerler verimsiz firmaya ait verimli uygulama değerleridir.

**Tablo 8.** En verimsiz uygulamaya ait değişken değerleri

	En verimsiz uygulama	Kaynak Aşımaları (%)	Çıktı Eksiklikleri (%)	Hedef Değer
<b>Girdiler</b>				
Kullanıcı Arayüzü	4.54	-	-	-
Haftalık Geçirilen Süre (saat)	3.05	35.33		1.97
Kapladıkları Hafıza	216.6	-	-	-
<b>Çıktılar</b>				
İndirme Sayısı	1,000,000		52.83	1,528,319
Ciro (\$)	2,000,000		54.47	3,089,443
Görünürlük	100		54	154

Kaynak aşımaları ve çıktı eksiklikleri analiz sonuçlarından belirlenerek Tablo 8’de gösterilmiştir. Verimsiz uygulamaya ait kullanılan model değişkenleri verimli bir birim haline gelinebilmesi için iyileştirilmelidir. Örneğin, kaynak kullanımı açısından, uygulamada haftalık geçirilen süre 3.05 saatten 1.97 saate düşürülmelidir. Çünkü bu değişkene ait %35.33’lük bir seviye aşımı gözlemlenmiştir. Kullanıcılar uygulamaları ilk kullanmaya başladıkları zaman uygulamanın sağladığı özellikler doğrultusunda ilgili uygulamayı daha etkin bir şekilde kullanmaktadır. Fakat programda geçirilen süre arttıkça insanlardaki mental yorgunluk sebebiyle uygulamanın etkinliği ve kullanılabilirlik seviyesi zamanla düşmektedir (Esgin vd., 2011). Buna göre verimsiz olan uygulamalarda geçirilmesi beklenen ideal süreler bazı uygulamalar için düzeltilmiş ve iyileştirilmiştir. Diğer taraftan, bu uygulamaya ait finansal performans kriterlerinden biri olan ciro

miktarı 2,000,000’den 3,089,443’e arttırılmalıdır. Aynı zamanda verimli bir uygulama seviyesi için Tablo 8’de görüldüğü üzere indirme sayısı 1,000,000’den 1,528,319’a yükseltilmeli ve görünürlük seviyesi 100’den 154’e çıkarılmalıdır.

## 6. Değerlendirme

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak tüketicilerin talep ve ihtiyaçlarının değişmesi ve cep telefonu kullanımının artması sonucu meydana gelen mobil devrim, mobil yaşam ve/veya yaşam tarzı, günümüzde önemli bir konu haline gelmiştir. İşletmelerin rekabet üstünlüğü sağlamaları ve faaliyetlerini güvenilir bir şekilde sürdürmeleri için yeni teknolojileri yakından takip etmeleri ve bu değişiklikleri uygulamaları gerekir.

Mobil iletişim teknolojisindeki gelişmeler, cep telefonlarının fonksiyonlarının artması, mobil ticaretin hızlı büyümesi, yaşanan gelişmelerin



işletmelerin ticari faaliyetlerini etkilemesi ve müşterilerin satın alma alışkanlıklarına yeni bir boyut kazandırmasıyla birlikte mobil uygulamaların önemi daha fazla artmıştır. Sanal yaşamın ön plana çıkmasıyla birlikte mobil uygulamalar ürünlerin satış rakamlarını arttırarak pozitif anlamda katkı sağlamakta diğer taraftan ise kullanıcıların hayatında sosyolojik açıdan bazı negatif sonuçlar doğurabilmektedir. Mobil uygulamalar, şu anda oluşturdukları ve gelecekte yapacakları etkiler bakımından olumlu ve olumsuz olarak iki kategoride değerlendirilebilir. Altman (2004) bu yönüyle mobil uygulamaların olumlu ve olumsuz noktalarının özellikle tatil alışkanlıkları ve satın alma davranışları üzerine daha fazla etkilerinin olacağını belirtmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan akıllı telefonlar, tabletler ve diğer dijital ürünler toplumun kendisini modern teknoloji gerekliliklerine göre yeni gelişmelere uyum sağlamalarını gerekli kılmıştır. Bu ürünlerin işlevsel hale gelmesinde mobil uygulamaların etkin bir şekilde kullanımı önemli hale gelmiştir. Artık insanlar çevrimiçi ödemeler yapmakta, sanal organizasyonlar düzenlemekte, yine çevrimiçi toplantılar ve seminerler gerçekleştirmektedir. Bu durumla ilişkili olarak program geliştiriciler ve tasarımcılar daha çok proje ve uygulama geliştirmektedir. Geliştirilen uygulamaların etkinliğinin değerlendirilmesi ise kritik bir hal almıştır. Birçok uygulamanın alternatifi olduğundan kullanışlı bir şekilde geliştirilemeyen ve kullanıcı dostu olmayan uygulamalar kullanıcılar tarafından verimli, etkin ve tatmin edici bulunmadığı takdirde bir daha kullanılmamaktadır. Bu sebeple mobil uygulamaların girdi-çıkıtı bazında etkinliğinin ölçülmesi uygulamanın kullanışlılık derecesinin de değerlendirilmesinde rol oynamaktadır. Etkin bir uygulama diğer ürünlere benzer bir şekilde çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerle uyumlu halde pazarda var olmaya ve büyümeye devam edecektir.

Bu çalışmada akıllı telefonlar ve tabletlerin yaşamımızda sıkça kullanılmasıyla birlikte geliştirilen mobil uygulamaların etkinlik analizi yapılmıştır. Değerlendirmeye alınan mobil uygulamalar günümüzde kullanılan en popüler uygulamalar olup günlük yaşamımızda gerçekleştirmiş olduğumuz görevleri yerine getirmede sıkça kullanılan araçlardır. Seçilen uygulamaların daha etkin bir seviyeye getirilmesi ve performanslarının iyileştirilmesi amacıyla kaynak bazlı değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu doğrultuda çıktı odaklı VZA modeli kullanılarak

mobil uygulamaların göreceli etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmanın yapmış olduğu en önemli katkı ise uygulamaları kullanan kişilerin çalışmaya dahil edilmiş olması ile kullanıcıların değerlendirmelerinin analize dahil edilmesi ve objektif verilerle birleştirilerek bütüncül bir çalışma halinde sunulmasıdır.

Çalışmanın ilk aşamasında 21 farklı mobil uygulamaların etkinlik analizi VZA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, değerlendirilen uygulamaların %57'sinin verimli bir şekilde kaynaklarını kullanarak maksimum çıktılar elde ettiklerini göstermektedir. Konsept olarak "kaynakların verimli kullanılması" sadece çıktılarının maksimum seviyeye getirilmesini değil aynı zamanda kaynakların optimum bir seviyede kullanılarak girdi-çıkıtı dengesini oluşturmayı amaçlar. Diğer taraftan, uygulamaların %29'u ortalama etkinlik puanı olan 0.93 değerinden daha az etkinlik puanına sahiptirler.

Mobil uygulamaların kullanıldığı akıllı telefonlar ve tabletlerin kullanıcıların büyük bir bölümü satın alacağı ürünün kapasitesine bakmaktadır. Geliştirilen uygulamalar eskiye kıyasla daha fazla yer kapladığından akıllı telefonlarda ve tabletlerde saklama alanı problemiyle karşılaşan kullanıcı sayısı daha fazladır. Kapasite oranının ürün fiyatıyla doğru orantılı olduğu dijital ürün endüstrisinde ürünlerin fiyatları ise günden güne artmaktadır. Mobil uygulamaların yanı sıra yüksek çözünürlüklü fotoğraflar ve videolarda saklama alanının kısa sürede dolmasına sebep olmaktadır. Özellikle günümüzde 16 GB ve 32 GB dahili hafızalı ürünlerin kullanıcıları başta mobil uygulamalar olmak üzere birçok veriyi silmek zorunda kalmaktadır. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre de incelenen ürünler ortalama %3.77'lik fazla alan kaplamaktadır. Dolayısıyla mobil uygulamaların sürdürülebilirliğinin sağlanması adına kapladıkları hafıza noktasında iyileştirme yapılması gereklidir. Özellikle uygulama geliştiricilerinin sundukları uygulamanın içeriğinde kullanıcıların gerçekleştirmek istedikleri göreve odaklı özellikleri uygulamaya dahil etmesi daha uygun olacaktır.

Sunulan VZA modeli, etkinlik skorlarını baz alarak bu doğrultuda göreceli kıyaslama yapan ve mobil uygulama verimliliklerini hesaplayan bir modeldir. Teorik olarak girdi değerlerini sabit tutarak çıktı değerlerini arttırmak, mobil uygulamaların verimli bir şekilde performans göstermelerini sağlayabilir ancak gerçek yaşamda pratik olarak bu durumun gerçekleşmesi zaman

alıcı bir süreçtir. Bu doğrultuda, mobil uygulamalara ait performans kriterleri iyice tahlil edilerek etkin bir yönetim şekli benimsenmelidir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sunulan model genişletilerek daha çok girdi-çıkı değişkenleriyle farklı analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca, değerlendirilecek olan mobil uygulama sayısı artırılarak daha çok uygulamanın performansları ölçülebilir ve uygulama geliştiricilere ve tasarımcılara performansın iyileştirilmesi adına yol haritası sunulabilir.

## Kaynaklar

Bakırcı, F., 2006. Sektörel Bazda Bir Etkinlik Ölçümü: VZA ile Bir Analiz. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20(2), 199-217.

Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.

Candeğer, K.C., 2017. Mühendisler ve Ekonomi. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi, Metalurji, 184, 31-35.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E.L., 1978. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research, 2, 429-444.

Charnes, A., Cooper W.W., Lewin, A.Y. ve Seifod, L.M., 1994. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications: Boston, Kluwer Academic Publishers.

Chatzigeorgiou, A. ve Stiakakis, E., 2011. Benchmarking Library and Application Software with Data Envelopment Analysis. Software Quality Journal, 19, 553-578.

Cooka, W.D. ve Seiford, L.M., 2009. Data Envelopment Analysis (DEA). Thirty Years on. European Journal of Operational Research, 192, 1-17.

Cooper, W., Seiford, W., L.M ve Tone, K., 2007. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software: New York, USA, Springer.

Çağıl, G. ve Bahadır, G., 2018. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümlerin Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırmalı Etkinlik Ölçümü. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 10(1), 139-147.

Depren, Ö., 2008. Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi,

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 128s.

Ercan, E. (2015, 7 Nisan). <https://www.stradiji.com/hangisi-daha-karli-mobil-site-vs-mobil-uygulama>.

Esgin, E., Şakar, I.D, Torun, E., Doğan, C. ve Yardım, MS, 2011. İnternet Kullanımının İlköğretim Öğrencilerinin Psiko-Sosyal Gelişimlerine Olumsuz Etkileri. Eğitim Teknolojileri Araştırma Derneği, 3(4), 1681.

Farrell M.J., 1957. The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, 120, 253-290.

Guo B., Ouyang, Y., Guo, T., Cao, L. ve Yu, Z., 2019. Enhancing Mobile App User Understanding and Marketing With Heterogeneous Crowdsourced Data: A Review. IEEE Access, 7, 68557-68571.

Hwang, Y., Lee, D. ve Jung, K., 2019. Mobile App Recommendation with Sequential App Usage Behavior Tracking. Journal of Internet Technology, 20(3), 827-837.

Jabangwe R., Edison, H. ve Duc N.A., 2018. Software Engineering Process Models for Mobile App Development: A Systematic Literature Review. The Journal of Systems & Software, 145, 98-111.

Karakış, E. 2011. Emniyet Güçlerinin Performansını Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirme. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Kaur, A. ve Kaur, K., 2019. Investigation on Test Effort Estimation of Mobile Applications: Systematic Literature Review and Survey. Information and Software Technology, 110, 56-77.

Kes. Y ve Kara, M., 2015. Mobil Oyun Geliştirme Sürecinde Arayüz Tasarımı. Yıldız Journal of Art and Design, 2(2), 18-26.

Liu J.S., Lu, L.Y.Y. ve Lu, W., 2016. Research Fronts in Data Envelopment Analysis. Omega, 58, 33-45.

Lombardi, G.V., Stefani, G., Paci, A., Becagli, C., Miliacca, M., Gastaldi, M., Giannetti, B.F. ve Almeida, C.M.V.B. 2019. The Sustainability of the Italian Water Sector: An Empirical Analysis by DEA. Journal of Cleaner Production, 227(1), 1035-1043.

Mobilike, 2014. MadReport e-Dergisi, Q2, 2014 <https://pdfslide.net/mobile/madreport-q2-2014.html>.

Namlı, Ç., 2010. Mobil Uygulama Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

- Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 122s.
- Nayebi, F., Desharnais, J. ve Abran, A., 2012. The State of the Art of Mobile Application Usability Evaluation. 25<sup>th</sup> IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE).
- Nielsen, J., 2012. Usability 101: Introduction to Usability. Retrieved From, <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability>.
- Özdemir, A. ve Demireli, E., 2013. Ağırlık Kısıtlı Veri Zarflama Analizi ile Mevduat Bankalarının Etkinlik Ölçümüne Yönelik Bir Uygulama. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 9(19), 215-238.
- Özden, Ü.H., 2008. Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 37(2), 167-185.
- Özkoçak Y., 2016. Türkiye'de Akıllı Telefon Kullanıcılarının Oyalanma Amaçlı Tercih Ettikleri Mobil Uygulamalar. Global Media Journal: Turkish Edition, 6(12), 106-130.
- Petersen K., 2011. Measuring and Predicting Software Productivity: A Systematic Map and Review. Information and Software Technology, 53, 317-343.
- Romano, G. ve Guerrini, A. 2011. Measuring and Comparing the Efficiency of Water Utility Companies: A Data Envelopment Analysis Approach. Utilities Policy, 19(3), 202-209.
- Sarı, Z., 2015. Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 84s.
- Sayım, F. ve Aydın, V., 2011. Hizmet Sektörü Özellikleri ve Sistemik Olmayan Risklerin Sektör Menkul Kıymetleri ile Etkileşimine Dair Teorik Bir Çalışma. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 29, 245-262.
- Schmidbauer, H., Gençler, M., Cilingir, C.B., Tunalioglu, V.S., 2007. Sanal Dünyada Varolmak: Üniversite ve İnternet. Akademik Bilişim Kongresi, Kütahya, <https://ab.org.tr/ab07/bildiri/150.pdf>.
- Sigg, S., Lagerspetz, E., Peltonen, E., Nurmi, P. ve Tarkoma S., 2019. Exploiting Usage to Predict Instantaneous App Popularity: Trend Filters and Retention Rates. ACM Transactions on the Web, 13(2), 1-25.
- Storto, C., 2013. Evaluating Ecommerce Websites Cognitive Efficiency: An Integrative Framework based on Data Envelopment Analysis. Applied Ergonomics, 44, 1004-1014.
- Şenol, O., Metin, A. ve Korucu, K.S., 2019. Ülkelerin Ölüm Göstergeleriyle Karşılaştırılması: Veri Zarflama Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(33), 82-103.
- Xing, Y., Li, L., Bi, Z., Wilamowska-Korsak, M. ve Zhang, L., 2013. Operations Research (OR) in Service Industries: A Comprehensive Review. Systems Research and Behavioral Science Syst. Res., 30, 300-353.
- Yıldız, N.Ç. ve Güneş, M.Ş., 2017. Örgütsel Stresin, Örgütsel Sessizlik ve Tükenmişlik Üzerine Etkisi: Eczane Çalışanları Üzerinde Bir Araştırma. Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi, 1(1), 45-66.

## Change of Income from Forest Products based on Geographical Location of Enterprises and some Marketing Variables

*Orman Ürünlerinden Sağlanan Gelirlerin İşletmelerin Coğrafi Konumu ve Bazı Pazar Değişkenlerine Göre Değişimi*

Osman KOMUT\*<sup>a</sup>, Serpil SANTO<sup>b</sup>

Gümüşhane University, Institute of Natural Applied Science, Department of Forestry and Environment Sciences, 29100, Gümüşhane, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2020 • Düzeltülerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 03.06.2020

### Abstract

The Turkey forest products market losing its monopoly property has led to a reduction in the income of General Directorate of Forestry (GDF). Forest Enterprises Directorate (FED) regulate the wood sale revenue separately and the success level of each managements is considered as separately. In this study, some factors affecting the sale price of wood based products for General Directorate of Forestry are analyzed. In this context, the results of the 5-year wood sale revenue sale auctions between the years 2014-2018 of 2 Regional Directorate of Forests (RDF), which are close to each other in terms of geographical location, and 21 FEDs operating under them are analyzed. Evaluations were conducted on the basis of stumpage sales and traditional warehouse sales practices. The research results showed that there are statistically significant ( $p<0.05$ ) differences on the sales revenues of the GDF due to accession rate of appraised value consisting of the RDF, FED, stumpage sales or traditional warehouse sales, and the year and month variables in which forest products are offered for sale. Likewise, it has been detected that the proximity of FEDs, which regulate wood-based product sales, to the high-capacity forest products industry managements in terms of accessibility with regard to geographical location has a significant effect on sales revenues.

**Keywords:** Accession Rate of Appraised Value, Geographical Proximity, Stumpage Sales, Warehouse Sales

### Öz

Türkiye orman ürünleri pazarında tekel özelliğini kaybetmesi Orman Genel Müdürlüğü'nün gelirlerinin azalmasına neden olmuştur. Devlet Orman İşletme Müdürlükleri (DOİM) odun emvali satış ihalelerini münferit olarak düzenlemekte ve her işletmenin başarı düzeyi yine münferit olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, Orman Genel Müdürlüğü'nün odun esaslı ürünler için satış fiyatını etkileyen bazı faktörler analiz edilmiştir. Bu kapsamda, coğrafi konum yönünden birbirine yakın 2 Orman Bölge Müdürlüğü ve bunlara bağlı olarak faaliyet gösteren 21 DOİM'in 2014-2018 yılları arasındaki 5 yıllık odun emvali satış ihalesi sonuçları incelenmiştir. Değerlendirmeler dikili ağaç satışı ve geleneksel depodan satış uygulamaları temelinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, Orman Bölge Müdürlüğü, DOİM, satışların dikili ağaç satışı veya geleneksel depo satışları olması, orman ürünlerinin satışa sunulduğu yıl ve ay değişkenlerinin oluşan Muhammen Bedel Artırma Oranı dolayısıyla Orman Genel Müdürlüğü'nün satış gelirleri üzerinde istatistiksel düzeyde anlamlı ( $p<0.05$ ) farklılıklar oluştuğunu göstermiştir. Benzer şekilde, odun esaslı ürün satış ihalesi düzenleyen DOİM'lerin ulaşılabilirlik yönünden coğrafi konum itibarıyla yüksek kapasiteli orman ürünleri endüstrisi işletmelerine olan yakınlığının elde edilen satış gelirleri üzerinde önemli düzeyde etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Muhammen Bedel Artırma Oranı, Coğrafi Yakınlık, Depodan Satış, Dikili Satış

\*<sup>a</sup> Osman KOMUT; osmankomut@gumushane.edu.tr, orcid.org/0000-0002-8390-7884

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5742-4416

## 1. Introduction

The sustainability of forest resources around the world has become a rapidly developing issue after the 1990s. In addition to the sustainability of the forest assets, the supply enough to meet the forest products demand and the continuity of the sales revenues that would be obtained are also important. On the other hand, many studies have been concluded that reached to the conclusion that the forest products supply should be regulated according to market demand (McKillop, 1967; Leuschner, 1973; Robinson, 1974; Buongiorno, 1977; Buongiorno, 1978; Kayacan et al., 2012). Changing market conditions and consumer behavior indirectly affect forest enterprises (Halaj et al., 2018). Wood based products are the most important source of income for forest enterprises (Sujová et al., 2017).

The wood based raw material production in manufacturing of forest resources in Turkey has been considered as the main purpose of General Directorate of Forests (GDF) until the recent past. Therefore, developing the qualification of these products, the activity and efficiency aspects of actions were ignored. However, developing market conditions have increased the importance of these issues for forest industry managements (Sedjo and Sohngen, 1996; Öztürk et al., 2011).

The wood raw material supply of Forest Enterprises Directorate (FED) within the structure of Regional Directorate of Forests (RDF) also constitutes the main output of the revenue plans based on the sustainable management approach of forest resources. On the other hand, disasters such as natural disasters, storms and fires are known to have an impact on the supply of wood raw materials. Especially changes in the construction sector, furniture and paper industry and the process with ups and downs due to the general economic situation are an important factor on the demand for wood raw materials, In the current market conditions, it is important that wood based raw material and semi-finished producers concentrate on developing new resources and methods that can minimize the impact level from environmental factors (İlter and Ok, 2007; Özler, 2013).

Foreign trade policies, which have been implemented after the 1990s in Turkey, distracted FEDs away from the position of being the only supplier of forest products and reductions in income of these manufactures has been occurred. Especially in the marketing of wood-based forest

products which are not possible for FEDs to remove from product mix, new quests have become inevitable. Losing monopoly feature of GDFs, which are given manufacturing of forest products in Turkey by laws, has increased the importance of the wood raw material production, creation of product mix suitable for the market, cost and pricing, distribution and promotional activities (İlter, 1985; Türker, 1996; Demirel, 2006; Komut, 2011).

This study aims to evaluate the change of the accession rate of appraised value according to some factors in auction sales for 2 different and adjacent RDFs and affiliated FEDs in comparison with stumpage sales and warehouse sales applications. Evaluation variables were determined as; RDF, FED, years, months and proximity to important industrial facilities.

## 2. Materials and Methods

Amasya RDF and Giresun RDF, which are similar in terms of climate and habitat characteristics and have geographical proximity, were selected as the study area. Both RDFs have similar characteristics in terms of management scale and operation area of forest industry managements that constitute their target markets.

There are 11 FED within Amasya RDF and 10 FED in Giresun RDF. FEDs in Amasya RDF responsibility area are as follows; Bafra, Vezirköprü, Samsun, Kargı, İskilip, Amasya, Çorum, Erbaa, Tokat, Niksar, Almus (Figure 1). FEDs in Giresun RDF responsibility area are as follows; Akkuş, Ünye, Ordu, Giresun, Dereli, Espiye, Tirebolu, Mesudiye, Koyulhisar, Şebinkarahisar (Figure 1). The forest industry facility with the highest capacity in Amasya RDF responsibility area is located in Vezirköprü FED responsibility area. The forest industry facility with the highest capacity in Giresun RDF responsibility area is located in Ordu FED responsibility area. Other FEDs are grouped as to first degree and second degree close according to accessibility criteria (Figure 1).

In this study, data on Amasya and Giresun RDF's stumpage sales and traditional warehouse sales concerning 2014-2018 wood assets sales and auction sales were utilized. Data for the period in question was obtained from Amasya RDF and Giresun RDF records. There are significant differences between the forest area sizes of both RDFs. However, the amount of stumpage sales and industrial wood sales in 2018 are similar (Table 1) (OGM, 2019b).



Figure 1. Study area and FED distribution (OGM, 2019a)

Table 1. General characteristics of sample RDFs

RDF	General Forest Area (ha)	Stumpage Sales (m <sup>3</sup> )	Industrial Wood Sales (m <sup>3</sup> )	Firewood Sales (Ster)
Amasya	1 529 275	263 000	994 000	338 000
Giresun	560 810	242 000	729 000	96 000
Total	2 090 085	505 000	1 723 000	434 000

Years, months and the Accession Rate of Appraised Value (ARAV) based on FED are determined with Equation 1 for the stumpage sales and traditional warehouse sales auctions on the basis of RDFs.

$$ARAV = \left[ \frac{SP - AV}{AV} \right] \times 100 \tag{1}$$

Where ARAV is accession rate of appraised value (%), SP is sales price (\$/m<sup>3</sup>), AV is appraised value (\$/m<sup>3</sup>).

SPSS package program was utilized for statistical comparisons between ARAVs estimated in the study. Kolmogorov-Smirnov Test was applied to the obtained data and the data was determined to show normal distribution. Therefore, parametric

tests were applied in the analyses. According to this, one-way analysis of variance (ANOVA) was used in comparisons where dependent and independent variables were present and the number of variables was above two. One of the non-parametric tests, Mann-Whitney U Test was used in comparisons with two independent variables where the sample number was less than 30.

### 3. Results and Discussion

The ARAV average of Amasya RDF's stumpage sales between years 2014-2018 has been determined as 15.13%. Despite the decline in 2015, ARAV has been found to have an overall increase tendency (Table 2). The highest ARAV among FEDs has occurred in the Amasya FED.



**Table 2.** ARAV for Amasya RDF stumpage sales in regards to years

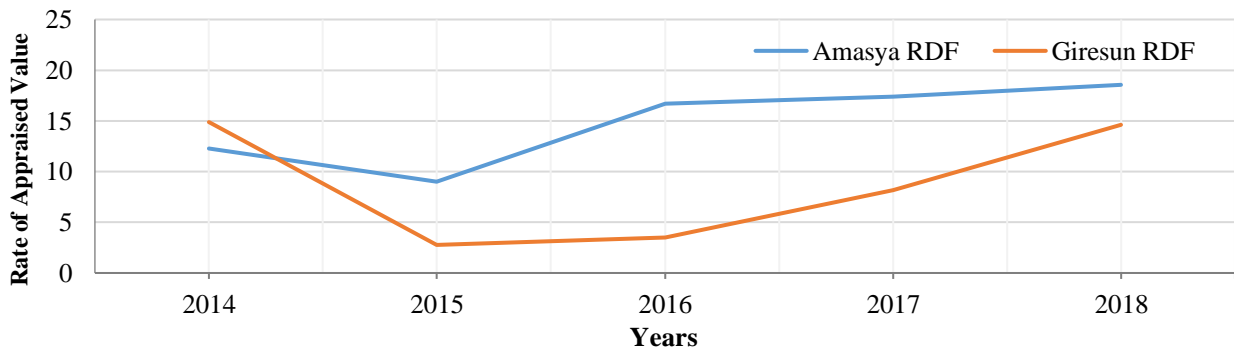
FED	ARAV by Years (%)					Standard Deviation	Average (%)
	2014	2015	2016	2017	2018		
Çorum	3.56	5.34	0.68	4.39	8.27	2.76	4.45
Amasya	61.54	30.68	38.85	72.03	-	19.27	50.78
Tokat	24.41	0.11	16.69	5.23	47.49	18.66	18.79
Vezirköprü	0.18	1.45	6.67	8.62	10.55	4.51	5.49
Samsun	29.96	1.78	8.67	16.65	13.44	10.49	14.10
Bafra	1.00	-	-	16.79	6.76	7.99	8.19
Niksar	1.50	-	3.25	25.07	16.74	11.25	11.64
Almus	0.18	0.18	5.29	0.08	3.52	2.42	1.85
İskilip	0.83	7.03	-	-	0.57	3.66	2.81
Kargı	0.10	0.27	0.15	7.56	35.95	15.51	8.81
Erbaa	11.57	34.20	70.19	-	42.27	24.21	39.55
Average (%)	12.26	9.00	16.71	17.38	18.56	4.02	15.13

The ARAV average concerning the stumpage sales of Giresun RDF between years 2014-2018 has been determined as 8.11%. Like Amasya RDF, ARAV has been determined to be in an overall increase tendency despite the decline in 2015 (Table 3). The highest ARAV among FEDs was observed in Koyulhisar FED.

In general, ARAV values occurred higher in Amasya RDF when compared with Giresun RDF. After the decrease in ARAV in 2015, both RDFs have showed an increase tendency. The general increase-decrease tendency in the related process was observed to be similar for both units (Figure 2).

**Table 3.** ARAV for Giresun RDF stumpage sales in terms of years

FED	ARAV by Years (%)					Standard Deviation	Average (%)
	2014	2015	2016	2017	2018		
Koyulhisar	40.03	-	-	0.58	-	27.90	20.31
Şebinkarahisar	-	-	-	-	0.92	-	0.92
Giresun	6.48	8.17	0.47	29.78	6.86	11.26	10.35
Ünye	6.90	1.69	5.42	2.43	8.10	2.78	4.91
Ordu	0.60	1.97	3.60	17.19	50.68	21.12	14.81
Mesudiye	31.08	6.63	4.83	8.59	18.69	10.97	13.96
Tirebolu	20.67	1.52	6.73	0.36	2.06	8.41	6.27
Espiye	12.93	1.23	1.47	5.43	-	5.46	5.27
Akkuş	-	0.56	-	-	-	-	0.56
Dereli	0.38	0.36	1.96	0.87	14.89	6.29	3.69
Average (%)	14.88	2.77	350	8.15	14.60	5.82	8.11



**Figure 2.** ARAV comparison at RDFs level

On the other hand, statistically significant differences were found between the averages of ARAV values on a monthly basis (Table 4). According to this, ARAV values in Amasya RDF have occurred higher than Giresun RDF. This

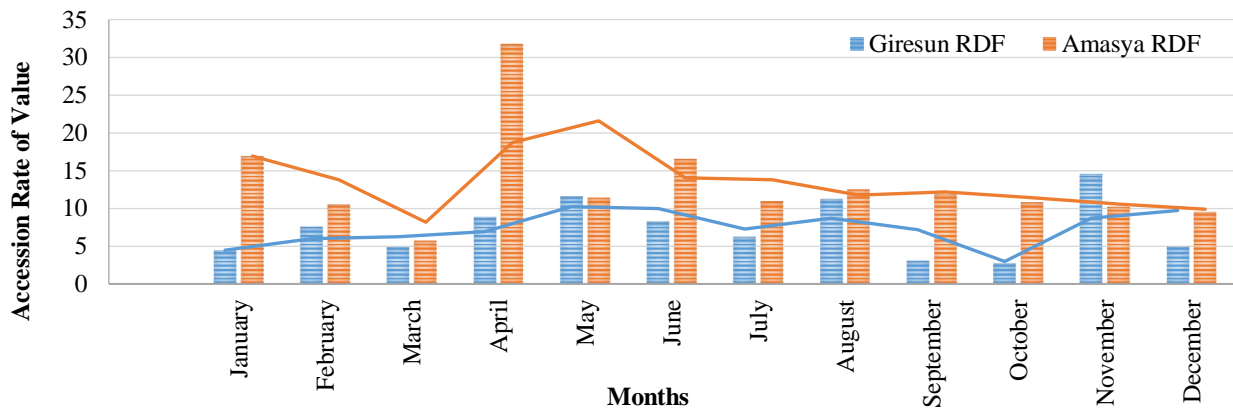
difference can be attributed to the fact that the large industrial facility in the Amasya RDF area of responsibility is a facility that produces different products such as timber, MDF, particleboard, plywood.

**Table 4.** Mann-Whitney U test results concerning Amasya RDF and Giresun RDF ARAV values

Factor	RDF	Number (N)	Mean Rank	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	p
ARAV	Giresun	12	8.670	26.000	104.000	-2.656	0.008*
	Amasya	12	16.330				
	Total	24					

ARAV values of Amasya and Giresun RDF's 5-year stumpage sales on a monthly basis are given in Figure 3. It is deduced that there has been an increase in ARAV values in April, May and June and a decrease tendency in sales after June is

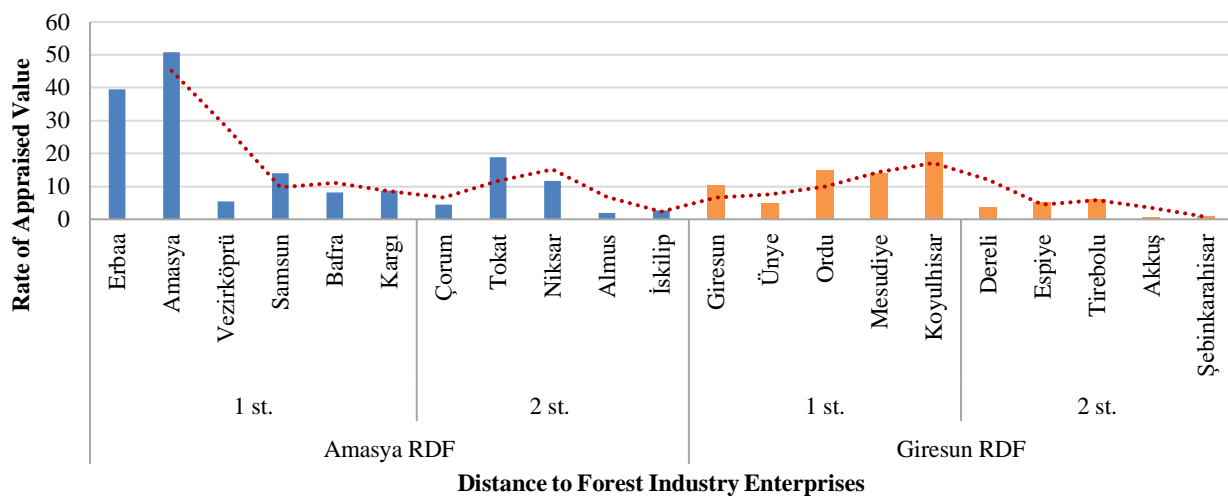
observed. It was observed that the monthly ARAV changes which show similar characteristics in both RDFs were observed to be more pronounced in Amasya RDF (Figure 3).



**Figure 3.** Average 5-year ARAV values on the basis of months

The ARAV relationship formed with 1st and 2nd degree proximity to high capacity forest industry managements and accessibility characteristics of FEDs affiliated to RDFs is given in Figure 4. According to this, it was found that products of FEDs, which are accessible in terms of forest

industry managements and considered to have low raw material transportation cost, are shown more interest towards their products. Therefore, it has been found that ARAV is formed at a higher level in FEDs which are 1st degree close to forestry managements in both RDFs.



**Figure 4.** Relationship of distance to forest industry enterprises with ARAV

At the level of FEDs affiliated with Amasya and Giresun RDFs, timber, industrial wood and paper wood product classes sales were used as base in

the evaluation of wood based products from traditional warehouse. In the One-Way Analysis of Variance, statistically significant differences

were determined between the FEDs affiliated with Amasya RDF in terms of average ARAV value ( $p < 0.05$ ). On the other hand, the analysis results

showed that there was no statistically significant difference between FEDs affiliated with Giresun RDF ( $p > 0.05$ ) (Table 5).

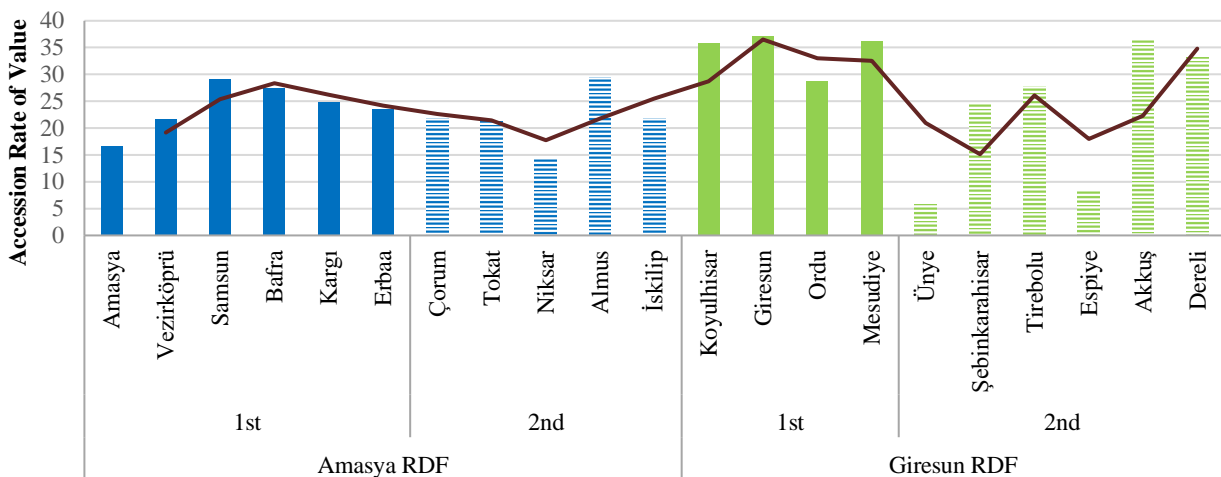
**Table 5.** Results of ARAV One-Way Analysis of Variance in wood assets sales on the basis of FED

Variables	FED	N	M	F	Sig.
Amasya RDF ARAV	Çorum	9	0.203	2.105	0.032*
	Amasya	8	0.171		
	Tokat	9	0.116		
	Vezirköprü	8	0.282		
	Samsun	10	0.191		
	Bafra	10	0.348		
	Niksar	10	0.116		
	Almus	10	0.197		
	İskilip	6	0.207		
	Kargı	9	0.149		
	Erbaa	8	0.191		
	Total	97	0.197		
Giresun RDF ARAV	Koyulhisar	3	0.236	0.676	0.722
	Şebinkarahisar	2	0.300		
	Giresun	4	0.244		
	Ünye	3	0.099		
	Ordu	4	0.276		
	Mesudiye	4	0.230		
	Tirebolu	4	0.215		
	Espiye	1	0.079		
	Akkuş	3	0.264		
	Dereli	4	0.247		
	Total	32	0.229		

\* $p < 0.05$

ARAV relationship with 1st and 2nd degree proximity to high capacity forest industry managements and accessibility characteristics in the traditional warehouse sales of wood based products is given Figure 5. According to this, it

was determined that proximity and accessibility to forest industry management increased ARAV value in warehouse sales, similar to stumpage sales.



**Figure 5.** ARAV relationship with forest industry enterprises in warehouse sales

In this research, ARAV has been determined to be affected by the variables of RDF, FEDs within RDF, sale month and sale year. It has been stated that stumpage sales, which are developed as an

alternative to warehouse sales, have not yet been implemented efficiently and effectively and include some economic and technical problems (Daşdemir, 2011). In a study, it was reported that

the number of buyers in the stumpage sales application was lower than that of warehouse sales, thus decreasing competition and lowering the revenues of FEDs (Komut and Öztürk, 2014). There are studies stating that economic fluctuations occurring in the country and in the world markets lead to differentiation in the production and sales of wood raw materials by years (İlter and Ok, 2007; Özler, 2013; Daşdemir, 2003; Dikilitaş and Öztürk, 2010; Buğday, 2016). In a study on the subject, it was concluded that differentiating the tender times of FEDs will have an increasing effect on revenues (Ok, 1997).

The findings obtained in this study show similarities to the literature on sales revenues of FEDs. In this study, it was determined that the variables like product type, tree type, proximity to FED industrial facilities that go out to tender, and auction times variables were found to lead to significant differences in terms of revenue generated because of ARAV, which is generated by traditional warehouse sales. It was reported that FEDs produced wood-based products at different times during the year affected the production costs and sales revenues of the managements (Ok, 1997).

Another study has shown that the cost and revenue characteristics of wood-based products in FEDs' sales warehouses are influenced by the product quality as well as the distance to forest industry enterprises that are buyers of these products (Türker, 2013). In addition, many studies have been conducted stating that the supply of forest products should be planned according to the demand in the market (McKillop, 1967; Leuschner, 1973; Robinson, 1974; Buongiorno, 1977; Buongiorno, 1978; Kayacan et al., 2012). Studies prove that the prices of forest products depend on the supply-demand balance in the market and consumption of wood products per capita (Zivnuska, 1955; Holland, 1960; Kayacan and Öztürk, 2009). On the other hand, it has been reported that the effect of aspects like obtaining high revenue in forest products marketing, auction times, the status of forest industry managements and seasonal changes on the prices should be determined with the right strategy (Trømborg et al., 2000). In addition, it is reported that volatile supply and demand in the markets in the future necessitates efforts to increase the flexibility of the forestry sector (Jonsson, 2011; Sahoo et al., 2019; Poudyal et al., 2019). However, it is reported that GDF cannot act independently on pricing of forest products based on market and cost conditions (Daşdemir, 2003).

#### 4. Conclusions

The results of the research showed that the variables of RDF, FED, auction year, auction month and proximity to forestry industry managements had an impact on ARAV formed as a result of the auction and significantly differentiated the revenue obtained.

Evaluations conducted have emerged the product types and procurement policies required by forestry industry managements as an important factor affecting the income generated by FEDs from forestry product sales. It has been observed that transportation costs have significant effects on purchasing decisions of these managements as well as product price. As the proximity and accessibility to forestry industry managements in terms of geographical location of the products supplied to the market increases, the potential to generate more revenue also increases.

The results of the study clearly showed that RDFs should actively use the coordination function in order to enable the FEDs to act jointly with respect to the times of wood assets auctions. On the other hand, in order for GDF to increase its sales revenues, it is found necessary to make plans for the auction time at RDFs level.

#### Acknowledgments

This study is a part of a master thesis entitled "Variation of Rate of Appraised Value in Auction Sales According to some Factors: The Case of Amasya and Giresun Forest Regional Directorates" prepared by Serpil SANTO under the supervision of Assistant Professor Dr. Osman KOMUT in Gumushane University.

#### References

- Buğday, S.E., 2016. Oduna Dayalı Orman Ürünlerinde Stratejik Pazarlama Analizi (Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Örneği). Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çankırı, 300p.
- Buongiorno, J., 1977. Long-term Forecasting of Major Forest Products Consumption in Developed and Developing Countries. *Forest Science*, 23(1), 13-25.
- Buongiorno, J., 1978. Income and Price Elasticities in the World Demand for Paper and Paperboard. *Forest Science*, 24(2), 231-246.
- Daşdemir, İ., 2003. Asli Orman Ürünlerinde Fiyat Analizi (Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü).

- Örneği), ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 26, Fakülte Yayın No: 12. Bartın, 119p.
- Daşdemir, İ., 2011. Dikili Ağaç Satışlarının Uygulanması Üzerine Değerlendirmeler. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(20), 71-79.
- Demirel, E., 2006. Açık Artırmalı Tomruk Satışlarında Fiyat Oluşum Sürecinin İncelenmesi (Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü Örneği). Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bartın, 99p.
- Dikilitaş, K. and Öztürk, A., 2010. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Son Beş Yıllık Açık Artırmalı Satışlarının İrdelenmesi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, 259-269.
- Halaj, D., Sedliačiková, M. and Malá, D., 2018. Customer Behavior on the Slovakian Roundwood Market: A Case Study. BioResources, 13(3), 6003-6020.
- Holland, I., 1960. An Explanation of Changing Lumber Consumption and Prices. Forest Science, 6(2), 171-192.
- İlter, E., 1985. Orman Ürünleri Pazarlaması: Ankara, Çağ Matbaası, 273p.
- İlter, E. and Ok, K., 2007. Ormancılık ve Orman Endüstrisinde Pazarlama İlkeleri ve Yönetimi: Ankara, Form Ofset Baskı, 488p.
- Jonsson, R., 2011. Trends and Possible Future Developments in Global Forest-Product Markets-Implications for the Swedish Forest Sector. Forests, 2(1), 147-167.
- Kayacan, B. and Öztürk, A., 2009. Dünyada Orman Ürünleri Piyasa Modelleri: Gelişim Süreci ve Türkiye İçin Yönelimler. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, 19-21 Şubat 2009, Isparta, 152-165.
- Kayacan, B., Ucal, M., Öztürk, A., Balı, R., Koçer, S. and Kaplan, E., 2012. Modeling and Forecasting the Demand for Industrial Roundwood in Turkey: A Primary Econometric Approach. Journal of Food Agriculture and Environment, 10(2), 1127-1132.
- Komut, O., 2011. Sarıçam Tomruklarında Mavi Renklenme Zararı ve Satış Fiyatı Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Artvin, 98p.
- Komut, O. and Öztürk, A., 2014. Dikili Ağaç Satış Uygulamasının Yerel Piyasadaki Rekabete Etkileri. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, 1068-1074.
- Leuschner, W.A., 1973. An Econometric Analysis of the Wisconsin Aspen Pulpwood Market. Forest Science, 19(1), 41-46.
- McKillop, W.L.M., 1967. Supply and Demand of Forest Products: An Econometric Study. Hilgardia, 38(1), 1-132.
- OGM, (2019a). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü <https://www.ogm.gov.tr/Sayfalar/OrmanBolgeMudurlukleri.aspx>.
- OGM, (2019b). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü 2019 Performans Programı. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara.
- Ok, K., 1997. Devlet Orman İşletmelerinin Açık Artırmalı Satışlarının Etkileşimi. DOA Dergisi, 3, 39-62.
- Özler, T., 2013. Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'nde Dikili Ağaç Satışlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta, 119p.
- Öztürk A., Kayacan B. and Dikilitaş, K., 2011. A Linear Price Model for Insect-damaged Industrial Roundwood: A Case Study in Northeastern Turkey. African Journal of Business Management, 5(21), 8552-8557.
- Poudyal, B.H., Maraseni, T.N. and Cockfield, G., 2019. Implications of Selective Harvesting of Natural Forests for Forest Product Recovery and Forest Carbon Emissions: Cases from Tarai Nepal and Queensland Australia. Forests, 10(8), 693.
- Robinson, V.L., 1974. An Econometric Model of Softwood Lumber and Stumpage Markets 1947-67. Forest Science, 20(2), 171-179.
- Sahoo, K., Bergman, R., Alanya-Rosenbaum, S., Gu, H. and Liang, S., 2019. Life Cycle Assessment of Forest-based Products: A Review. Sustainability, 11(17), 4722.
- Sedjo, R. and Sohngen, B., 1996. A Comparison of Timber Models for use in Public Policy Analysis. Resources for the Future 1996, Discussion Paper 96-12, Washington DC, USA.
- Sujová, A., Michal, J., Kupčák, V. and Dudík, R., 2017. The Impact of International Trade of Raw Wood to the Economic Growth of Forest-Based Sectors in the Czech and Slovak Republics. BioResources, 12(1), 1102-1111.

Trømborg, E., Buongiorno, J. and Solberg, B., 2000. The Global Timber Market: Implications of Changes in Economic Growth, Timber Supply and Technological Trend. *Forest Policy and Economics*, 1(1), 53-69.

Türker, M.F., 1996. Investigation of Price Formation in Auction Forest Products (logs) Sales (Case of Eastern Black Sea Region). Postdoctoral

Research, KTU Research Fund 93.115.002.1, Trabzon, Turkey.

Türker, M.F., 2013. Ormancılık İşletme Ekonomisi. Güncellenmiş ve Genişletilmiş 2. Baskı, Ormancılık ve Tabiatı Koruma Vakfı Yayın No:5, Trabzon, 287p.

Zivnuska, J.A., 1955. Supply, Demand and the Lumber Market. *Journal of Forestry*, 53(8), 547-553.



## Pestisit Uygulamaları İçin Optimize Edilmiş Koşullarda Sprey Karakteristiklerinin Belirlenmesi

*Determination of Spray Characteristics in Optimized Conditions for Pesticide Applications*

Altuğ KARABEY<sup>\*1,a</sup>, Yunus ÖZKAN<sup>2,b</sup>, Bahadır SAYINCI<sup>3,c</sup>, Faruk YEŞİLDAL<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080, Van

<sup>2</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080, Van

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 33343, Mersin

<sup>4</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 23.03.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 04.05.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 04.06.2020

### Öz

Tarım küresel bazda gelişmekte olan büyük ve ciddi bir sektördür. Tarımda önemli bir araştırma konusu püskürtme yöntemiyle yapılan pestisit uygulamalarıdır. Sprey uygulama teknolojilerinin amaçlarından biri, bitkisel üretimde zararlı veya hastalık etmenlerinin seviyesini azaltmak için pestisitlerin doğru zamanda uygun tekniklerle önerilen dozda kullanılmasını sağlamaktır. Bu çalışmada, konvansiyonel pülverizatörlerde kullanılan ve tek noktadan atomizasyon sağlayan konik hüzmeli nozulun akış parametrelerinin damlacık çapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, sabit ilaçlama hızı ve spreyleme açısı koşullarında üç farklı nozul-yüzey mesafesi (70 cm, 85 cm, 100 cm), üç farklı işletme basıncı (6 bar, 8 bar, 10 bar) ve üç farklı nozul çapı akış parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneysel farklı zamanlarda çift tekrarlı olarak yapılmıştır. Sprey uygulamalarından sonra suya duyarlı kağıtların yüzeyinden elde edilen damla lekeleri görüntüleri işlenerek hacimsel çap ve damla homojenlik değerleri belirlenmiştir. Akış parametrelerinin damla çapına olan etkisini incelemek için grafikler çizilmiş ve değişimler yorumlanmıştır. Genel olarak, aynı nozul orifis çapı ve spreyleme mesafesinde; işletme basıncı artarken karakteristik damla çapları küçülmüş ve homojenlik katsayısı iyileşmiştir. Aynı işletme basıncı ve spreyleme mesafesi için nozul orifis çapları karşılaştırıldığında; orifis çapı arttıkça damlacık çapının arttığı ve homojenliğin azaldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atomizasyon, Damlacık Çapı, Pestisit Uygulamaları, Sprey Karakteristikleri

### Abstract

Agriculture is a large and serious sector developing on a global basis. An important research subject in agriculture is the pesticide applications performed by spraying method. One of the objectives of spray application technologies is to provide using at the recommended dosage of pesticides at the right time by using the appropriate application techniques in order to reduce the level of pest or disease factors at crop production. In this study, the effects of flow parameters on droplet diameter of single hollow-cone nozzle used on conventional sprayers were investigated. For this purpose, three different nozzle-surface distances (70 cm, 85 cm, 100 cm), three different operational pressure (6 bar, 8 bar, 10 bar) and three different nozzle orifice diameters were determined as flow parameters under conditions of constant speed and spray angle. The experiments were carried out in duplicate at different times. After spray application, the droplet spot images obtained from the water sensitive paper surfaces were processed and the volumetric diameter and homogeneity values were determined. In order to examine the effect of the flow parameters on droplet diameter, the charts were drawn and the variations were interpreted. In general, the characteristic droplet diameters were decreased and the homogeneity coefficient increased on the conditions of the same nozzle orifice diameter and spray distance as the operational pressure increased. Comparing nozzle orifice diameters for the same operational pressure and spraying distance, it was observed that the droplet diameter increased for the nozzles with large orifice diameter and the homogeneity value deteriorated.

**Keywords:** Atomization, Droplet Diameter, Pesticide Application, Spray Characteristics

\*a Altuğ KARABEY; akarabey@yyu.edu.tr, Tel: (0533) 488 16 58, orcid.org/0000-0001-5799-4585

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7984-2635

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-7148-0855

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-7307-3556

## 1. Giriş

Ekonomik ve sosyal alanda meydana gelen gelişmeler göz önüne alındığında küresel bazda büyüyen ve gelişen en önemli sektörlerden biri tarımdır. Dünya-Gıda ve Tarım Örgütü kaynaklarına göre 2050 yılına dek dünya nüfusunun dokuz milyara ulaşacağı ve buna paralel olarak dünya gıda ihtiyacının günümüzden daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Bu kapsamda dünya gıda ihtiyacının gelecek dönemlerde de karşılanabilmesi için mevcut tarım alanlarının verimli bir şekilde kullanılması ve üretimde verim artışının sağlanması gerekmektedir. Tarımsal üretimde verim unsurlarını arttırmak için üretim girdilerinin kullanılması zorunludur. Bu kapsamda en önemli gider kalemini pestisit adı verilen tarım ilaçları oluşturmaktadır. Tarımsal üretimde kısa sürede etki gösterdiğinden yaygın bir mücadele yöntemi olarak kullanılan kimyasal yöntemde pestisitler sıvı formda püskürtme yapılarak uygulanmakta ve bu amaçla pülverizatör adı verilen tarım teknolojilerinden faydalanılmaktadır (Günel vd., 2006; Sayıncı vd., 2019).

Tarımsal üretimde zararlı, hastalık ve yabancı otlara karşı yapılan kimyasal mücadelenin etkili bir şekilde sürdürülebilmesi sonucunda yıllık ortalama %30-40 civarında ürün kaybı oluşabilmektedir. Kimyasal yöntemlerin yerine biyolojik mücadele yöntemine başvurulsa da zararlı ve hastalıkların epidemik halinde yayılma riskinden dolayı pestisitlerin kullanımı çoğu durumda kaçınılmaz olmaktadır. Bilinçli ve zamanında yapılan bir kimyasal uygulama, zararlı popülasyonu etkili bir şekilde kontrol edebildiği gibi pestisit tüketiminin azalmasını ve böylece üretimde girdi masraflarının düşmesini sağlamaktadır (Dağ vd, 2000; Matthews, 2004; Tanış, 2019).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) kaynaklarına göre 2017 yılında dünyada 4.1 milyon ton pestisit tüketilmiş ve on yıl içinde tüketim yaklaşık %9 oranında artmıştır (FAO, 2017). Pestisitlerin büyük bir çoğunluğu sıvı formda püskürtme yapılarak uygulanmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerde atomizasyon yoluyla üretilen damlacıkların bir kısmı sürüklenme nedeniyle hedef dışına taşınmaktadır. Pestisitlerin önerilen dozda hedefe ulaşmaması sonucunda yeterince biyolojik etkinlik sağlanamamakta ve uygulamaların tekrar edilerek pestisit tüketiminin artmasına ve hedef yüzeyde aşırı dozda birikime neden olabilmektedir. Böylece üretim maliyeti artmakta, bitkide fitotoksitite riski oluşmakta, çevre, toprak ve yeraltı su kaynakları kirlenmekte,

zararlılarda direnç mekanizması gelişmekte, önemli olmayan bazı zararlılar ana zararlı konumuna geçmekte, yararlı faunanın öldürülmesiyle doğal denge bozulmakta, ürünlerde aşırı pestisit birikimine yol açmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Coates ve Palumbo, 1997; Yıldırım, 2000; Sidahmed vd., 2004).

Kültür bitkilerine zarar veren etmeni doğru teşhis etmek, ekonomik zarar eşğine göre mücadelenin gerekliliğine karar vermek, mücadele yöntemini belirlemek ve kimyasal uygulamalarda doğru pestisiti kullanmak tarımsal mücadelenin başlıca gerekleri olarak kabul edilmektedir (Hassen vd., 2014). Ancak sıvı pestisit uygulamalarında nozul tipi ve işletme parametrelerinin uygun olmaması etkili maddenin yeterince taşınmamasına yol açmaktadır. Bu kapsamda atomizasyon uygulamalarında kullanılan pülverizatörlerde homojen yapıda damlacıkların üretilmesi, ilaçlı karışımın homojen bir şekilde hedefe taşınması, damlaların yüzeyi yeterince kaplaması ve uygulamalarda hedef dışı sürüklenmeyi minimize etmesi beklenmektedir (Ozkan vd.,1992). Bunun için pülverizatörlerde kullanılan nozulların atomizasyon karakteristiklerinin bilinmesi, bu karakteristiklere etkili faktörlerin ve aralarındaki interaksiyon etkilerinin belirgin şekilde ortaya konması gerekmektedir.

Pestisit uygulamalarında bitki ve iklim koşulları, uygulama hacmi, ilaçlama zamanı, atomizasyon yapısı, karışımın formülasyonu ve yüzey kaplama oranının mücadelenin başarısını etkileyen faktörler olarak belirtilmiştir (Çelen vd., 2007). Özellikle, bazı zararlı ve hastalık etmenleri ile mücadelede damlaların yaprak altına ulaşması gerekmektedir. Buna ek olarak, yaprak altına ulaşan damlaların, etki etmesi gereken yüzeyde koruyucu amaçlı kaplama sağlaması önem taşımaktadır (Sumner vd., 2000).

Atomizasyonda nozulların görevi aynı büyüklükte damlalar üretmek ve damlaların hedef yüzeyde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktır. Sprey uygulamalarında yaygın olarak kullanılan nozul tiplerinden birisi konik hüzmeye deseninde püskürtme yapan nozullardır. Günümüzde hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadelede elde edilen başarı, aynı zamanda yapılan ilaçlamanın ekonomik olup olmaması ile de yakından ilişkilidir. Kimyasal mücadelede kullanılan pestisit ve su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde kullanılacak su miktarının azaltılabilmesi ilaçlamanın ekonomikliği açısından önem arz etmektedir. Sayıncı ve Bastaban (2004), sera ortamında hıyar bitkisinde düşük hacimli biri hava akımlı iki farklı döner

diskli el pülverizatörü ile sırt pülverizatörünü yaprak altında ilaç tutunması ve toprak yüzeyinde kalıntı miktarı açısından karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucuna göre sırt pülverizatörüyle karşılaştırıldığında düşük hacimli el tipi döner diskli pülverizatörle yaprak altına ulaşan madde miktarı bitkinin üst, orta ve alt bölgelerinde sırasıyla 1.1, 1.3 ve 2.6 kat artmıştır. Hava akımlı döner diskli el pülverizatöründe ise madde miktarındaki artış sırasıyla 1.7, 1.2 ve 1.3 kat olarak belirlenmiştir. Toprak yüzeyindeki kalıntı miktarı sırt pülverizatörüyle yapılan uygulamaya göre yardımcı hava akımlı döner diskli pülverizatörle %88, düşük hacimli el tipi pülverizatörde ise %69 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Pestisit uygulamalarında kullanılan hidrolik memelerin pülverizasyon karakteristiği çoğunlukla ince, orta ve kaba yapıya girilmekte olup, damla spektrumu püskürtme basıncından önemli ölçüde etkilenmektedir (Sayıncı vd., 2013). Hidrolik memelerde pülverizasyon karakteristiğinin farklı olması damlanın hedefe taşınma enerjisini, sürüklenme düzeyini ve terminal hızını etkileyerek damlaların hedefe taşınma potansiyelini ve penetrasyonunu etkileyebilmektedir (Sayıncı, 2016a; Sayıncı vd., 2019). Zararlı etmenlerle mücadelenin etkin bir şekilde sürdürülebilmesi için pestisitlerin içerdiği etkili maddenin birim alana damlalar halinde belirli sayıda ulaşması gerekmektedir. Bu kapsamda damla yoğunluğu sistemik etkili pestisitler için minimum 20 adet/cm<sup>2</sup>, kontak etkili olanlar için 50 adet/cm<sup>2</sup> olarak önerilmektedir (Çilingir ve Dursun, 2002). Uygulamada bu alt sınırlara ulaşmak için meme tipi değiştirilmekte ya da püskürtme basıncı veya birim alana püskürtülen damla hacmi artırılmaktadır.

Bu çalışmada atomizasyon uygulamaları için optimize edilmiş şartlarda (Taniş, 2019) konik hüzmeye deseninde püskürtme yapan nozullarla sabit spreyleme hızında uygulamalar yapılmış ve bazı akış parametrelerinin damlacık çapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu sayede, bağ-bahçe ilaçlamasında uygun koşulları sağlayan veriler kullanılarak çevre korunmasına katkı sağlanacağı ve etkin püskürtme uygulamaları ile ilaçlama verimi ve başarısının artırılacağı öngörülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Deneyel çalışmalar, akış karakteristiklerini belirlemek amacıyla iki aşamada yürütülmüştür.

Uygulamalar Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda kontrollü şartlarda yürütülmüş ve hava koşullarının etkisi minimize edilmiştir. Sprey uygulamaları için özel olarak dizayn edilmiş bir deney düzeneği kullanılmıştır. Deneyel çalışmaların ilk aşamasında deney elemanları düzeneğe yerleştirilmiş, hızölçer ile hızlar tespit edilmiş ve akışkan basıncı manometre ile kontrol edilerek atomizasyon gerçekleştirilmiştir. Sprey uygulamalarında örnekleme yüzeyi olarak suya duyarlı kağıt (WSP, 28×38 mm) kullanılmıştır. İkinci aşamada WSP örnekleri taranmış ve görüntü işleme yöntemiyle damlacık çapı ve homojenlik değerleri belirlenmiştir.

Hareketli bir mekanizmanın kullanıldığı deney düzeneğinde zemin, 2 mm paslanmaz sac levhadan yapılmıştır, Mekanizmanın ana çatısı 30 × 30 mm metal profilden imal edilmiştir. Deney düzeneğinin ölçüleri 0.5 × 5 m olup yüksekliği 2 m olacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 1). Sistemde akışkan olarak hava ve su kullanılmıştır. Akışkanın basıncı pompa çıkışında bulunan bir regülatörle kontrol edilmiştir. Sistemde maksimum 10 bar basınç ile çalışılmıştır. Spreyleme hızı ise hız kontrol ünitesiyle ayarlanmıştır. Deneyler sabit 1.2 m/s'lik spreyleme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde akışkanı taşıyan boruların zarar görmemesi için koruyucu esnek kılıflar kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin görünüşü

Akışkanı depolamak için dikdörtgen prizma görünümünde 70 litre kapasiteli bir depo imal edilmiştir. İki katlı taşıyıcı sistemin birinci katında akışkan tankı, karıştırıcı motor, akışkanın debisini ölçmek için debi ölçer ve hidrolik pompa yer almaktadır. İkinci katta ise redüktörlü elektrik motoruyla tahrik edilen doğrusal hareketli mekanizma bulunmaktadır. Doğrusal hareket için 4 metre uzunluğunda kremayer dişli takımı kullanılmıştır. Mekanizmanın hareket hızı tahrik dişlisinin devri kontrol edilerek ayarlanmıştır.

Devir kontrolü hız kontrol panelinden ayarlanmıştır. Ayrıca nozul konum açısını ayarlamak için hareketli mekanizmaya mekanik bir sabitleme düzeni yerleştirilmiştir.

Doğrusal hareketli mekanizmanın otomasyonu için otomatik kontrol panosu kullanılmıştır. Kontrol panosu, deney sistemine ait komutların yorumlanmasını ve uygun kodlar ile eşleştirerek deney sisteminin mekanik hareketini, akışkanın spreyleme aşamasındaki basıncın ayarlanmasını ve deney sistemindeki hareket hızının otomatik olarak denetlenmesini sağlamaktadır. Deney sisteminde spreylemenin en önemli kısmı olan nozulun doğrusal hareketlerini otomatik olarak sağlayan elemandır (Şekil 2).



Şekil 2. Otomatik kontrol panosu.

Sprey uygulamalarında bahçe pülverizatörlerinde yaygın olarak tercih edilen paslanmaz çelikten üretilmiş içi dolu konik hüzmeli nozullar kullanılmıştır. Denemelerde 0.8 mm, 1.0 mm ve 1.5 mm orifis çaplı nozullar tercih edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışmada kullanılan nozullar.

Suya duyarlı kağıtlar 2 metre yüksekliğinde kare profilden imal edilen bir direğe klipslerle

sabitlenmiştir. Örnekler düşey düzlemde tek sıralı olarak 5 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Her uygulamada 13 adet WSP kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

Sprey uygulamasından sonra toplanan WSP örneklerinin her biri 600 dpi çözünürlükte (Marçal ve Cunha 2008), \*.jpg uzantılı resim dosyası olarak taranmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kart yüzeylerindeki lekelerin alanına bağlı olarak karakteristik damla çapları görüntü işleme yöntemiyle belirlenmiş ve analizlerde ImageJ (version 1.38x, Wayne Rasband, National Institutes of Health, US) yazılımı kullanılmıştır. Her bir WSP görüntüsünün ortalama grilik seviyesi ( $g$ ) belirlenmiş ve  $t = 0.38g + 78.75$  eşitliği kullanılarak eşikleme yapılmıştır (Sanches-Hermosilla ve Medina, 2004). Kart yüzeyindeki leke görüntüleri şekil analizine tabi tutulmuş ve Sæbø ve Wighus (2015) tarafından bildirilen yöntemle göre leke eliminasyonu yapılmıştır. Analiz sonucunda leke alanlarına bağlı olarak belirlenen eşdeğer çap değerleri 42.3  $[(25.4/600) \times 1000]$  ile çarpılarak (Uremis vd., 2004) leke çapı ( $D_s$ ,  $\mu\text{m}$ ) hesaplanmıştır. Sonuçlar  $D_g = 1.033 \cdot D_s^{0.879}$  eşitliğinde yerine yazılarak küresel damlaların çapı ( $D_g$ ,  $\mu\text{m}$ ) tahminlenmiştir (Franz, 1993). Damla örnekleme için WSP yüzeyinden alınan görüntü dosyası Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Sprey uygulamasına ait WSP görüntüsü

Karakteristik damla çaplarını belirlemek için MS Excel'de makro program yazılmış ve 20 adet çap sınıfı aralığında analiz yapılmıştır (Srivastava vd., 1993). Karakteristik damla çaplarını ifade eden tanımlar ve kullanılan formüller (Nuyttens vd., 2007) Tablo 1'de belirtilmiştir.



**Tablo 1.** Karakteristik damla çaplarına ait eşitlikler.

Aritmetik ort. çap	Yüzeysel ort. çap	Hacimsel ort. çap	Sauter çapı	Homojenlik
$D_{10} = \sum_{i=0}^n d_i/n$	$D_{20} = \left( \sum_{i=0}^n d_i^2/n \right)^{1/2}$	$D_{30} = \left( \sum_{i=0}^n d_i^3/n \right)^{1/3}$	$D_{32} = \sum_{i=0}^n d_i^3 / \sum_{i=0}^n d_i^2$	$r_1 = (D_{V0.9} - D_{V0.1})/D_{V0.5}$ $r_2 = D_{V0.5}/D_{N0.5}$

Eşitliklerde kullanılan terimlere ait tanımlar aşağıda sunulmuştur.

$D_{10}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{30}$  – aritmetik, yüzeysel ve hacimsel ortalama çaplar,  $\mu m$  (i: sınıf numarası,  $d_i$ : i. sınıftaki ortalama damla çapı, n: toplam damla sayısı)

$D_{32}$  – tüm damlaların toplam hacminin, toplam yüzey alanına oranı olarak aynı hacim/yüzey alanına sahip çap değeri (sauter ortalama çap,  $\mu m$ )

$D_{N0.5}$  – toplamdaki damla sayısını iki eşit parçaya bölen çap değeri, (sayısal medyan çap,  $\mu m$ )

$D_{V0.5}$  – hacimsel dağılımda toplam damla hacmini iki eşit parçaya bölen çap değeri (hacimsel medyan çap,  $\mu m$ )

$D_{V0.1}$ ,  $D_{V0.9}$  – hacimsel dağılımda toplam damla hacminin sırasıyla %10 ve %90'lık kısmına karşılık gelen çap değerleri,  $\mu m$

$V_{100}$ ,  $V_{200}$  – hacimsel dağılımda sırasıyla 100 ve 200  $\mu m$ 'den küçük çaplı damlaların yüzde oranı, %

$r_1$  – damla homojenliği, boyutsuz

$r_2$  – damla homojenlik katsayısı, boyutsuz

$D_{min}$  – ölçülen en küçük çap değeri,  $\mu m$

$D_{mak}$  – ölçülen en büyük çap değeri,  $\mu m$

Çalışmada sprej mesafesi, nozul orifis çapı ve işletme basıncı parametrelerinin damlacık çapına olan etkileri incelenmiş ve işletme koşulları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri.

Parametreler	Seviyeler		
	1	2	3
Sprej mesafesi (cm)	70	85	100
Nozul orifis çapı (mm)	0.85	1.10	1.50
İşletme basıncı (bar)	6	8	10
Spreyleme hızı (m/s)	1.2	1.2	1.2
Sprej konum açısı (derece)	30°	30°	30°

Bu çalışmada, pestisit uygulamaları için optimum sprej karakteristiklerinin belirlenmesinde, damlacık çapının performans karakteristiği olarak dikkate alındığı ve belirlenen dört parametre için Taguchi  $L_9(3^4)$  ortogonal dizisinin deney planı olarak seçilip optimum şartların belirlendiği çalışmaya ait sonuçlar kullanılmıştır (Tanış, 2019). Bu durum göz önüne alınarak yapılan bu çalışmada, Tablo 2' de görüleceği gibi nozul-hedef yüzey mesafesi, nozul çapı ve işletme basıncı üç seviyeli, diğer parametreler ise bir seviyeli seçilerek tek değişkenli deneysel analiz yapılmıştır. Bu modelde, optimum şartlara ait en etkili üç parametrenin farklı seviyelerdeki akış karakteristikleri ve atomizasyon sonucu oluşan damlacık çapına etkileri incelenmiştir. Çalışmada, pestisit uygulamalarında akış karakteristiklerini ve damlacık çapını etkileyebileceği ön görülen 27 adet deney şartına ait 54 adet deney yapılmıştır. Deneylerde bozucu ve tesadüfi faktörlerin etkisini gözlemleyebilmek için her deney farklı zamanlarda iki kez tekrarlanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Sprej uygulamalarına ait damla çapı ortalamaları ve diğer istatistikler Tablo 3'de sunulmuştur. Hacimsel medyan çapı ( $D_{V0.5}$ ) değişim aralığına göre sprej uygulamalarında çok ince (VF), ince (F) ve orta (M) yapıları damlalar üretilmiştir (Hipkins ve Grisso, 2014; Albuz<sup>®</sup>, 2016; Hypro<sup>®</sup>, 2018; Lechler<sup>®</sup>, 2018). Ortalama çap istatistiklerine göre damla dağılım spektrumunun geniş olduğu görülmektedir.

Tablo 4'de verilen hacimsel dağılımlara göre 100  $\mu m$ 'den küçük çaplı damlaların oranı toplam hacmin neredeyse yarısını oluşturmaktadır. Üretilen toplam damla hacminin büyük bir kısmını ise 200  $\mu m$ 'den küçük çaplı damlaların oluşturduğu gözlenmiştir.

Damla spektrumunun tekdüzeliğini gösteren  $r_1$  faktörünün değişim aralığı oldukça geniş olup, 1 değerinin altındaki değerlerde damla büyüklüğüne ait spektrumunun dar sınırlarda değiştiği, buna karşın 1 değerinin üzerinde olan dağılımda damla büyüklüğünün daha geniş bir aralıkta yayıldığı anlaşılmıştır. Damla homojenlik katsayısı  $r_1$

açısından değerlendirildiğinde 1'e yakın değerler homojen yapıdaki damlacıkların oluştuğunu göstermektedir. Bu çalışmadaki  $r_1$  değerlerine

göre sprej uygulamaları arasındaki damla homojenliğinin oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 3.** Damlaların sayısal, ortalama, medyan ve hacimsel çap değerleri.

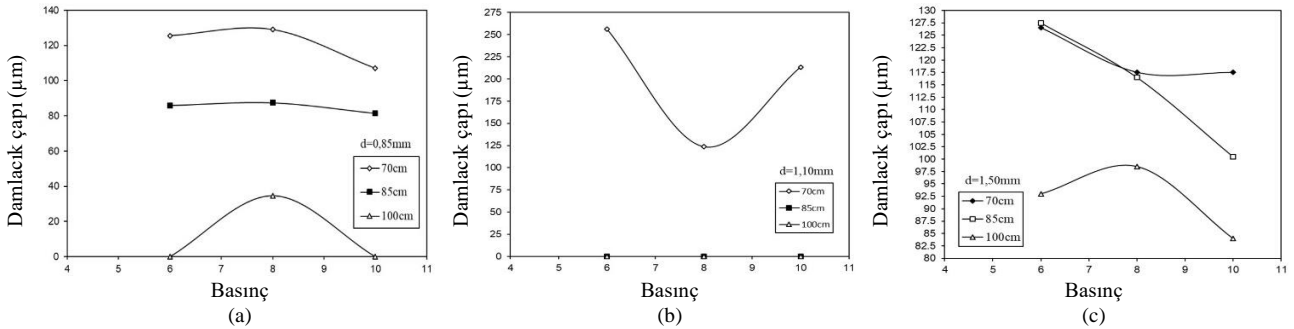
İstatistikler	D <sub>10</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>32</sub>	D <sub>N0.5</sub>	D <sub>V0.1</sub>	D <sub>V0.5</sub>	D <sub>V0.9</sub>
Ortalama	88	95	102	117	80	76	122	182
Standart sapma	30	34	36	43	36	34	46	69
Min-mak	60-226	63-249	65-264	69-296	54-240	52-221	69-300	86-448

**Tablo 4.** Damla dağılımı ve homojenliği.

İstatistikler	V <sub>100</sub> , %	V <sub>200</sub> , %	$r_1$	$r_2$	D <sub>min</sub>	D <sub>mak</sub>
Ortalama	44.9	86.3	0.90	1.60	38	465
Standart sapma	21.3	24.6	0.22	0.45		
Min-mak	13-96	3.4-100	0.50-1.60	1.22-3.44		

Aynı nozul çapı için basınç arttıkça damlacık çapı küçülmüş ve homojenite iyileşmiştir. Şekil 5'e göre işletme basıncı arttıkça damlacık çapı küçülmüştür. Bu durum işletme basıncı arttıkça daha iyi bir ilaçlama yapılabileceğini ifade etmektedir. 0.85 mm çaplı nozul, 70 cm spreyleme mesafesinde incelendiğinde, en yüksek ve en düşük spreyleme basınçları arasında damlacık çapının %14.7 azaldığı, homojenitenin ise %11.7 iyileştiği hesaplanmıştır. Nozul çapının

sabit olduğu durum için, 8 bar spreyleme basıncında karakteristik damlacık çapları incelendiğinde, en yüksek ve en düşük spreyleme mesafeleri arasında damlacık çapının %15.7 azaldığı, homojenitenin ise %16.8 iyileştiği hesaplanmıştır. 1.50 mm çaplı nozul, 10 bar spreyleme basıncında incelendiğinde ise, en yüksek ve en düşük spreyleme mesafeleri arasında damlacık çapının %28.5 azaldığı, homojenitenin ise %11.4 iyileştiği hesaplanmıştır.

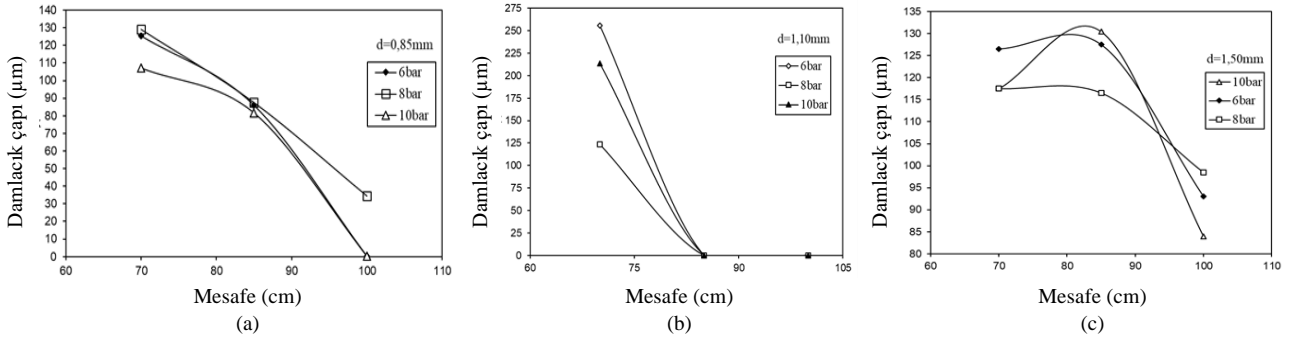


**Şekil 5.** Damlacık çapının işletme basıncına göre değişimi. (a) 0.85 mm orifis çaplı nozul için, (b) 1.10 mm orifis çaplı nozul için, (c) 1.50 mm orifis çaplı nozul için

Aynı nozul çapı için aynı spreyleme basıncında, spreyleme mesafesi arttıkça penetrasyon azalmış ve damlacık çapı küçülmüş, bununla birlikte homojenite iyileşmiştir. 1.50 mm çaplı nozul, 6

bar spreyleme basıncında incelendiğinde, en yüksek ve en düşük spreyleme mesafeleri arasında damlacık çapının %28.5 azaldığı, homojenitenin ise %13.6 iyileştiği görülmektedir (Şekil 6).

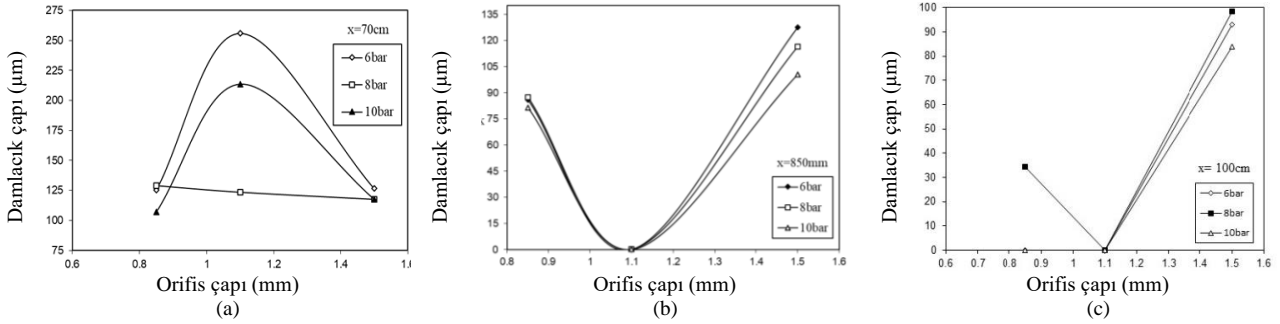




**Şekil 6.** Damlacık çapının spray mesafesine göre değişimi. (a) 0.85 mm orifis çaplı nozul için, (b) 1.10 mm orifis çaplı nozul için, (c) 1.50 mm orifis çaplı nozul için

Aynı spreyleme basıncı ve spreyleme mesafesi için nozul çapları karşılaştırıldığında; orifis çapı arttıkça damlacık çapının arttığı ve homojenite değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 10 bar spreyleme basıncı ve 85 cm spreyleme

mesafesinde en düşük ve en yüksek nozul çapları karşılaştırıldığında; nozul çapı arttıkça damlacık çapının %60.1 arttığı, homojenitenin ise %28.4 azaldığı görülmektedir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Damlacık çapının nozul orifis çapına göre değişimi. (a) 70 cm mesafe için (b) 85 cm mesafe için, (c) 100 cm mesafe için

Farklı nozul çaplarıyla yapılan bu çalışmada en yüksek homojenite 100 cm spreyleme mesafesinde, 10 bar spreyleme basıncında ve 1.50mm çaplı nozulda elde edilmiştir. En düşük homojenite ise 70 cm spreyleme mesafesinde, 10 bar spreyleme basıncında ve 1.10 mm çaplı nozulda elde edilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Atomizasyonda kullanılan nozulların karakteristik damla çapları ile homojenitelerinin aynı spreyleme mesafesinde, çalışma basıncına bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Genel olarak, aynı nozul çapı ve spreyleme mesafesinde; işletme basıncı artarken karakteristik damla çapları küçülmüş ve homojenlik katsayısı iyileşmiştir. Bu durum, işletme basıncının artmasıyla daha etkin bir ilaçlama yapılabileceğini ifade etmektedir.

Aynı işletme basıncı ve spreyleme mesafesi için nozul orifis çapları karşılaştırıldığında; orifis çapı

arttıkça damlacık çapının arttığı ve homojenlik değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 10 bar basınç ve 85 cm spreyleme mesafesinde en düşük ve en yüksek orifis çapları karşılaştırıldığında; nozul çapı arttıkça damlacık çapının %60.1 arttığı, homojenliğin ise %28.4 azaldığı hesaplanmıştır. Aynı nozulda basınç arttıkça damlacık çapı küçülmüş ve homojenlik iyileşmiştir.

Sabit işletme basıncında, spreyleme mesafesi arttıkça damlacık çapı küçülmüş ve homojenlik iyileşmiştir. Farklı nozul çaplarında en yüksek homojenlik değeri 100 cm spreyleme mesafesinde, 10 bar işletme basıncında ve 1.50 mm çaplı nozulda elde edilmiştir. En düşük homojenlik ise 70 cm spreyleme mesafesinde, 10 bar işletme basıncında ve 1.10 mm orifis çaplı nozulda elde edilmiştir.

Araştırma bulgularına dayalı olarak kesirli faktöriyel tasarımlardan olan Taguchi deney tasarımında optimum noktalar belirlenirken oldukça az sayıdaki deneysel nokta değerleri esas

almaktadır. Özellikle damlacık çapı çalışmalarında bir korelasyona ihtiyaç duyulduğu için kesirli faktöriyel tasarımlarla test elemanlarının davranışlarını tamamen temsil eden bir korelasyon üretmek mümkün değildir. Bunun için istatistikî matematik bilgilerine başvurmak gerekmektedir.

Bu çalışmada, kesirli faktöriyel tasarımla elde edilen parametrelerin optimum değerlerinin arasında en fazla etkili olanları tam faktöriyel deney tasarım metoduyla incelenmiştir. İlaçlamanın dış etkenlere bağlı (rüzgar hızı, nem, sıcaklık, vb.) olması nedeniyle parametre sayısı artırılıp optimum şartlar ve parametreler arası etkileşim daha detaylı araştırılabilir. Özellikle akış karakteristiklerini belirlemeye yönelik çalışmalar kompleks çalışmalardır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen damlacık çapı ve homojenlik değerlerinin yanı sıra damla yoğunluğu ve iz maddesinin kullanımıyla maddenin tutunma miktarı hesaplanabilir. Bu sayede ilaçlama verimliliğiyle ilgili daha detaylı bilgi sahibi olunabilir. Değişik akış simülasyon yöntemleri ve Fluent ve Comsol gibi CFD yazılımları kullanılarak akış olayları sayısal olarak çözülebilir. Ayrıca akış gözleme deneyleri yardımıyla; farklı işletme basınçları, spreyleme mesafeleri, sürüklenme miktarları ve debi değerleri vb. etkisinde akım yapısının analiz edilmesi, böylesine dış etkenlere bağlı bir fiziksel olay hakkında bilgi sahibi olmak için oldukça faydalı olacaktır.

## References

- Albuz®, 2016. Spray Nozzles, Albuz Catalog 2016, <http://albuz-spray.com>.
- Coates, W. ve Palumbo, J., 1997. Deposition, Off-Target Movement, and Efficacy of Capture™ and Thiodan™ Applied to Cantaloupes Using Five Sprayers. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(2), 181-188.
- Çelen, I.H., Arın, S., Durgut, M.R. ve Okur, E., 2007. Bağlarda Kalıntı ve Damla Dağılımı Üzerinde Pülverizatör İlerleme Hızı Değişiminin Etkisi. *Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi*, 5-7 Eylül, Kahramanmaraş, Türkiye, s.407-414.
- Çilingir İ. ve Dursun E., 2002. Bitki Koruma Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1531, Ders Kitapları Yayın No:484 Ankara, 248s.
- Dağ, S.S., Aykaç, V.T., Gündüz, A., Kantarcı, M. ve Şişman, N., 2000. Türkiye'de Tarım İlaçları Endüstrisi ve Geleceği. *Kongre 2000 Kitabı*,

TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları, <http://www.tmmobzmo.org.tr>

- FAO, 2017. FAOSTAT, Pesticides Use Online Input Data, <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Franz, E., 1993. Spray Coverage Analysis Using a Hand-Held Scanner. *Transactions of the ASAE*, 36(5), 1271-1278.
- Günel, H. ve Öztürk, İ., 2006. Bant İlaçlaması ve Direkt İlaçlama Yapan Üniteler ve Kullanım Alanları. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1), 91-95.
- Hassen, N.S., Sidik, N.A.C. ve Sheriff, J.M., 2014. Advanced Techniques for Reducing Spray Losses in Agrochemical Application System. *Life Science Journal*, 11(3), 56-66.
- Hipkins, P. ve Grisso, R.B., 2014. Droplet Chart/Selection Guide. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University Publication, 442-031.
- Hypro®, 2018. Hypro Nozzle Catalogue, <http://www.hypro-eu.com>.
- Lechler®, 2018. Agricultural Spray Nozzles, 2018 US Catalog, <http://www.lechler.de>.
- Marçal, A.R.S. ve Cunha, M., 2008. Image Processing of Artificial Targets for Automatic Evaluation of Spray Quality. *Transactions of the ASABE*, 51(3), 811-821.
- Matthews, G.A., 2004. How Was The Pesticide. *Applied Crop Protection*, 23, 651-653.
- Nuytens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M. ve Sonck, B. 2007. Effect of Nozzle Type, Size, and Pressure on Spray Droplet Characteristics. *Biosystem Engineering*, 97(3), 333-345.
- Özkan, H.E., Reichard, D.L. ve Ackerman, K.D., 1992. Effect of Orifice Wear on Spray Patterns From Fan Nozzles. *Transactions of the ASAE*, 35(4), 1091-1097.
- Sæbø, O. ve Wighus, R., 2015. Droplet Sizes From Deluge Nozzles. *SP Fire Research, SPFR Report A15 107453:1*, April 2015, 38 p.
- Sanchez-Hermosilla J. ve Medina R., 2004. Adaptive Threshold for Droplet Spot Analysis Using Water-Sensitive Paper. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5), 547-551.
- Sayıncı, B., 2016a. The Influence of Strainer Types on the Flow and Droplet Velocity Characteristics of Ceramic Flat -Fan Nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40 (1), 25-37.
- Sayıncı, B., Demir, B. ve Açık, N., 2019. Pülverizatör Memelerinde Damla Sıklığı ve Pülverizasyon

- Karakteristiklerinin Tahminlenmesi. YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi (Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences), 29(3), 458-465.
- Sayıncı, B. ve Bastaban, S., 2004. Düşük ve Yüksek Hacim Uygulamalı İlaçlama Aletlerinin Karşılaştırılması: I Tetranychus Urticae Koch [acarina, tetranychidae]'ye Karşı Etkinliklerinin Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi, 8-10 Eylül, Aydın, Türkiye, s.177-184.
- Sayıncı, B., Yarpuz-Bozdoğan, N., Yıldız, C. ve Demir, B., 2013. Konik Hüzmele Memelerde Akış Katsayısı ve Bazı İşletme Özelliklerinin Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimleri Dergisi, 9(1), 9-20.
- Sidahmed, M.M., Awadalla, H.H. ve Haidar, M.A., 2004. Symmetrical Multi-Foil Shields for Reducing Spray Drift. Biosystems Engineering, 88(3), 305-312.
- Srivastava, A.K., Goering, C.E. ve Rohrbach, R.G., 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. ASAE Textbook Number 6, ISBN 0-929355-33-4, 601 p.
- Sumner, H.R. ve Herzog, G.A., 2000. Assessing the Effectiveness of Air-assisted and Hydraulic Sprayers In Cotton Via Leaf Bioassay. The Journal of Cotton Science, 4, 79-83.
- Tanış, M., 2019. Bitkisel İlaçlamada Sprey Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 36s.
- Uremis, I., Bayat, A., Uludag, A., Bozdoğan, N., Aksoy, E., Soysal, A. ve Gonen, O., 2004. Studies on Different Herbicide Application Methods in Second Crop Maize Fields. Crop Protection, 23(11), 1137-1144.
- Yıldırım, E., 2000. Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve Kullanılan İlaçlar. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 219, Erzurum, 344 s.

## Improvement of the Electronic Control Unit for Ignition and Injection in a Wankel Engine

*Bir Wankel Motorda Ateşleme ve Püskürtme Üniteleri İçin Elektronik Kontrol Ünitesinin Geliştirilmesi*

Ömer CIHAN<sup>\*1,a</sup>, Majid JAVADZADEHKALKHORAN<sup>2,b</sup>, Osman Akın KUTLAR<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Hakkari University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 30000, Hakkari, Turkey

<sup>2</sup>Istanbul Technical University, Mechanical Faculty, Department of Mechanical Engineering, 34469, Istanbul, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 15.02.2020 • Düzeltülerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 09.06.2020

### Abstract

In this study, an electronic control unit was designed and developed for a single rotor Wankel engine. The code was written the Arduino IDE. An interface is designed in Visual Studio for computer control of a single rotor test engine. Thanks to the control unit, the injection advance, injection duration, engine speed, dwell time and ignition advance were controlled. In the hardware part, firstly solid state relay was used for switching, and then a MOSFET circuit was tested. It was observed that the ignition and spraying signals received from the oscilloscope for both switching came regularly and continuously at different speeds (600, 1000 and 3000 rpm). Afterwards, according to the results obtained with the oscilloscope and high speed camera, there was no delay in opening time of the injector with the solid state relay. However, there was 0.6 milliseconds delay in closing time of it. This situation caused the engine to run erratically and unstable at high speeds. In the circuit established with Mosfet, there was no delay at the opening and closing times of the injector. As a result, it was concluded that it would be more appropriate to use the circuit designed with MOSFET in the control unit.

**Keywords:** Arduino Microcontroller, Electronic Control Unit, Ignition, Injection, Mosfet, Solid State Relay, Wankel Engine

### Öz

*Bu çalışmada, tek rotorlu bir Wankel motoru için elektronik kontrol ünitesi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Kod Arduino veri tabanında yazılmıştır. Tek rotorlu test motorunun bilgisayar kontrolü ile Visual Studio'da bir ara yüz tasarlanmıştır. Kontrol ünitesi sayesinde püskürtme avansı, püskürtme süresi, motor hızı, bobinin dolma süresi ve ateşleme avansı kontrol edilmiştir. Donanım bölümünde, ilk önce anahtarlama için katı hal rölesi kullanılmış ve daha sonra bir mosfet devresi ile test edilmiştir. Her iki anahtarlama osiloskoptan alınan ateşleme ve püskürtme sinyallerinin düzenli ve sürekli olarak farklı hızlarda (600, 1000 ve 3000 rpm) geldiği gözlenmiştir. Daha sonra, osiloskop ve yüksek hızlı kamera ile elde edilen sonuçlara göre, katı hal rölesi ile enjektörün açılmasında herhangi bir gecikme olmamıştır. Ancak, enjektörün kapanması 0.6 milisaniye geciktiği gözlemlenmiştir. Bu durum, motorun özellikle yüksek hızlarda düzensiz ve dengesiz çalışmasına neden olmuştur. Mosfet ile kurulan devrede, enjektörün açılıp kapanmasında herhangi bir gecikme olmamıştır. Sonuç olarak, kontrol ünitesinde mosfet ile tasarlanan devrenin kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Arduino Mikro Denetleyici, Elektronik Kontrol Ünitesi, Ateşleme, Püskürtme, Mosfet, Katı Hal Rölesi, Wankel Motor

\*a Ömer CİHAN; omercihan@hakkari.edu.tr, Tel: (0438) 212 12 12/3325, <sup>a</sup>orcid.org/0000-0001-8103-3063

<sup>b</sup>orcid.org/0000-0001-6560-2799

<sup>c</sup>orcid.org/0000-0002-4795-3541

## 1. Introduction

Wankel engines are called rotary piston engines that operate according to the principle of four-stroke operation. The operating principle is different from piston engines. The Wankel engine has a rotor and eccentric shaft as a moving part (Cihan, 2017). Compared to the piston engine, there is no valve arrangement for the intake and exhaust process, and the charge change is provided through the ports on the side housings. The opening and closing times of the ports limit the side of the moving rotor (Wankel, 1963). The rotor assumes the role of the piston-connecting rod mechanism in reciprocating engines (Bensinger, 1973). To put a finer point on it, the rotor transmits power directly transmission to the output shaft by providing rotational motion due to the pressure generated by the burning gases (Ansdale, 1968). In this way, Wankel engines can reach high rotational speeds (Yamamoto, 1971). Furthermore, if evaluated in terms of parts of the engine, it is simpler and consists of fewer parts because there is no crank-connecting rod mechanism compared to the reciprocating engine (Yamamoto, 1981; Froede, 1961). The eccentric shaft rotates three rounds in one round of rotor in a rotary piston engine. There are three cycles in one round of the rotor, and one work is achieved in each round of the eccentric shaft (Keller, 1968). Other advantages of the Wankel engine can be listed such as lighter, lower NO<sub>x</sub> emissions, the ability to generate more power than a reciprocating engine with the same weight ratio, and vibration-free operation due to the absence of reciprocating masses such as piston and connecting rod (Bentele, 1961; Warner, 2009; Ohkubo et al., 2004; Yamamoto et al., 1972). Wankel engines find application in the aviation industry thanks to their advantages. Especially, the fact that the weight is less and the power density is higher increases the use of these engines in unmanned aerial vehicles. To date, many manufacturers have worked on the Wankel engine in the automotive industry (Kutlar et al., 2018). Today, only Mazda is carrying out serious work on the engine. With the improvements to be achieved thanks to the work on Wankel engines, it is envisaged that these engines will become much better in the future (Cihan et al., 2020).

Many studies have been conducted in the literature on the control of ignition and injection units in conventional piston engines. Kutlar in his study provided the control of ignition and injection in a single-cylinder four-stroke gasoline engine by adapting the necessary software and

hardware onto the research engine over the computer. According to the sensitivity of the incremental encoder used in the study, advance and duration values were adjusted as desired, and the position of the throttle was changed and engine optimization was provided (Kutlar, 1999). Tekeli in his study, a control system was produced to control the variables such as cycle mode, injection time and ignition coil charging duration (dwell duration) of single cylinder gasoline engine. The engine has been controlled with the Arduino board. In injection and ignition experiments, it was observed that the control unit was working successfully (Tekeli, 2013; Tekeli et al., 2013). Again, the injection duration, injection time, ignition advance and dwell time of a four-stroke motorcycle engine were controlled as base engine speed and load values according to the engine map (Scafati et al., 2007). A four-stroke, two-cylinder motorcycle engine is controlled by a microprocessor-based unit. Thanks to the interface program communicated in series, it is possible to change parameters such as gas throttle position, intake air temperature, injection advance and dwell time according to the angle of the engine crankshaft (Tan and Hung, 2005). Aydın in his study, developed an Electronically Controlled Fuel System (ECFS) for a diesel engine. In this way, the instantaneous change of injection pressure, injection advance and injection duration is provided. Altera DE2 FPGA development kit was used for electronic control unit (ECU). The engine's instantaneous piston position and velocity measurement were provided by optical encoder (Aydın, 2018). In another study, an electronic control unit (ECU) was made for the gasoline engine. Arduino microcontroller was used. Code programming was done at the base C. The injection flow rate was measured by the ECU. Mass flow rate is calibrated by controlling pulse width (Jeeva et al., 2014). Ignition control system are designed for the ignition engine with an unique spark plug. The system is controlled by a microcontroller. The system has a computer attached to the microcontroller card. Engine speed and load are constantly controlled by the system. Depending on load and speed, the most appropriate ignition advance is calculated with the help of an advance map in computer software and the results are sent to the microcontroller. Thanks to the system, the most suitable ignition advance can be given (Batmaz et al., 2011). High accuracy results are obtained by creating optimum ignition and injection conditions with electronic control unit for a single rotor Wankel engine (Cihan, 2017; Özmen, 2015; Cihan et al., 2017).

The test engine used in this study is RENESIS RX-8 13B model Wankel engine of Mazda company. The reasons we prefer this engine are; the convenience of the supply of parts is that the engine dimensions are a new generation mass-produced engine suitable for the use of the measuring instruments required for the experiment. Ohkubo et al. gave extensive information about the engine (Ohkubo et al., 2004). The engine brake in the laboratory has a power of 70 kW. The RX8 engine gives approximately 170 kW of power, thus is insufficient to brake the existing engine. Therefore, the twin rotor motor chosen as the experimental engine was converted into a single rotor. Many parts have been modified during the conversion process. Some parts have been remanufactured in accordance with the single rotor prototype engine. According to single rotor system are adapted parts such as eccentric shafts, intake and exhaust manifolds, lubrication and cooling systems (Cihan, 2017).

Finally, a special electronic control unit has been prepared for the ignition and injection systems of the transformed engine. The control unit was designed in two different types. The Arduino Mega and Uno microcontroller cards were first used, followed by a solid state relay that allows switching. Ignition and injection of the engine is controlled with the code written in Arduino. Thanks to the code written, ignition advance, injection advance, injection duration, dwell duration and engine speed were controlled. An interface was designed in Visual Studio for computer control of a single rotor test engine. In the second type, a circuit was designed with a MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) instead of solid state relay. Then, a mosfet circuit was used for switching. In both cases, similar results were obtained from ignition and injection signals regularly occurred in different engine speeds. Thanks to the mosfet circuit, there was no delay in the values given from the computer for ignition and injection. Thus, the delay caused by the relay has been eliminated.

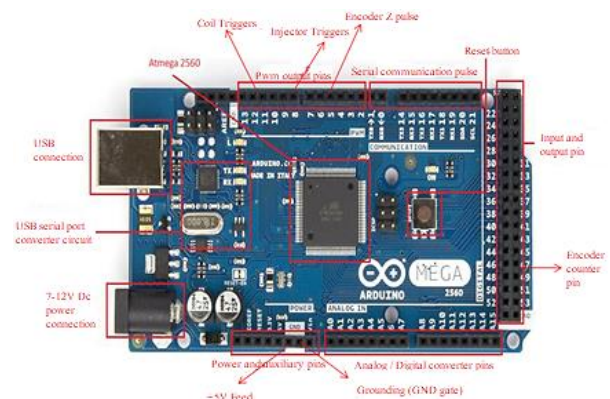
## 2. Material and Method

### 2.1 Hardware Section

A control unit was built in accordance with the ignition and injection elements of the single rotor test engine. At first, it was determined which software program will be used for ignition and

injection in the control unit and accordingly the which microcontroller board will be used.

The Arduino Mega with Atmega 2560 microcontroller and Uno with Atmega 328 microcontroller were used for the control equipment. Both boards have the same function. But, the more comprehensive Atmega 2560 microcontroller was used. (Figure 1). Arduino is basically an easy-to-use electronic programming platform with an open source and flexible hardware/software architecture. Many drive circuits are in harmony with them. It has 54 digital input-output pins (14 of which can be used as PWM output), 16 analogue inputs, 4 hardware Serial ports (UART) and 16 MHz crystal oscillators and can be fed via USB port or with an external DC adapter (Taşdemir, 2013). The first focus on the hardware part is focused on the engine control unit works.



**Figure 1.** Arduino Mega 2560 board.

The amount of current coming out of the microcontroller is inadequate for the switching system used in our cases. Transistors are the first thing to come to mind when it comes to switching in electronics in general. Higher currents and voltages can be controlled with the low voltage and current coming out of the microcontroller through the transistor.

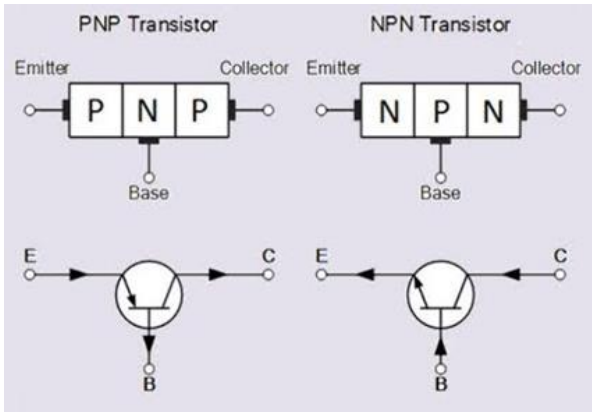
Transistors are available in different types on the market. In below are the most prominent varieties:

- BJT (Bipolar Junction Transistor): It is the simplest variety of transistor. It is suitable for high speed, average current and voltage controls.
- Mosfet: this kind of transistor is suitable for high speed, high current and voltage controls.
- Thyristor (Triac, Solid State Relay): It consists of a combination of multiple transistors. It has



average speed, and unlike the other two species, it can switch the alternative current.

Transistor types are divided into two as NPN and PNP. As seen in Figure 2, NPN transistor is used to turn the negative side on and off (Low side switching) and PNP transistors are used to turn the positive side on and off (High side switching).



**Figure 2.** Schematic view of the transistor.

One of the transistors used for the single-rotor Wankel engine electronic control unit is the Solid State Relay (SSR). The SSR is a switching unit composed entirely of electronic components with control and power circuits that do the same thing as conventional relay and contactor (Cihan, 2017).

The technical specifications of the used relay;  
 Maximum allowable current for SSR: 10 A  
 Voltage and current range for input leads: 3-32 V / 4-20 mA  
 Voltage range for output leads: 5 to 60 V  
 Current direction at input output: DC-DC

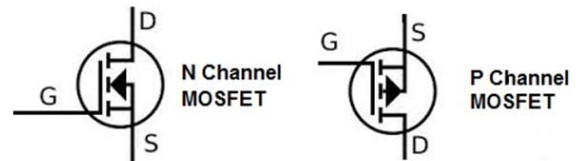
Since the single rotor engine has 4 injectors and 2 ignition coils, it will be necessary to switch each individually. For this reason, a total of 6 SSR were used. There is a cooler used in the relays. Outside of this cooler, an aluminum rail is placed under the relays that will serve as additional cooling (Figure 3).



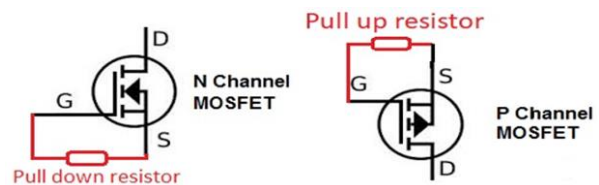
**Figure 3.** Used relay and cooler in system.

BJT can be used as a switch in non-high current circuits, but due to the high internal resistance of BJTs, it soon starts to warm up. Also, there may also be a voltage drop at the BJT output. The average current of 1.5 amp drawn by injector is a high amount for many transistors. Mosfet performs better for high currents due to its lower internal resistance. Mosfets are divided into two as N channel and P channel. N channels are used to turn on and off the negative voltage line (Low side switching) in the circuit and P channels are used to turn on and off the positive voltage line (High side switching). The MOSFET types using in electronic circuits are shown in Figure 4.

BJT is a current-controlled switch; it keeps the switch open when the current is interrupted and keeps the switch closed when there is current. Mosfet is a voltage control switch; when the voltage is applied, it turns on the switch, but continues to keep the switch on when the current is interrupted. In order to open the switch, the applied voltage must be pulled down to zero (N-Channel) or vice versa (P-channel). To do this, pull up or pull down resistors are required according to the mosfet type (Figure 5).



**Figure 4.** Schematic view of mosfet.



**Figure 5.** Schematic view of the BJT transistor.

In one side of the mosfet, there is a highly sensitive controller circuit, in the other side there is injector or ignition coil working at high current and voltages. It could be useful to isolate these two circuits electrically. Optocouplers are used for this purpose in electronics and optically separates the two circuits from each other. There is a led and a light sensor inside an optocoupler. When electricity is applied to the led side, the LED lights up and the light sensor turns on and when the current of the LED is interrupted, it turns off and turns the light sensor off (Figure 6).

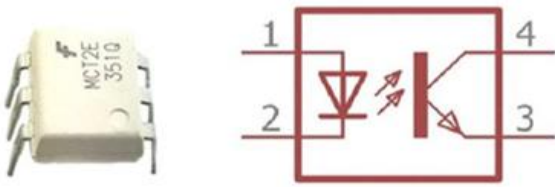


Figure 6. Optocoupler.

### 2.2 Software

Tekeli's study is based on the software of the control unit for the 3 LD 450 lombardine single-cylinder engine (Tekeli, 2013). A base (Özmen, 2015) is established in the control unit software of the single rotor Wankel test engine.

An interface is designed in Visual Studio for computer control of a single rotor test engine (Figure 7). There are separate injection durations and injection angles in terms of EA for the 4 injectors, separate ignition advances and dwell durations for the two spark plugs at the interface. Also, the engine speed is checked in order to calculate the dwell duration given in terms of angle.

When the engine is working, two ignition (leading and trailing spark plugs), four injections and one Z signal from the Arduino output were sent to the Kistler Kibox data collection device. In the Kister Kibox interface, ignition and injection analog signals are instantly displayed on V - CA diagram (Figure 8).

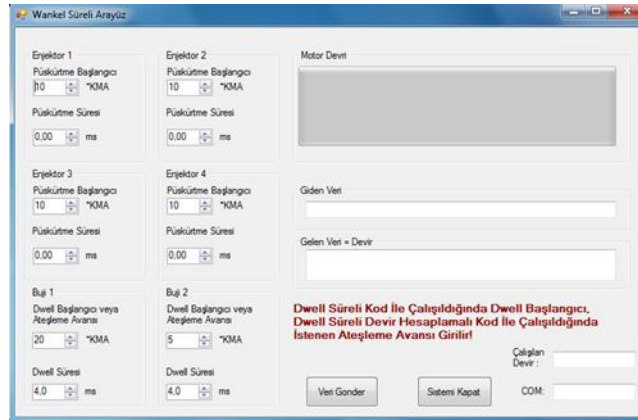


Figure 7. Interface developed for the control unit

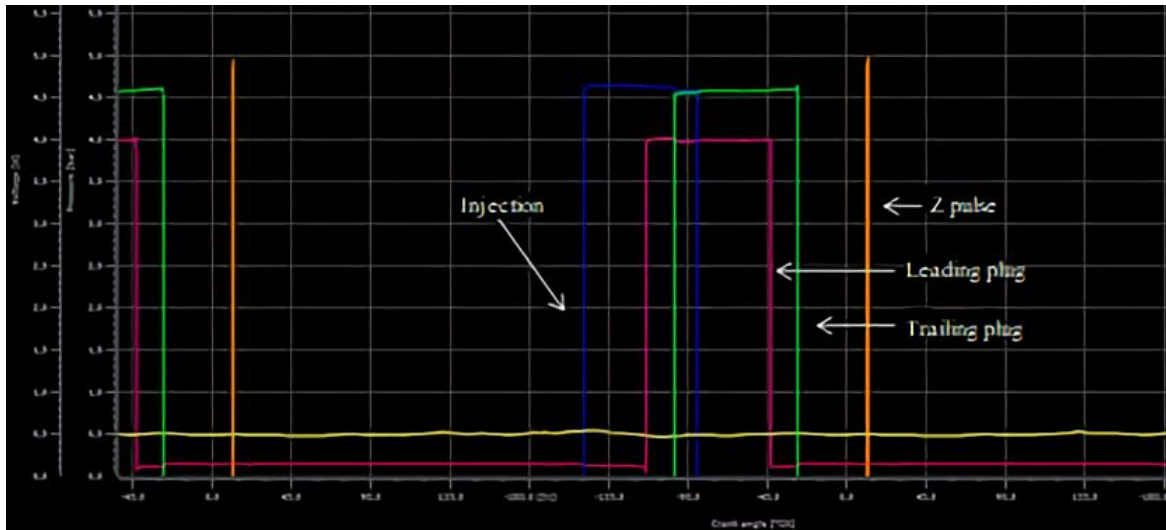


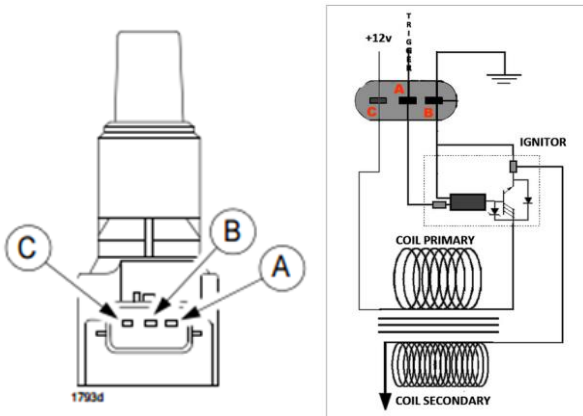
Figure 8. Ignition, injection and Z-signal was taken from Kistler in-cylinder pressure measuring device.

### 2.3 Establishment of Ignition and Fuel Injection Test Setup

The equipment used for ignition tests are ignition coils, spark plugs and high voltage cord. The

ignition coil has three pins A, B and C (Figure 9). In previous ignition coil systems a separate ignition module had been used. The engine's original ignition coils includes the ignition module (Figure 9).

The recommended dwell duration (the charge duration of the ignition coil) for UF501 ignition coils is 4 milliseconds (URL-1, 2019). The amount of current passing through the coil were examined at different charging durations. In the experiments, it has been seen that dwell durations above 4 ms causes the coil to be overheated and malfunctioned. Experiments were conducted based on the recommended time (4 ms).



**Figure 9.** 13B MSP engine ignition coil pins and circuit diagram (RX8, 2003; URL-2, 2019).

The necessary software and hardware equipments for the ignition and injection experiment has been established (Figure 4). In the ignition system, the charging duration of the coil and the EA angle (ignition advance) at which the spark plug flashes are controlled. In the injection section, the start of

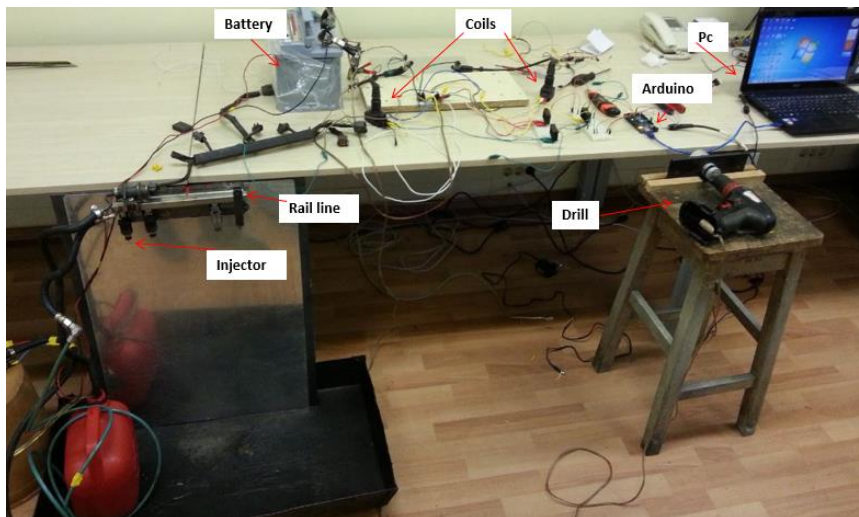
injection and the injection duration in terms of EA could be controlled.

Heidanhain brand ROD426 model, 7200 pulse counting incremental encoder was used. With one full revolution of the encoder shaft, a cycle occurs in the engine. Moreover ignition and injection was performed within the given time interval. The explanation for the Encoder-Arduino board connection was given in Table 1. The here Z signal sends a signal to the Arduino every time the engine turns.

**Table 1.** Encoder connection

Pin number	Function
1	+5 V feed
4	Counter pin
5	Encoder Z pulse
7	(-)

In the experimental setup, the encoder was rotated by a drill and the number of rotations determined by mounting the engine encoder and it was seen that both of the plugs flashed one after the other. First the leading spark plug and then the trailing spark plug was flashed. Both spark plugs were flashed in different engine speeds. On the other hand, it has been determined that the injector sprays properly in the specified range and different engine speeds in each full round of the encoder (Figure 10).



**Figure 10.** General testing apparatus for injection and ignition.

### 3. Results

In this study, an electronic control unit was developed for a single rotor Wankel engine. Arduino IDE is used to write code in the software

section. An interface is designed in Visual Studio for computer control of a single rotor test engine. The injection advance, injection duration, engine speed, dwell time (Ignition coil charging time) and ignition advance were controlled with the

code written. Injector injection durations are around milliseconds in internal combustion engines today. As is known, it can be used in all three types of transistors for the engine control unit.

Experimental setups consisting of electronic control units installed with MOSFET and SSR were separately tested. During both experiments, similar results were observed that ignition and

injection signals regularly occurred in engine speeds 600, 1000 and 3000 rpm with the drill. The test conditions are selected randomly among the possible working conditions of the engine. The delay times obtained from these test conditions was a constant value. The test results obtained from the oscilloscope are given in Figure 11. It has been seen in the results that the ignition and injection are stable without interrupting the signal.

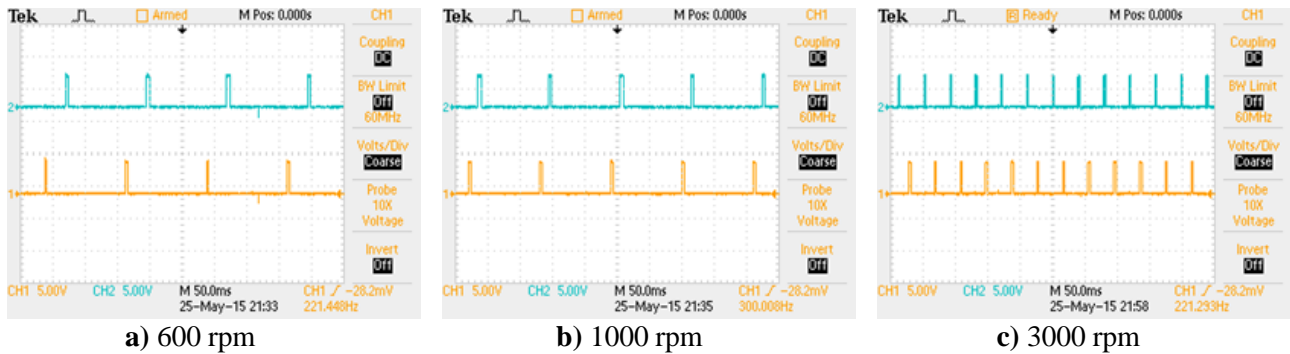


Figure 11. Ignition and injection signals at different engine speeds.

In Figure 12 the behavior of the Solid State Relay taken from an oscilloscope has been shown. In the figure, the blue line is the signal from the microcontroller and the yellow line is the output current of the relay. As could be seen, the relay has cut the current with a slight delay after the controller has interrupt the voltage.

Solid state relay’s turn on time was the same as the signal coming out from the controller and does not have any delay. But there was a delay in turn off time happening after the signal of the microcontroller.

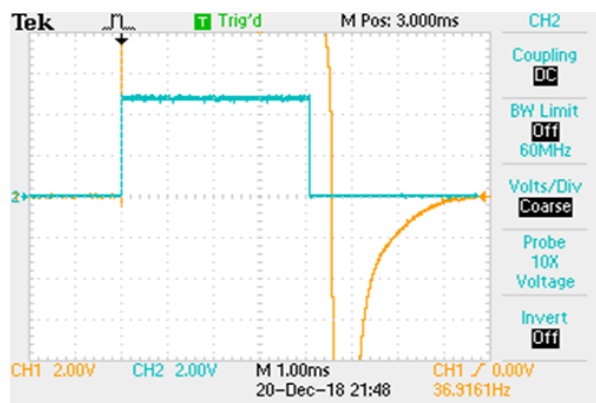


Figure 12. Delay of solid state relay.

As shown in Figure 12, this delay is 0.6 milliseconds. Even if this time is very small but it is equivalent to 7.2 EA at 2000 rpm and 10.8 EA at 3000 rpm in Wankel engine. As engine speed increases, the delay duration increased with Solid

State Relay. This situation caused a serious loss and error in the engine. Also, it causes the engine to operate erratically. When MOSFET was used in the electronic control unit, the result from the oscilloscope was shown in Figure 13. As shown in Figure 13, there was no delay for the ignition and injection of the engine during the opening and closing time in the circuit made with MOSFET.

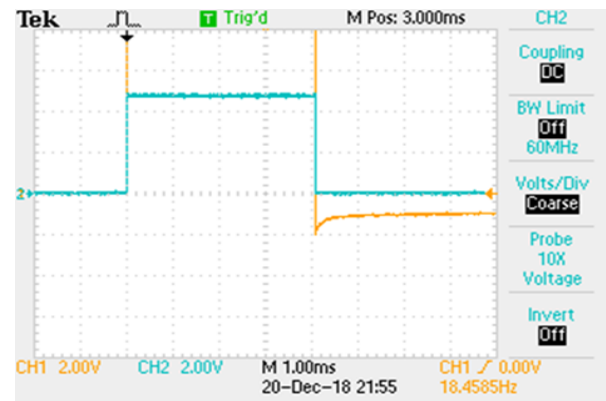


Figure 13. Delay in the mosfet circuit.

To see this issue more clear, an injector was tested with MOSFET and solid state relay outside the engine. Therefore, Photron brand Fastcam 512 high speed camera was used to determine the delay duration. The results were given in Figure 14 and Figure 15. Here, the opening and closing durations of the mosfet and solid state relay were compared. As seen, there was no difference between SSR and MOSFET at the opening duration of the injector (Figure 14). The closing



duration is shown in Figure 15. As it is understood from the figures, the solid state relay closes the injector in 4.2 milliseconds, while mosfet has closed it in 3.6 milliseconds. This situation proved the 0.6 millisecond difference measured previously in the oscilloscope.

For this reason, it is not suitable to use solid state relay for the switching task. Using MOSFET for switching in the engine control unit gave the most correct result in terms of proper and healthy operation of the engine.



Figure 14. Injector opening duration for SSR and mosfet.

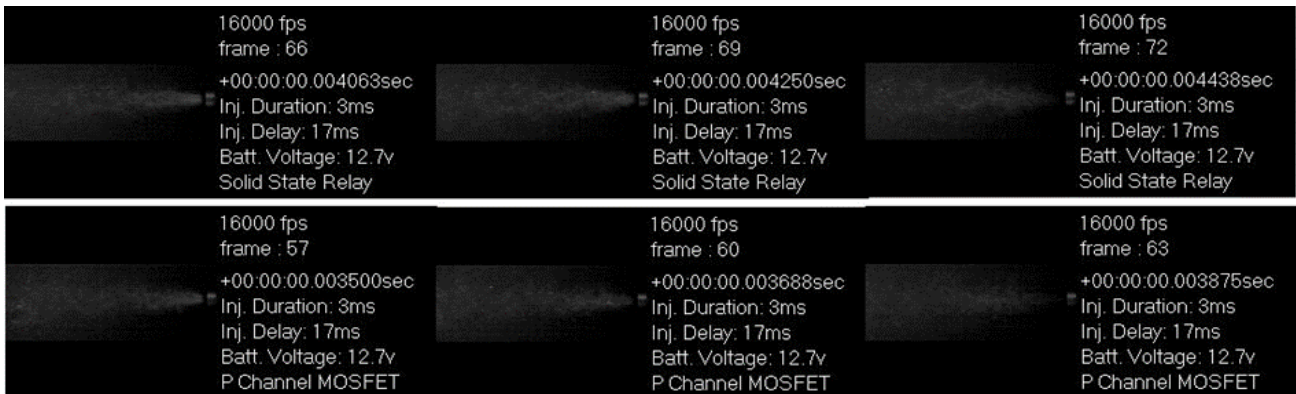
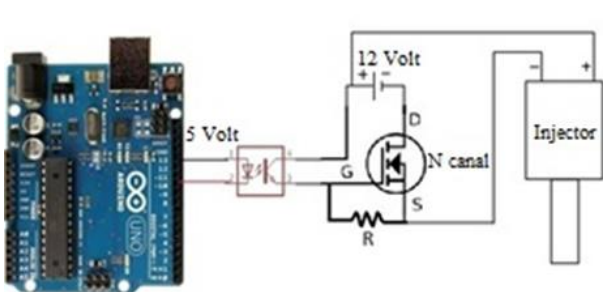


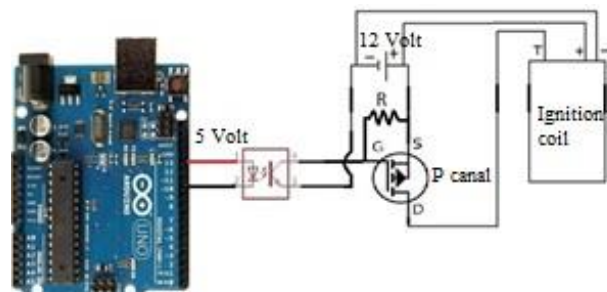
Figure 15. Injector closing duration for SSR and mosfet.

As a result, it was revealed that the circuit established with mosfet gives more accurate and realistic results. The figures below shows

microcontroller board, optocoupler and circuit of the transistor to the ignition coil (Figure 16a) and the injector (Figure 16b).



a) Circuit installed for the injector



b) Circuit installed for the ignition coil

Figure 16. Electronic control unit circuits installed with mosfet.

#### 4. Conclusions

In this study, electronic control unit (ECU) was designed and developed for a single rotor Wankel

engine. Thanks to the ECU, the ignition, injection and engine speed of the engine have been controlled. The code for the software part of the control unit is written in the Arduino IDE. An

interface was designed in Visual Studio for computer control of a single rotor test engine. Thanks to the code written, ignition advance, injection advance, injection duration, dwell duration and engine speed were controlled. SSR was used primarily for switching in the hardware part of the control unit. Afterwards, a mosfet circuit was used for switching.

The only disadvantage of using the MOSFET's in circuits is that they need pull up (for P-channel) or pull down (for N-channel) resistors in gate. The value of this resistor depends on species of the MOSFET and switching frequency. An optimum value for this resistor should be chosen otherwise the circuit will not work properly.

In both cases, similar results were obtained from ignition and injection signals regularly occurred in engine speeds 600, 1000 and 3000 rpm. Then, According to the results obtained with both oscilloscope and high speed camera, SSR's turn on time was the same as the signal from the controller and had not experienced any delays. But there was a delay in turn off time happening after the signal of the microcontroller. This delay was 0.6 milliseconds. When mosfet was used in the electronic control unit, there was no delay for the ignition and injection of the engine during the opening and closing time in the circuit made with mosfet. As a result, there was no delay by using MOSFET in the hardware part of the electronic control unit.

### Acknowledgment

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey - TUBITAK (Project Number: 115M690)

### References

Ansdale, R.F., 1968. The Wankel RC Engine, W.C.I: London, Iliffe Books Ltd., 158p.

Aydın, M., 2018. Performance Measurement and Development of Electronic Controlled Fuel Injection System for a Single Cylinder Diesel Engine. Doctoral thesis, Karabuk University, Institute of Science and Technology, Karabuk, 162p, (In Turkish).

Batmaz, I., Sahin, F. and Bilgen, H., 2011. Computer Based Control of Ignition Timing in a Single Cylinder Spark Ignition Engine. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26(4), 861-868, (In Turkish).

Bensinger, W.D., 1973. Rotationskolben-Verbrennungsmotoren, Deutsche: Berlin, Springer-Verlag., 156p.

Bentele, M., 1961. Curtiss-Wright's Entwicklungen an Rotationsverbrennungsmotoren. MTZ Motortechnische Zeitschrift, 22(6), 187-194.

Cihan, O., 2017. Experimental and Numerical Investigation of the Wankel Engine and Skip Cycle System. Doctoral thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 222p, (In Turkish).

Cihan, O., Dogan, H.E., Kutlar, O.A., Demirci, A. and Javadzadehkalkhoran, M., 2020. Evaluation of Heat Release and Combustion Analysis in Spark Ignition Wankel and Reciprocating Engine. Fuel, 116479, 261, 1-10.

Cihan, O., Javadzadehkalkhoran, M., Dogan, H.E., Demirci, A. and Kutlar, O.A., 2017. Conversion of Two Rotor Wankel Rotary Engine to Single Rotor Experimental Engine and Preliminary Results. International Journal of Advances on Automotive and Technology, 1(4), 198-206.

Froede, W.G., 1961. The NSU-Wankel Rotating Combustion Engine. SAE paper, 610017, 179-203.

Jeeva, B., Awate, S., Rajesh, J., Chowdhury, A. and Sheshadri, S., 2014. Development of Custom-Made Engine Control Unit for a Research Engine, 2<sup>nd</sup> IEEE International conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking (ET2ECN), December 2014, Surat, India, p.1-6.

Keller, H., 1968. Small Wankel Engines. SAE paper, 680572, 2339-2353.

Kutlar, O.A., 1999. A New Method to Decrease the Fuel Consumption at Part Load Conditions of Four Stroke Ottocycle (Rochas) Engine (Skipperiod Engine). Doctoral thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 201p, (In Turkish).

Kutlar, O.A., Cihan, Ö., Dogan, H.E. and Demirci, A., 2018. The Effect of Different Intake Port Geometries of a Single - Rotor Wankel Engine on Performance and Emissions at Part-Load Conditions. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(3), 809-819.

Ohkubo, M., Tashima, S. and Shimizu, R., 2004. Developed Technologies of the New Rotary Engine (Rensis). SAE paper, 2004-01-1790, 1-13.

Ozmen, M.I., 2015. Designing, Producing and Computer Based Controlling Ignition and



- Injection Units (Control Units) of a Single Rotor Wankel Engine. Master's thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 133p, (In Turkish).
- RX8, 2003. Mazda Training Manuel Service.
- Scafati, F.T., Pirozzi, F., Carpentieri, F., Finizio, G., Nocerino, F. and Colombo, L., 2007. A Smart Engine Management System for Low Emissions Motorcycle Engines. SAE paper, 2007-24-0053, 1-6.
- Tan, R.T.P. and Hung, T.T.S., 2005. Motorcycle Engine Management System with Microcontroller and Smart Drivers. SAE paper, 2005-26-362, 1-8.
- Tasdemir, C., 2013. Arduino, Vertical Axis Publisher. Turkey: Istanbul, 280s.
- Tekeli, O., 2013. Designing and Producing Ignition and Injection Units of a Gasoline Engine with Skip Cycle. Master's thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 119p, (In Turkish).
- Tekeli, O., Dogru, B., Baykara, C., Kutlar, O.A. and Arslan, H., 2013. Flexible Computer Based Control of Ignition and Injection Units of a Gasoline Engine with Skip Cycle Mechanism. Engineer and Machine Journal. 54(643), 24-35, (In Turkish).
- Url-1, [www.rx7club.com/naturally-aspirated-performance-forum-220/coil-thread-1035364/#post11468565](http://www.rx7club.com/naturally-aspirated-performance-forum-220/coil-thread-1035364/#post11468565). 13 Şubat 2019.
- Url-2, [www.rx8club.com/series-i-trouble-shooting-95/ignition-coil-testing-resistance-values-new-old-set-200423/](http://www.rx8club.com/series-i-trouble-shooting-95/ignition-coil-testing-resistance-values-new-old-set-200423/). 13 Şubat 2019.
- Wankel, F., 1963. Einteilung Der Rotations-Kolbenmaschinen. Deutsche: Stuttgart, Verlags-Anstalt, 60p.
- Warner, M., 2009. Street Rotary: USA, Penguin Group, 176p.
- Yamamoto, K., 1971, Rotary Engine, Japan: Sankaido. Tokyo, 147p.
- Yamamoto, K., 1981. Rotary Engine, Japan: Sankaido. Tokyo, 67p.
- Yamamoto, K., Muroki, T. and Kobayakawa, T., 1972. Combustion Characteristics of Rotary Engines. SAE paper, 720357, 1296-1302.

## Genelleştirilmiş Burgers–Fisher Denkleminin Açık Logaritmik Sonlu Fark Yöntemi ile Sayısal Çözümü

*Numerical Solution of the Generalized Burgers – Fisher Equation with Explicit Logarithmic Finite Difference Method*

**Gonca ÇELİKTEN<sup>\*a</sup>, Ertan SÜREK<sup>b</sup>**

*Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 36100, Kars*

• Geliş tarihi / Received: 06.02.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 09.06.2020

### Öz

Bu çalışmada genelleştirilmiş Burgers–Fisher denkleminin sayısal çözümleri açık logaritmik sonlu fark yöntemi (A-LSFY) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sayısal çözümler, tam çözümler ve literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen sayısal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar tablolarla sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Açık Logaritmik Sonlu Fark Yöntemi (A-LSFY), Genelleştirilmiş Burgers–Fisher Denklemi, Logaritmik Sonlu Fark Yöntemi

### Abstract

*In this study, numerical solutions of generalized Burgers-Fisher equation are obtained by using explicit logarithmic finite difference method (E-LFDM). Obtained numerical solutions are compared by exact solutions and numerical solutions obtained by other studies in literature. These comparisons are presented with tables.*

**Keywords:** *Explicit Logarithmic Finite Difference Method (E-LFDM), Generalized Burgers–Fisher Equation, Logarithmic Finite Difference Method.*

<sup>\*a</sup> Gonca ÇELİKTEN: gnc.cnbk@gmail.com, Tel: 0474 225 11 50-Dahili: 3125, orcid.org/0000-0002-2639-2490

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-9678-4123

## 1. Giriş

Bu çalışmada,

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \alpha U^\delta \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \beta U(1 - U^\delta), \quad a < x < b, \quad t > 0, \quad (1)$$

ile verilen Genelleştirilmiş Burgers–Fisher denklemi

$$U(x, 0) = f(x)$$

başlangıç şartı ve

$$U(a, t) = g_1(t), \quad U(b, t) = g_2(t), \quad t > 0$$

sınır şartları ile göz önüne alındı.

Burada  $f(x)$ ,  $g_1(t)$  ve  $g_2(t)$  bilinen fonksiyonlar,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  ise parametrelerdir.

Doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler son yıllarda bilimin farklı alanlarında önemli rol oynamaktadır. Genelleştirilmiş Burgers–Fisher denklemi de farklı mekanizmaların işlevlerini tanımlamak için yüksek önem arz etmektedir. Genelleştirilmiş Burgers–Fisher denklemi, gaz dinamiği, sayı teorisi, ısı iletkenlik, elastikiyet vb. gibi alanlarda çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Burgers–Fisher denkleminin sayısal çözümlerini hesaplamak için literatürde birçok sayısal yöntem önerilmiş ve uygulanmıştır. (İsmail vd., 2004) denklemi sayısal olarak çözmek için Adomian ayrıştırma (decomposition) metodunu (ADM) kullandılar. (Mittal ve Tripathi, 2015) tarafından denklemin sayısal çözümlerini elde etmek için modifiye edilmiş kübik B–spline collocation yöntemi kullanıldı. (Wazwaz, 2005) tanh yöntemini kullanarak denklemin çözümlerini elde etti. (Javidi, 2006) tarafından denklemin sayısal çözümlerini elde etmek için spektral collocation yöntemi kullanıldı. (Golbabai ve Javidi, 2009) Chebyshev polinomlarını kullanarak spektral collocation yöntemini denkleme uyguladılar. (Mickens ve Gumel, 2002) Burgers–Fisher denklemi için standart olmayan bir sonlu fark şeması sundular. (Kaya ve El\_Sayed, 2004) klasik dönüşümleri kullanmadan denklemin tam çözümlerini ve herhangi bir ayrıştırma tekniği kullanmadan da sayısal çözümlerini elde ettiler. (İsmail ve Rabboh, 2004) denklemi çözmek için bir kısıtlayıcı Pade yaklaşımını kullandılar. (Mohammadi, 2012) denklemin spline çözümünü sundu. (Moghimi ve Hejazi, 2007) tarafından denklemin sayısal çözümü için varyasyonel

iterasyon yöntemi kullanıldı. (Chen, 2007) tarafından denklemin sayısal çözümleri sonlu farklar yöntemi ile elde edildi. (Zhao vd., 2012) pseudo-spektral yöntem kullanarak denklemin sayısal çözümlerini elde ettiler. (Zhang vd., 2012) tarafından lokal süreksiz Galerkin yöntemi kullanılarak denklemin sayısal çözümleri elde edildi. (Hammad ve El-Azab, 2015) denklemi çözmek için kollokasyon yöntemi ile kompakt sonlu fark şemasını kullandılar. (Wazzan, 2009) tarafından denklemin çözmek için bir tanh-coth yöntemi kullanıldı. (Macias-Diaz, 2019) tarafından difüzyon-reaksiyon denklemlerini çözmek için açık logaritmik sonlu fark şeması kullanıldı ve önerilen yöntemin çözümlerin pozitifliğini, sınırlılığını ve monotonluğunu koruyabildiği gösterildi.

Bu çalışmada ise genelleştirilmiş Burgers–Fisher denkleminin sayısal çözümlerini hesaplamak için açık logaritmik sonlu fark şeması kullanılmıştır. Yöntemin performansını test etmek için ele alınan model problem farklı parametrelerle incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Model Problem

(1) denklemi ile verilen genelleştirilmiş Burgers–Fisher denklemini  $0 \leq x \leq 1$  aralığında;

$$U(x, 0) = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \left[ \frac{-\alpha \delta}{2(\delta + 1)} x \right] \right)^{1/\delta}$$

başlangıç şartı ve

$$U(0, t) = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \left[ \frac{\alpha \delta}{2(\delta + 1)} \left( \frac{\alpha}{(\delta + 1)} + \frac{\beta(\delta + 1)}{\alpha} \right) t \right] \right)^{1/\delta}, \quad t > 0,$$

$$U(1, t) = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \left[ \frac{-\alpha \delta}{2(\delta + 1)} \left( 1 - \left( \frac{\alpha}{(\delta + 1)} + \frac{\beta(\delta + 1)}{\alpha} \right) t \right) \right] \right)^{1/\delta} a$$

sınır şartları ile ele alalım. Bu problemin tam çözümü;

$$U(x, t) = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \left[ \frac{-\alpha \delta}{2(\delta + 1)} \left( x - \left( \frac{\alpha}{(\delta + 1)} + \frac{\beta(\delta + 1)}{\alpha} \right) t \right) \right] \right)^{1/\delta}$$

şeklinde dir.

**2.2. Sayısal Yöntem**

Bu kısımda model problemin sayısal çözümlerini hesaplamak için kullanılacak olan sayısal yöntem ele alınacaktır.

Model problemin çözüm bölgesinde  $U(x,t)$  nin  $(x_i, t_n)$  düğüm noktasındaki sonlu fark yaklaşımını  $U_i^n$  ile gösterelim, burada  $x_i = ih$  ( $i = 0, 1, \dots, N$ ),  $t_n = nk$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ),  $h = \frac{1}{N}$   $x$ -yönündeki bölüntü uzunluğu ve  $k$  zaman adıdır. (1) denklemi ile verilen genelleştirilmiş Burgers–Fisher denkleminin bir sayısal çözümünü açık logaritmik sonlu fark yöntemi (A-LSFY) ile bulalım;

(1) denklemde düzenleme yapılırsa;

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \beta U(1 - U^\delta) - \alpha U^\delta \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\frac{F(U_i^{n+1}) - F(U_i^n)}{k} = \left(\frac{\partial F}{\partial U}\right)_i^n \left( \beta U_i^n (1 - (U_i^n)^\delta) - \alpha (U_i^n)^\delta \frac{U_{i+1}^n - U_{i-1}^n}{2h} + \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{h^2} \right)$$

eşitliğinden

$$F(U_i^{n+1}) = F(U_i^n) + k \left(\frac{\partial F}{\partial U}\right)_i^n \left( \beta U_i^n (1 - (U_i^n)^\delta) - \alpha (U_i^n)^\delta \frac{U_{i+1}^n - U_{i-1}^n}{2h} + \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{h^2} \right)$$

olarak elde edilir, burada  $k$  zaman adıdır.  $F(U) = e^U$  olarak alınırsa açık logaritmik sonlu fark şeması;

$$U_i^{n+1} = U_i^n + \ln \left\{ 1 + k \left( \beta U_i^n (1 - (U_i^n)^\delta) - \alpha (U_i^n)^\delta \frac{U_{i+1}^n - U_{i-1}^n}{2h} + \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{h^2} \right) \right\} \quad (4)$$

şeklinde elde edilir.

**2.3. Kararlılık Analizi**

Sonlu fark şeması logaritmik olduğundan, inceleme şemadaki logaritmik terim Taylor serisine açılarak açıklanacaktır. (4) ile verilen sonlu fark şemasında logaritmik terim Taylor serisine açılır ve ikinci mertebeden türevden itibaren kesilirse (4) yaklaşımı

$$U_i^{n+1} = U_i^n + k \left( \beta U_i^n (1 - (U_i^n)^\delta) - \alpha (U_i^n)^\delta \frac{U_{i+1}^n - U_{i-1}^n}{2h} + \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{h^2} \right) \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. (5) yaklaşımının kararlılık analizi için von-Neumann yöntemi kullanılacaktır. Von-Neumann yöntemi sadece lineer fark denklemlerine uygulandığından (5) yaklaşımının kararlılığını

denklemi elde edilir.  $F(U)$  herhangi bir sürekli türevlenebilir fonksiyon olmak üzere (2) denklemini  $\frac{\partial F}{\partial U}$  türevi ile çarparsak;

$$\frac{\partial F}{\partial U} \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial U} \left( \beta U (1 - U^\delta) - \alpha U^\delta \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right),$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial U} \left( \beta U (1 - U^\delta) - \alpha U^\delta \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

denklemi elde edilir.

Burada  $\frac{\partial F}{\partial t}$  türevi yerine ileri fark yaklaşımı ve  $\frac{\partial U}{\partial x}$  ve  $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$  türevleri yerine merkezi fark yaklaşımları kullanılırsa (3) denkleminin sonlu fark yaklaşımı

incelemek için yaklaşımdaki  $(U_i^n)^\delta$  değişkeni sabitmiş gibi kabul edilerek lineer olmayan terimler lineerleştirilir.

$(U_i^n)^\delta = \hat{U} = \text{sabit}$  olarak ele alınırsa, bu durumda (5) yaklaşımının lineer formu

$$U_i^{n+1} = U_i^n + k \left( \beta U_i^n (1 - \hat{U}) - \alpha \hat{U} \frac{U_{i+1}^n - U_{i-1}^n}{2h} + \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{h^2} \right) \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Bu yaklaşıma von-Neumann kararlılık yöntemini uygulayalım. (6) yaklaşımında  $U_i^n$  yerine

$$U_i^n = \gamma^n e^{I\beta^* i h}, \quad I = \sqrt{-1}$$

yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa güçlendirme faktörü

$$\gamma = 1 + k\beta(1 - \hat{U}) + \frac{2k}{h^2}(\cos \theta - 1) - \left( \frac{\alpha \hat{U} k}{h} \sin \theta \right) I$$

olarak elde edilir. Von-Neumann yönteminde kararlılık şartı  $|\gamma| \leq 1$  olup (6) yaklaşımının kararlı olması için

$$h^4 - \left[ h^2 + k\beta h^2 (1 - \hat{U}) + 2k(\cos \theta - 1) \right]^2 - \alpha^2 h^2 \hat{U}^2 k^2 \sin^2 \theta \geq 0$$

eşitsizliğinin sağlanması gerekmektedir, burada  $\theta = \beta^* h$  dır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Model problemin sayısal çözümlerini hesaplamak için açık logaritmik sonlu fark yaklaşımı kullanıldı. Sonuçların doğruluğunu göstermek için aşağıdaki gibi tanımlanan mutlak hata kullanıldı:

$$\left| u(x_i, t_n) - U_N(x_i, t_n) \right|.$$

Burada  $u$  ve  $U_N$  sırasıyla tam çözümleri ve hesaplanan sayısal çözümleri göstermektedir.

Tablo 1–9 ve Şekil 1 farklı parametreler için model problemin sunulan yöntem ile hesaplanan sayısal çözümlerini göstermektedir. Tablo 1–8 ile verilen hesaplamalarda  $h=0.01$  ve  $k=10^{-5}$  olarak alınmıştır. Tablo 9 ile verilen hesaplamalar farklı  $h$  değerleri ve  $k=10^{-5}$  için yapılmıştır. Şekil 1 ile sunulan grafikte  $h=0.05$  ve  $k=10^{-4}$  ve  $k=10^{-5}$  olarak alınmıştır. Bütün hesaplamalarda  $h$  ve  $k$  değerleri yöntemin kararlılığını sağlayacak şekilde seçilmiştir.  $\alpha=0.001$ ,  $\beta=0.001$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.005$ ,  $t=0.001$ ,  $t=0.01$  zamanlarında

hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması Tablo 1 ile sunulmuştur. Tablo 2 ile  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ,  $\delta=2$  değerleri için  $t=0.0005$ ,  $t=0.0001$ ,  $t=0.001$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması Tablo 3 ile sunulmuştur. Tablo 4 ile  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=2$  değerleri için  $t=0.5$ ,  $t=1$ ,  $t=2$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması Tablo 5 ile sunulmuştur.  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=3$  değerleri için  $t=0.0005$ ,  $t=0.0001$ ,  $t=0.001$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması Tablo 5 ile sunulmuştur.  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=3$  değerleri için

$t=0.5$ ,  $t=1$ ,  $t=2$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması Tablo 6 ile sunulmuştur. Tablo 7 ile  $\alpha=0.01$ ,  $\beta=10$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.1$ ,  $t=0.5$ ,  $t=1$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması sunulmuştur. Tablo 8 ile  $\alpha=0.001$ ,  $\beta=1$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.01$ ,  $t=0.1$ ,  $t=1$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması sunulmuştur. Tablolardan da görüleceği üzere A-LSFY ile hesaplanan sayısal çözümler ve tam çözümler birbirine oldukça yakın ve mutlak hatalar oldukça küçüktür. Ayrıca genel anlamda A-LSFY ile hesaplanan mutlak hatalar

ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan mutlak hatalardan çok daha küçüktür. Tablo 9 ile  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.1$  zamanında farklı  $h$  değerleri için hesaplanan mutlak hataların karşılaştırılması sunulmuştur. Tablodan  $h$  değerleri küçüldükçe yani bölüntü sayısı arttıkça hesaplanan mutlak hataların azaldığı açıkça görülmektedir.  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=1$  zamanında  $h=0.05$  olmak üzere  $k=0.0001$  ve  $k=0.00001$  değerleri için hesaplanan mutlak hataların karşılaştırılması Şekil 1 ile sunulmuştur. Grafikten  $k$  değeri küçüldükçe hesaplanan mutlak hatanın azaldığı açıkça görülmektedir.

**Tablo 1.**  $\alpha=0.001$ ,  $\beta=0.001$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.005$ ,  $t=0.001$ ,  $t=0.01$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	ADM (İsmail vd., 2004)	Mutlak Hata A-LSFY	Mutlak Hata ADM (İsmail vd., 2004)
0.1	0.005	0.499989	0.499989	0.499979	1.606826E-12	9.68763E-6
	0.001	0.499988	0.499988	0.499986	0.737188E-12	1.93753E-6
	0.01	0.499990	0.499990	0.499971	1.218747E-12	1.93752E-5
0.5	0.005	0.499939	0.499939	0.499929	0.043410E-12	9.68691E-6
	0.001	0.499938	0.499938	0.499936	0.015821E-12	1.93738E-6
	0.01	0.499940	0.499940	0.499921	0.364042E-12	1.93738E-5
0.9	0.005	0.499889	0.499889	0.499879	2.598760E-11	9.68619E-6
	0.001	0.499888	0.499888	0.499886	2.105649E-12	1.93724E-6
	0.01	0.499890	0.499890	0.499871	3.928702E-11	1.93724E-5

**Tablo 2.**  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ,  $\delta=2$  değerleri için  $t=0.0005$ ,  $t=0.0001$ ,  $t=0.001$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	ADM (İsmail vd., 2004)	Mutlak Hata A-LSFY	Mutlak Hata ADM (İsmail vd., 2004)
0.1	0.0005	0.695426	0.695426	0.694024	3.314120E-10	1.40177E-3
	0.0001	0.695266	0.695266	0.694986	2.648670E-11	2.80396E-4
	0.001	0.695625	0.695625	0.692822	5.846127E-10	2.80301E-3
0.5	0.0005	0.646297	0.646297	0.644952	2.295709E-10	1.34526E-3
	0.0001	0.646130	0.646130	0.645861	4.297673E-11	2.69094E-4
	0.001	0.646506	0.646506	0.643816	4.578261E-10	2.69000E-3
0.9	0.0005	0.595481	0.595481	0.594204	6.253483E-10	1.27699E-3
	0.0001	0.595311	0.595311	0.595055	9.366496E-11	2.55438E-4
	0.001	0.595695	0.595695	0.593141	3.064794E-9	2.55346E-3



**Tablo 3.**  $\alpha=1, \beta=0, \delta=1$  değerleri için  $t=0.5, t=1, t=2$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	ADM (İsmail vd., 2004)	Mutlak Hata A-LSFY	Mutlak Hata ADM (İsmail vd., 2004)
0.1	0.5	0.518741	0.518741	0.518741	7.956768E-9	6.34216E-8
	1	0.549834	0.549834	0.549832	8.272271E-9	2.02886E-6
	2	0.610639	0.610640	0.610575	8.107702E-9	6.42801E-5
0.5	0.5	0.468791	0.468791	0.468791	4.278497E-8	5.66705E-8
	1	0.500000	0.500000	0.499998	4.276632E-8	1.84710E-6
	2	0.562177	0.562176	0.562116	3.986363E-8	6.06928E-5
0.9	0.5	0.419458	0.419458	0.419458	7.669116E-8	4.12803E-8
	1	0.450166	0.450166	0.450165	7.838936E-8	1.37967E-6
	2	0.512497	0.512497	0.512450	7.931240E-8	4.75268E-5

**Tablo 4.**  $\alpha=1, \beta=0, \delta=2$  değerleri için  $t=0.5, t=1, t=2$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	ADM (İsmail vd., 2004)	Mutlak Hata A-LSFY	Mutlak Hata ADM (İsmail vd., 2004)
0.1	0.5	0.714919	0.714919	0.714919	4.561336E-9	1.2582E-8
	1	0.734037	0.734037	0.734037	4.201912E-9	3.92716E-7
	2	0.770284	0.770284	0.770272	3.042091E-9	1.18631E-5
0.5	0.5	0.666837	0.666837	0.666837	3.462662E-8	1.49108E-8
	1	0.687205	0.687205	0.687205	3.259012E-8	4.75239E-7
	2	0.726464	0.726464	0.726449	2.684284E-8	1.49888E-5
0.9	0.5	0.616567	0.616567	0.616567	7.711004E-8	1.35468E-8
	1	0.637701	0.637701	0.637701	7.622775E-8	4.39435E-7
	2	0.679109	0.679109	0.679095	7.294274E-8	1.43600E-5

**Tablo 5.**  $\alpha=1, \beta=0, \delta=3$  değerleri için  $t=0.0005, t=0.0001, t=0.001$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümler ve ADM (İsmail vd., 2004) ile hesaplanan sayısal çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	ADM (İsmail vd., 2004)	Mutlak Hata A-LSFY	Mutlak Hata ADM (İsmail vd., 2004)
0.1	0.0005	0.783670	0.783670	0.784115	3.307670E-10	4.45320E-4
	0.0001	0.783660	0.783660	0.784106	3.428446E-11	4.46379E-4
	0.001	0.783683	0.783683	0.784127	5.961204E-10	4.43997E-4
0.5	0.0005	0.741296	0.741296	0.743150	3.748113E-11	1.85474E-3
	0.0001	0.741285	0.741285	0.743145	0.730005E-11	1.86057E-3
	0.001	0.741309	0.741309	0.743157	7.491985E-11	1.84746E-3
0.9	0.0005	0.696169	0.696169	0.697089	1.900808E-10	9.19582E-4
	0.0001	0.696157	0.696157	0.697089	1.203637E-11	9.31803E-4
	0.001	0.696183	0.696183	0.697088	2.031043E-9	9.04297E-4

**Tablo 6.**  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=3$  değerleri için  $t=0.5$ ,  $t=1$ ,  $t=2$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	Mutlak Hata
0.1	0.5	0.796173	0.796173	2.093267E-9
	1	0.808297	0.808297	1.709111E-9
	2	0.831283	0.831283	0.693406E-9
0.3	0.5	0.775970	0.775970	2.941145E-9
	1	0.788709	0.788709	1.762580E-9
	2	0.813031	0.813031	1.204336E-9
0.5	0.5	0.754870	0.754870	2.539852E-8
	1	0.768157	0.768157	2.347779E-8
	2	0.793701	0.793701	1.865982E-8
0.7	0.5	0.732997	0.732997	4.731525E-8
	1	0.746752	0.746752	4.538531E-8
	2	0.773379	0.773379	4.044136E-8
0.9	0.5	0.710485	0.710485	6.713537E-8
	1	0.724622	0.724622	6.591512E-8
	2	0.752176	0.752176	6.262941E-8

**Tablo 7.**  $\alpha=0.01$ ,  $\beta=10$ ,  $\delta=1$  değerleri için  $t=0.1$ ,  $t=0.5$ ,  $t=1$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması.

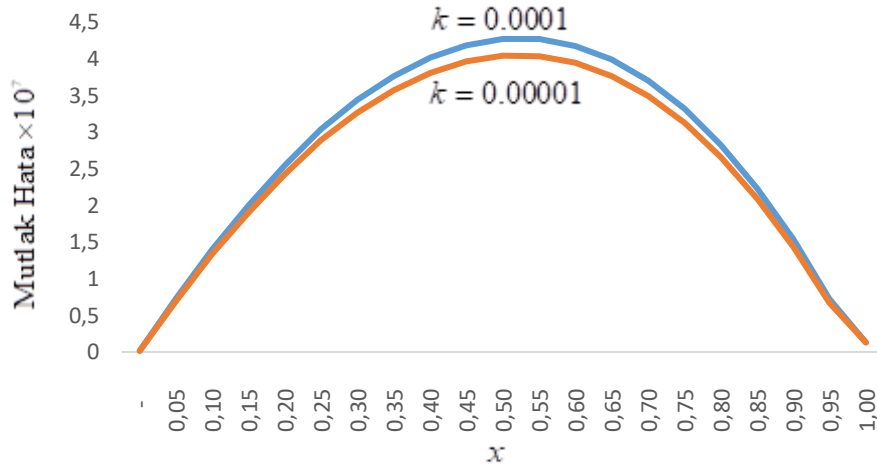
$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	Mutlak Hata
0.1	0.1	0.730961	0.730961	2.262728E-7
	0.5	0.993304	0.993304	1.361508E-7
	1	0.999955	0.999955	1.009127E-9
0.3	0.1	0.730764	0.730764	3.258575E-7
	0.5	0.993297	0.993298	3.164527E-7
	1	0.999955	0.999955	2.371977E-9
0.5	0.1	0.730567	0.730568	3.103679E-7
	0.5	0.993291	0.993291	3.761527E-7
	1	0.999954	0.999954	2.828615E-9
0.7	0.1	0.730370	0.730371	3.222722E-7
	0.5	0.993284	0.993284	3.170624E-7
	1	0.999954	0.999954	2.376637E-9
0.9	0.1	0.730173	0.730174	2.231991E-7
	0.5	0.993277	0.993277	1.366686E-7
	1	0.999954	0.999954	1.013045E-9

**Tablo 8.**  $\alpha = 0.001$ ,  $\beta = 1$ ,  $\delta = 1$  değerleri için  $t = 0.01$ ,  $t = 0.1$ ,  $t = 1$  zamanlarında hesaplanan sayısal çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması.

$x$	$t$	Tam Çözüm	A-LSFY	Mutlak Hata
0.1	0.01	0.502487	0.502487	2.233712E-9
	0.1	0.524967	0.524967	9.190670E-9
	1	0.731049	0.731049	4.779049E-9
0.3	0.01	0.502462	0.502462	3.070821E-9
	0.1	0.524942	0.524942	1.918095E-8
	1	0.731029	0.731029	1.726217E-8
0.5	0.01	0.502437	0.502437	3.101815E-9
	0.1	0.524917	0.524917	2.226644E-8
	1	0.731009	0.731009	2.127271E-8
0.7	0.01	0.502412	0.502412	3.080772E-9
	0.1	0.524892	0.524892	1.923272E-8
	1	0.730990	0.730990	1.722365E-8
0.9	0.01	0.502387	0.502387	2.273457E-9
	0.1	0.524867	0.524867	9.263809E-9
	1	0.730970	0.730970	4.723208E-9

**Tablo 9.**  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$ ,  $\delta = 1$  değerleri için  $t = 0.1$  zamanında farklı  $h$  değerleri için hesaplanan mutlak hataların karşılaştırılması.

$x$	$h = 0.1$	$h = 0.05$	$h = 0.025$	$h = 0.0125$	$h = 0.01$
0.1	3.952435E-7	1.124855E-7	4.020587E-8	1.886378E-8	1.877550E-8
0.2	6.953568E-7	1.981314E-7	6.876877E-8	3.043500E-8	2.703848E-8
0.3	9.080844E-7	2.589778E-7	8.829286E-8	4.746119E-8	3.933035E-8
0.4	1.042711E-6	2.955591E-7	1.000834E-7	6.650431E-8	5.775459E-8
0.5	1.100919E-6	3.103840E-7	1.079557E-7	8.207831E-8	7.306965E-8
0.6	1.077955E-6	3.028156E-7	1.189045E-7	9.027671E-8	8.506660E-8
0.7	9.707868E-7	2.706320E-7	1.207511E-7	9.786022E-8	9.313151E-8
0.8	7.665089E-7	2.099195E-7	1.117996E-7	9.994241E-8	9.616431E-8
0.9	4.463697E-7	1.151769E-7	8.969949E-8	9.481965E-8	9.257169E-8



**Şekil 1.**  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 0$ ,  $\delta = 1$  değerleri için  $t = 1$  zamanında farklı  $k$  değerleri için hesaplanan mutlak hataların karşılaştırılması.

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, geliştirilmiş Burgers–Fisher denklemini çözmek için açık logaritmik sonlu fark yöntemi tanımlandı. Ele alınan model problem için sayısal çözümler verildi. Sonuçlar, açık logaritmik sonlu fark yönteminin tek boyutlu geliştirilmiş Burgers–Fisher denkleminin sayısal çözümünü için yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir.

#### Kaynaklar

- Chen, X.Y., 2007. Numerical Methods for the Burgers–Fisher Equation. Master Thesis, University of Aeronautics and Astronautics, China.
- Golbabai, A. ve Javidi, M., 2009. A Spectral Domain Decomposition Approach for the Generalized Burgers–Fisher Equation. *Chaos Solitons and Fractals*, 39, 385–392.
- Hammad, D.A. ve El-Azab, M.S., 2015. 2N Order Compact Finite Difference Scheme with Collocation Method for Solving the Generalized Burger’s–Huxley and Burger’s–Fisher Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 258, 296–311.
- İsmail, H.N.A., Raslan, K. ve Rabboh, A.A.A., 2004. Adomian Decomposition Method for Burgers–Huxley and Burgers–Fisher Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 159, 291–301.
- İsmail, H.N.A. ve Rabboh, A.A.A., 2004. A Restrictive Pade Approximation for the Solution of the Generalized Fisher and Burgers–Fisher

Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 154, 203–210.

Javidi, M., 2006. Spectral Collocation Method for the Solution of the Generalized Burger–Fisher Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 174, 45–352.

Kaya, D. ve El\_Sayed, S.M., 2004. A Numerical Simulation and Explicit Solutions of the Generalized Burger–Fisher Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 152, 403–413.

Macias-Diaz, J.E., 2019. On the Numerical and Structural Properties of a Logarithmic Scheme for Diffusion–Reaction Equations. *Applied Numerical Mathematics*, 140, 104–114.

Mickens, R.E. ve Gumel, A.B., 2002. Construction and Analysis of a Non-Standard Finite Difference Scheme for the Burgers–Fisher Equation. *Journal of Sound and Vibration*, 257 (4), 791–797.

Mittal, R.C. ve Tripathi, A., 2015. Numerical Solutions of Generalized Burgers–Fisher and Generalized Burgers–Huxley Equations Using Collocation of Cubic B-splines. *International Journal of Computation Mathematics*, 92, 1053–1077.

Moghimi, M. ve Hejazi, F.S.A., 2007. Variational Iteration Method for Solving Generalized Burger–Fisher and Burger Equations. *Chaos Solitons and Fractals*, 33, 1756–1761.

Mohammadi, R., 2012. Spline Solution of the Generalized Burgers’-Fisher Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 91, 2189–2215.

Wazwaz, A.M., 2005. The Tanh Method for Generalized Forms of Nonlinear Heat Conduction and Burgers–Fisher Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 169, 321–338.

Wazzan, L., 2009. A Modified Tanh–Coth Method for Solving the General Burgers–Fisher and the Kuramoto–Sivashinsky Equations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14, 2642–2652.

Zhang, R., Yu, X. ve Zhao, G., 2012. The Local Discontinuous Galerkin Method for Burger’s–Huxley and Burger’s–Fisher Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 218, 8773–8778.

Zhao, T., Li, C., Zang, Z. ve Wu Y., 2012. Chebyshev–Legendre Pseudo-Spectral Method for the Generalised Burgers–Fisher Equation. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 1046–1056.

## Taze ve Olgunlaştırılmış Taşköprü Sarımsağından (*Allium sativum* L.) Farklı Çözücüler Kullanılarak Elde Edilen Ekstraktların Antimikrobiyal Aktivitelerinin Karşılaştırılması

*Comparison of Antimicrobial Activities of Taşköprü Raw and Aged Garlic (*Allium sativum* L.) Extracts Obtained by Using Different Solvents*

Hüseyin KARAKAYA<sup>\*a</sup>, Fatma Sezer ÖZTÜRK<sup>b</sup>, Murat YILMAZTEKİN<sup>c</sup>

*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya*

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 02.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 10.06.2020

### Öz

Sarımsak (*Allium sativum* L.), insan sağlığı üzerine pek çok yararlı etkisi olduğu bilinen önemli bir besindir. Kastamonu Taşköprü bölgesinde yoğun biçimde sarımsak yetiştiriciliği yapılmakta olup; bölge sarımsakları coğrafi işaret ile de tescillenmiştir. Siyah sarımsak olarak da bilinen olgunlaştırılmış sarımsak, ham ürünün belirli sıcaklık ve nem koşullarında olgunlaştırılması sonucu elde edilmiş bir üründür. Olgunlaştırma işlemi sırasında bazı önemli biyokimyasal değişiklikler meydana gelmekte ve buna bağlı olarak ürünün biyoaktivitesi de değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada farklı polaritelere sahip çözücüler kullanılarak taze ve olgunlaştırılmış Taşköprü sarımsaklarından ekstraktlar elde edilmesi ve bu ekstraktların antimikrobiyal aktivitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Antimikrobiyal aktivite 4 Gram (+) (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis* ve *Staphylococcus aureus*), 4 Gram (-) (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Klebsiella pneumoniae*) ve 2 maya (*Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida albicans*) olmak üzere toplamda 10 mikroorganizma türü üzerinde oyuk agar difüzyon testine göre belirlenmiştir. Genel olarak, taze sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesinin siyah sarımsak ekstraktlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma, siyah sarımsak üretimi sırasında uygulanan yüksek sıcaklığa bağlı bazı organosülfür bileşiklerin kaybı sebep olmuş olabilir. Her iki örneğin distile su ve metanol ekstraktlarının Gram (-) bakteriler ve mayalar üzerinde herhangi bir antimikrobiyal etkisi gözlemlenmemiştir. Kloroform ve etil asetat ekstraktlarının ise sadece Gram (+) bakterilerde değil aynı zamanda Gram (-) bakteriler ve mayalar üzerinde de oldukça yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Ekstraksiyon aşamasında kullanılan çözücü türünün antimikrobiyal aktivite üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal Aktivite, Ekstrakt, Sarımsak, Taşköprü, Olgunlaştırma

### Abstract

Garlic (*Allium sativum* L.) is an important food known with many beneficial health effects. It is intensively cultivated in Kastamonu Taşköprü region and it has been registered by geographical indication. Aged garlic, also known as black garlic, is the final product which produced by aging of raw garlic under certain temperature and humidity conditions. Some important biochemical changes occur during aging process and bioactivity of the product may also vary, correspondingly. In this study, it was aimed to obtain extracts from raw and aged Taşköprü garlic by using solvents with different polarity and to compare the antimicrobial activities of these extracts. Antimicrobial activity was investigated on 10 microorganisms including 4 Gram (+) (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis* and *Staphylococcus aureus*), 4 Gram (-) (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Klebsiella pneumoniae*) and 2 yeast strains (*Saccharomyces cerevisiae* and *Candida albicans*) according to agar well diffusion test. It was determined that raw garlic extracts generally performed higher antimicrobial activity than the black garlic extracts. This may be caused by lost in some organosulfur compounds depending on high temperature practice during black garlic production. Distilled water and methanolic extracts of both samples did not show any antimicrobial effect on Gram (-) bacteria and the yeasts. It was determined that chloroform and ethyl acetate extracts showed quite high antimicrobial activity not only on Gram (+) bacteria but also on Gram (-) bacteria and the yeasts. It has been concluded that solvent type used in extraction is quite effective on antimicrobial activity.

**Keywords:** Antimicrobial Activity, Extract, Garlic, Taşköprü, Aging

<sup>\*a</sup> Hüseyin KARAKAYA; huseyin.karakaya@inonu.edu.tr, Tel: (0422) 377 47 86, orcid.org/0000-0002-6311-473X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6898-6943

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-5667-9169



## 1. Giriş

Sarımsak (*Allium sativum* L.) gıda ve tıbbi ürün olarak kullanımına başvuru en eski bitkilerden biridir (Kim vd., 2011). 2018 yılı Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre dünya geneli toplam sarımsak üretimi 28.494.130 ton olup; bu alanda toplam üretimin yaklaşık %78'ini karşılayan Çin başı çekmektedir (FAO, 2020). 2019 yılı Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'deki toplam sarımsak üretimi 126.447 ton olup; yurtiçi sarımsak üretiminin önemli bir kısmını Gaziantep ile birlikte Kastamonu ili gerçekleştirmektedir (TÜİK, 2020). Kastamonu Taşköprü sarımsağı coğrafi işaret ile de tescillenmiş bir üründür (TSE, 2010). Sarımsak bileşen ve kalitesinin sıcaklık, toprak yapısı, iklim gibi gelişme koşullarına bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır (Yoo vd., 2014). Başta organosülfidler, saponinler, fenolik bileşikler ve polisakkaritler olmak üzere sahip olduğu çeşitli biyoaktif bileşenler sayesinde sağlık üzerine pek çok faydası bulunan bir besindir (Shang vd., 2019). Yakın zamanda yapılmış biyolojik ve farmakolojik araştırmalar sarımsağın antioksidan, antienflamatuar, antibakteriyel, antifungal, antikarsinojenik, antimutajenik, lipid ve kolesterol düşürücü, antihipertansif, antihipertrombotik, bağışıklık sistem düzenleyici ve prebiyotik etkileri olduğunu doğrulamaktadır (Dziri vd., 2019).

Taze sarımsağın sahip olduğu karakteristik koku, keskin aroma ve bunların sonucu yarattığı mide bulantısı nedeniyle gıda olarak tüketimi ve tıp alanındaki kullanımı kısıtlanmıştır. Olgunlaştırılmış ya da diğer adıyla siyah sarımsak, bütün taze sarımsağın yaklaşık 70-80°C'de ve kontrollü nem koşulları altında 1-3 ay bekletilmesi ile elde edilen işlenmiş yeni bir gıda ürünüdür (Kang, 2016). Yapısında bulunan  $\gamma$ -glutamil sisteinler olgunlaştırma sürecinde stabil ve kokusuz bir bileşik olan S-allil sisteine (SAS) dönüşmektedir (Kinalska ve Norena, 2014). Proses sonunda hafif ekşimsi ama taze sarımsağa göre daha tatlı bir ürün ortaya çıkmaktadır. Isıl işlem sonucu renk kararırken, yapı jel benzeri yapışkan bir nitelik kazanmaktadır (Zhang vd., 2015). Olgunlaştırma sırasında gerçekleşen enzimatik hidroliz ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına bağlı olarak meydana gelen fizikokimyasal değişiklikler ürünün farmakolojik özelliklerini de etkilemektedir (Kim vd., 2017). Örneğin, siyah sarımsakta SAS miktarı taze sarımsağa göre genel olarak 5-6 kat daha yüksektir (Bae vd., 2014; Zhang vd., 2015; Nguyen vd., 2017). Ayrıca olgunlaştırma ile

birlikte sarımsakların toplam fenolik ve flavonoid içeriğinde de başlangıca göre bir artış olduğu bildirilmiştir (Zhang vd., 2015).

Yanlış ve yersiz antibiyotik kullanımı çok çeşitli patojen bakterilerde antibiyotik direnci oluşmasına sebep olmuştur. Dahası son 10 yılda klinik kullanım için geliştirilen yeni antibiyotik sayısı birkaç taneyi geçmemektedir. Antibiyotik direnci konusu belki de Dünya Sağlık Örgütü'nün tıp biliminde yüzleşmesi gerektiği en büyük sorunu oluşturmaktadır (Wang vd., 2020). Özellikle hem Gram (+) hem de Gram (-) bakteri kaynaklı gıda zehirlenmeleri gerek tüketici gerekse de endüstri açısından endişe yaratmaktadır. Patojenlerin antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesi gıda muhafazasında doğal antibakteriyel ürünlere olan ilgiyi arttırmaktadır (Kallel vd., 2014). Sarımsağın antimikrobiyal etkisi çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Eja vd., 2007; Durairaj vd., 2009; Chen vd., 2018). *In vitro* etkisi penisilin, streptomisin, kloramfenikol, tetrasiklin, eritromisin gibi antibiyotikler ve flukonazol gibi antifungallarla kıyaslanabilir ölçüdedir (Suleiman ve Abdallah, 2014). Ayrıca Yetgin vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada Taşköprü sarımsağının Çin sarımsaklarına göre daha yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediği ortaya konmuştur.

Taze ve siyah sarımsakların antimikrobiyal aktivitelerini karşılaştıran pek çok çalışma bulunmasına rağmen farklı çözücülerle ekstraksiyonun antimikrobiyal aktivite üzerine etkisini inceleyen araştırma sayısı oldukça kısıtlıdır. Bildiğimiz kadarıyla henüz, taze Taşköprü sarımsaklarının olgunlaştırılmış formlarıyla antimikrobiyal aktivitesini kıyaslayan bir araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Taşköprü sarımsaklarından 4 farklı çözücü (distile su, metanol, etil asetat ve kloroform) ile sarımsak ekstraktlarının elde edilmesi ve ekstraktların antimikrobiyal aktivitesi üzerine kullanılan çözücü türünün etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca taze ve siyah Taşköprü sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri kıyaslanarak; ortaya çıkan farklılıkların muhtemel sebepleri de irdelenmiştir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Bitki Materyali

Çalışmaya konu olan taze sarımsaklar Kastamonu ili Taşköprü ilçesinden 2019 yılı içerisinde hasat edilmiştir. Taze sarımsaklar bölgedeki yerel üreticilerden temin edilmiş olup; siyah

sarımsaklar ise Taşköprü bölgesinden hasat edilmiş sarımsağı işleyen Dente (Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

## 2.2. Ekstraksiyon

Ekstraksiyon işlemi Yetgin vd. (2018) tarafından belirtilen yöntemde küçük modifikasyonlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle sarımsak örneklerinin dış kabukları soyularak sarımsak dişleri ortaya çıkarılmıştır. Sarımsak dişleri bıçakla küçük parçalar haline getirildikten sonra havanda dövülerek ezilmiştir. Ekstraksiyon işlemi metanol, etil asetat, kloroform (Sigma, ABD) ve distile su olmak üzere 4 farklı çözücü ile gerçekleştirilmiştir. 100 ml çözücü içeren 250 mL'lik erlenler içerisine 20 gr ezilmiş sarımsak ilave edilmiştir. Karışım, orbital çalkalayıcıda (Certomat-Sartorius, Almanya) 25°C'de 180 d/d çalkalama hızında 48 saat maserasyona bırakılmıştır. Ekstraksiyon sonunda karışımlar Whatman no.1 filtreden geçirilerek darası alınmış cam balonlar içerisine aktarılmıştır. Filtrat içerisindeki çözücü fazı rotary evaporatör (Buchi, İsviçre) ile vakum altında 45°C'de buharlaştırılarak uzaklaştırılmıştır. Çözücü kalıntısı bırakmamak için balon içerisine azot gazı uygulanmıştır. Balonlar, yüzeyindeki nemi kaybederek sabit tartıma gelinceye kadar vakumlu fırında 45°C'de bekletilmiş ve içerisindeki kalıntı miktarı tartılmıştır. Ekstrakt konsantrasyonu 100 mg/mL olacak şekilde kalıntı üzerine %10 dimetil sülfoksit (DMSO; Merck, Almanya) içeren distile su ilave edilmiştir. Ekstrakt kalıntısı tamamen çözüne kadar balonlar ultrasonik su banyosunda (Sonorex-Bandelin, Almanya) 45°C'de bekletilmiştir. Ekstraktlar 0.20 µm'lik steril filtreden geçirilerek steril deney tüpleri içerisine alınmış ve kullanımlarına kadar +4°C'de karanlıkta muhafaza edilmiştir.

## 2.3. Mikroorganizma Türleri ve Türlerin Aktifleştirilmesi

Sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesini belirlemek için 4 Gram (+) bakteri, 4 Gram (-) bakteri ve 2 maya türü olmak üzere 10 farklı mikroorganizma türü kullanılmıştır. Gram (+) bakteri türleri olarak *Bacillus subtilis* (DSMZ 1971), *Listeria monocytogenes* (ATCC 7644), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) ve *Staphylococcus aureus* (RSKK 1021/06008); Gram (-) bakteri türleri olarak ise *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella enteritidis* (ATCC 13076), *Pseudomonas aeruginosa* (DSM 50071) ve Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarı tarafından

izole edilmiş *Klebsiella pneumoniae* kullanılmıştır. Maya türleri olarak ise *Saccharomyces cerevisiae* (PYCC 2503) ve *Candida albicans* (ATCC 90028) standart suşları kullanılmıştır.

Türlerin aktifleştirilmesinde bakteriler için Brain Heart Infusion Broth (Lab M, İngiltere); mayalar için Saboraud Dextrose Broth (Lab M, İngiltere) kullanılmıştır. *B. subtilis* ve *P. aeruginosa* 30°C'de; diğer bakteri türleri ise 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Maya türleri 30°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Antimikrobiyal test öncesi bakteri kültürleri 1x10<sup>6</sup> kob/mL; maya kültürleri 1x10<sup>5</sup> kob/mL olacak şekilde %0.85'lik steril fizyolojik tuzlu su (FTS) ile seyreltilmiştir.

## 2.4. Oyuk Agar Difüzyon Testi

Sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesi Okeke vd. (2001) tarafından belirtilen oyuk agar difüzyon testinde küçük modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Steril petri (90 mm) içerisine yaklaşık 3 mm kalınlığında Mueller-Hinton Agar (MHA; Himedia, Hindistan) ve Saboraud Dextrose Agar (SDA; Lab M, İngiltere) dökülmüştür. FTS ile seyreltmesi yapılan kültürlerden 200 µl petri üzerine inoküle edilmiş ve cam eküvyon çubuğu ile yayma yapılarak ekimler gerçekleştirilmiştir. Agar yüzeyleri kuruyana kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir. Steril bir delgi yardımıyla agar üzerinde 8 mm çapında oyuklar açılmıştır. Her bir oyuk içerisine 100 mg/ml ekstrakt içeren DMSO çözeltisinden 50 µl bırakılmıştır. Ekstraktın difüzyonu için tüm petri 1 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından *B. subtilis* ve *P. aeruginosa* 30°C'de 24 saat, diğer bakteri kültürleri 37°C'de 24 saat ve maya kültürleri ise 30°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Negatif kontrol için oyuklara aynı ekstraksiyon basamakları uygulanmış ancak ekstrakt içermeyen 50 µl %10 DMSO çözeltisi ilave edilmiştir. Pozitif kontrol denemelerinde ise oyuklara %10 DMSO içerisinde hazırlanmış 1 mg/mL konsantrasyonda antimikrobiyal çözelti uygulanmıştır. Bakteri kültürlerine antibiyotik olarak ampisilin ve gentamisin sülfat (Sigma, ABD); maya kültürlerine ise antifungal olarak itrakonazol (Sigma, ABD) kullanılmıştır. Denemeler 2 farklı petride 2 tekerrür halinde gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 mm hassasiyet ile en az 2 ölçüm sonunda elde edilen sonuçlar ortalama mm inhibisyon çapı olarak ifade edilmiştir.

### 3. Bulgular

Taze Taşköprü sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitelerine ilişkin sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Metanol ve distile su ekstraktları test mikroorganizmaları arasında yalnızca *B. subtilis* ve *S. aureus* üzerinde etkili olmuştur. Etil asetat ve kloroform ekstraktlarının ise geniş bir spektrumda antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. İnhibisyon gözlenen türler arasında Gram (+) türlerin, Gram (-) türlere

kıyasla taze sarımsak ekstraktlarına karşı daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır.

Özellikle etil asetat ve kloroform ekstraktlarının antifungal aktivitesinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. *S. cerevisiae* ve *C. albicans* petrilerinde taze sarımsaklara ait etil asetat ve kloroform ekstraktları 50 mm'nin üzerinde bir inhibisyon çapı meydana getirirken; 1 mg/mL itrakonazol uygulandığında yalnızca *C. albicans* üzerinde 10 mm inhibisyon çapı elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Taze sarımsak ekstraktlarına ait antimikrobiyal aktivite sonuçları (mm inhibisyon çapı)

Gruplar	Mikroorganizmalar	Ekstraktlar*				Pozitif Kontrol**			Negatif Kontrol
		Me	Ds	Ea	Kl	Gm	Ap	İk	%10 DMSO
Gram (+) bakteriler	<i>B. subtilis</i>	22	12	42	50	46	63	TE****	İG
	<i>L. monocytogenes</i>	İG***	İG	32	34	38	37.5	TE	İG
	<i>E. faecalis</i>	İG	İG	28	29	18	40	TE	İG
	<i>S. aureus</i>	22.5	14.5	54	48	36	42.5	TE	İG
Gram (-) bakteriler	<i>E. coli</i>	İG	İG	31.5	32	26	21	TE	İG
	<i>S. enteritidis</i>	İG	İG	38	41	31	31	TE	İG
	<i>P. aeruginosa</i>	İG	İG	İG	İG	31	İG	TE	İG
	<i>K. pneumoniae</i>	İG	İG	25	25	26	İG	TE	İG
Mayalar	<i>S. cerevisiae</i>	İG	İG	64	68	TE	TE	İG	İG
	<i>C. albicans</i>	İG	İG	54	56	TE	TE	10	İG

\* Me: Metanol, Ds: Distile su, Ea: Etil asetat, Kl: Kloroform

\*\* Gm: Gentamisin, Ap: Ampisilin, İk: İtrakonazol

\*\*\* İG: İnhibisyon gözlenmedi, 8 mm'den daha küçük inhibisyon çaplarında antimikrobiyal aktivite bulunmadı olarak kabul edilmiştir.

\*\*\*\* TE: Test edilmedi, Bakteriler üzerinde antifungal, mayalar üzerinde antibiyotik ajanlar test edilmemiştir.

Siyah sarımsak örneklerine ait metanol ve distile su ekstraktları yalnızca *B. subtilis* üzerinde antimikrobiyal aktivite göstermiştir (Tablo 2). Test edilen bakteri türleri arasında *B. subtilis*'in oluşan inhibisyon çapları da göz önüne alındığında gerek taze gerek siyah sarımsak ekstraktlarına karşı en duyarlı bakteri türü olduğu tespit edilmiştir. Gram (-) bakteri üremesi siyah sarımsakların hem etil asetat hem de kloroform ekstraktları ile inhibe edilebilirken; Gram (+) türler olan *L. monocytogenes* ve *E. faecalis* üzerinde yalnızca etil asetat ekstraktları etkili olmuştur. Özellikle *P. aeruginosa* üzerinde taze sarımsak ekstraktları inhibisyon oluşturmazken siyah sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Mayalar için ise siyah sarımsak kloroform ekstraktlarının taze sarımsak ekstraktlarına kıyasla daha düşük antifungal aktivite sergilediği görülmüştür.

Genel olarak *P. aeruginosa* dışında tüm test mikroorganizmalarında taze sarımsak ekstraktları siyah sarımsak ekstraktlarına göre daha yüksek antimikrobiyal aktivite göstermişlerdir. Örneğin *E. coli* üzerinde taze sarımsak etil asetat ve kloroform ekstraktları sırasıyla 31.5 ve 32 mm inhibisyon çapı oluştururken; siyah sarımsak ekstraktları 13 ve 25 mm inhibisyon çapı oluşturmuştur (Şekil 1). Ekstrakt içermeyen negatif kontrol denemelerinde herhangi bir inhibisyon gözlenmemiştir. Buradan hareketle gözlemlenen inhibisyon çaplarının tamamen sarımsaktan gelen aktif bileşenlerden kaynaklandığı sonucuna varılmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan *P. aeruginosa* ve *K. pneumoniae* suşlarının ampisiline karşı dirençli olduğu belirlenmiştir. 1 mg/mL düzeyinde itrakonazol *C. albicans* üzerinde 10 mm inhibisyon çapı oluştururken *S. cerevisiae*'da inhibisyon gözlemlenmemiştir.



**Tablo 2.** Siyah (olgunlaştırılmış) sarımsak ekstraktlarına ait antimikrobiyal aktivite sonuçları (mm inhibisyon çapı)

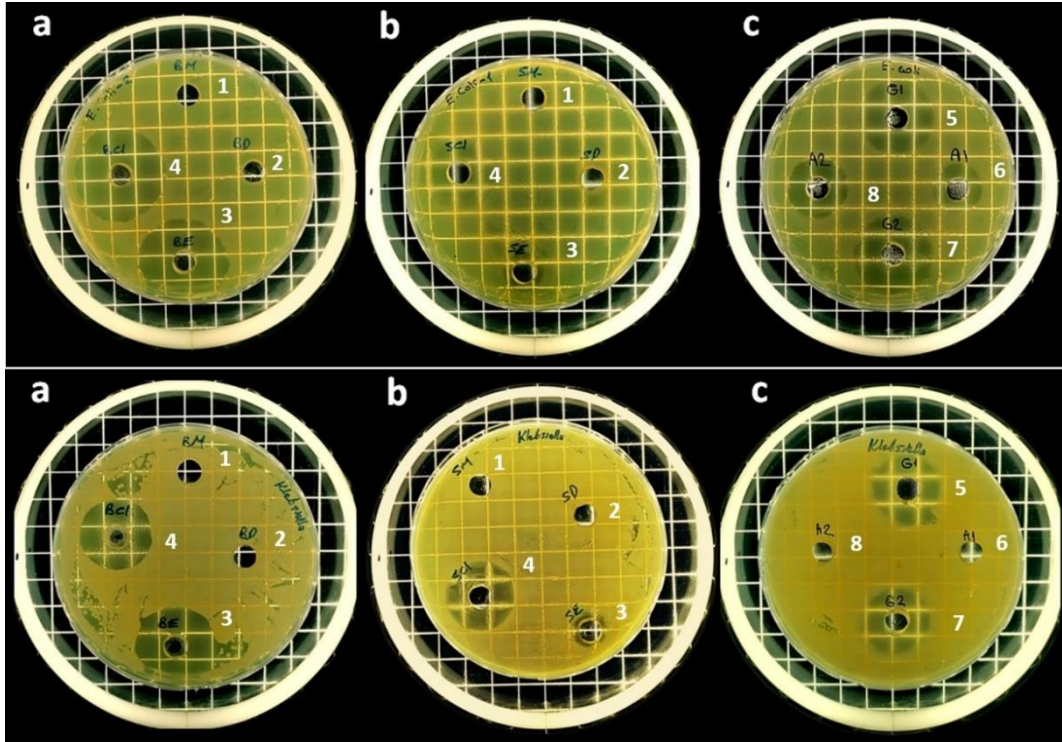
Gruplar	Mikroorganizmalar	Ekstraktlar*				Pozitif Kontrol**			Negatif Kontrol
		Me	Ds	Ea	Kl	Gm	Ap	İk	%10 DMSO
Gram (+) bakteriler	<i>B. subtilis</i>	19	10	26	40	46	63	TE****	İG
	<i>L. monocytogenes</i>	İG	İG	14	İG	38	37.5	TE	İG
	<i>E. faecalis</i>	İG	İG	15	İG	18	40	TE	İG
	<i>S. aureus</i>	İG	İG	28	20	36	42.5	TE	İG
Gram (-) bakteriler	<i>E. coli</i>	İG	İG	13	25	26	21	TE	İG
	<i>S. enteritidis</i>	İG	İG	14	30	31	31	TE	İG
	<i>P. aeruginosa</i>	İG	İG	14	17	31	İG	TE	İG
	<i>K. pneumoniae</i>	İG	İG	10	23	26	İG	TE	İG
Mayalar	<i>S. cerevisiae</i>	İG	İG	9	21	TE	TE	İG	İG
	<i>C. albicans</i>	İG	İG	İG	17	TE	TE	10	İG

\* Me: Metanol, Ds: Distile su, Ea: Etil asetat, Kl: Kloroform

\*\* Gm: Gentamisin, Ap: Ampisilin, İk: İtrakonazol

\*\*\* İG: İnhibisyon gözlenmedi, 8 mm'den daha küçük inhibisyon çaplarında antimikrobiyal aktivite bulunmadı olarak kabul edilmiştir.

\*\*\*\* TE: Test edilmedi, Bakteriler üzerinde antifungal, mayalar üzerinde antibiyotik ajanlar test edilmemiştir.

**Şekil 1.** Sarımsak ekstraktları ve standart antibiyotik maddelerin *E. coli* (üstte) ile *K. pneumoniae* (altta) üzerine etkisi. (a) Taze sarımsak ekstraktları (b) Siyah sarımsak ekstraktları. (c) Ampisilin ve gentamisin. (1) Metanol ekstraktı. (2) Distile su ekstraktı. (3) Etil asetat ekstraktı. (4) Kloroform ekstraktı. (5) Gentamisin (0.5 mg/mL). (6) Ampisilin (0.5 mg/mL). (7) Gentamisin (1 mg/mL). (8). Ampisilin (1 mg/mL).

#### 4. Tartışma

Sarımsak, yapısında pek çok organosülfid bileşiği içermekte olup; tiyosülfinat gruplarının %80'den fazlasını ise alliin bileşiği oluşturmaktadır. Sarımsak işlenirken alliin amino asidi allinaz enzimi vasıtasıyla hızlıca çok da stabil olmayan allisine dönüştürülür (Kinalski ve Norena, 2014). Sarımsağın antimikrobiyal aktivite göstermesinde

başta allisin olmak üzere tiyosülfinat bileşikleri önemli rol oynamaktadır (Bayan vd., 2014; Durairaj vd., 2009). Allisinin *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*, *Salmonella*, *Listeria*, *Proteus* ve *Streptococcal* türleri gibi geniş çapta bakteriler üzerinde antimikrobiyal etkisi olduğu tespit edilmiştir (Siddique vd., 2019). Bileşiğin antimikrobiyal etki mekanizmasındaki temel faktör çeşitli enzimlerin tiyol grupları ile

reaksiyona girmesinden ileri gelmektedir (Suleiman ve Abdallah, 2014; Siddique vd., 2019). Allisin RNA sentezini tamamen; DNA ve protein sentezini de kısmen inhibe ederek aktivite göstermektedir (Eja vd., 2007). Ajoen de allisin gibi antimikrobiyal etkili bir diğer bileşiktir. Gram (-) bakterilerden ziyade özellikle Gram (+) bakteriler ve mayalar üzerinde daha yüksek antimikrobiyal aktivite göstermektedir (Kyung, 2012). Ajoenin geniş spektrumlu antifungal özellikleri başta *C. albicans* olmak üzere maya enfeksiyonlarını önlemede oldukça etkilidir (Suleiman ve Abdallah, 2014). Yapısındaki disülfid grupları antimikrobiyal etki göstermesinde elzemdir. Özellikle moleküldeki kükürt atomu sayısının üç veya dörde kadar çıkması bileşiğin antifungal aktivitesini de arttırmaktadır (Kyung, 2012).

Aynı çözücü kullanılarak elde edilmiş sarımsak ekstraktları farklı mikroorganizma grupları üzerinde farklı inhibisyon çapları oluşturmuştur. Özellikle Gram (+) bakteri türlerinin Gram (-) türlere kıyasla sarımsak ekstraktlarına karşı daha duyarlı olmasına hücre duvar yapısındaki farklılığın sebep olduğu düşünülmektedir. Hücre duvarı yapısındaki polisakkarit ve lipit oranları başta allisin olmak üzere sarımsak bileşenlerinin geçirgenliği üzerinde etkilidir (Eja vd., 2007). Gram (+) bakteriler dış katmanda çok da güçlü olmayan bir peptidoglikan tabakasına sahip olup antimikrobiyal ajanlara karşı daha hassastırlar (Yetgin vd., 2018). Gram (-) bakteriler ise Gram (+) türlerden farklı olarak ilave bir dış membran ve periplazmik boşluğa sahiptir. Bu ilave membran lipopolisakkarit yapısından oluşmakta ve antibakteriyel maddelerin geçişine karşı hücreye daha fazla direnç sağlamaktadır (Moşanu vd., 2018). Yüksek oranda fosfolipit içermesi hücre geçirgenliğini azaltan bir etmendir (Moşanu vd., 2018; Yetgin vd., 2018). Geçmiş çalışmalarda sarımsak ekstraktlarının hücre membranında yırtılma ve bütünlüğünde bozulmaya sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Sitoplazmik membranın bozulmasıyla hücre içeriğinde kayıp olmakta ve hücre ölümü gerçekleşmektedir (Chen vd., 2018). Allisin, *C. albicans* hücre duvarını tahrip ederek antifungal aktivite de göstermektedir (Yetgin vd., 2018).

Allisinin parçalanması sonucu diallil sülfid (DAS), diallil disülfid (DADS), diallil trisülfid (DATS), dithiin ve ajoen gibi diğer tiyosülfinat gruplarının oluştuğu düşünülmektedir (Zhang vd., 2015). Bileşikteki disülfid bağ sayısı arttıkça (sırasıyla 0, 1, 2, 3 ve 4) bileşiğin antimikrobiyal aktivitesinde de artış meydana gelmektedir (Tsao ve Yin,

2001). Sarımsak yağını oluşturan bu bileşiklerin oluşumu sulu ekstraktların antimikrobiyal aktivite göstermemesine neden olmaktadır (Kyung, 2012). Sarımsakların kloroform ve etil asetat ekstraktları hemen hemen tüm test mikroorganizmaları üzerinde antimikrobiyal aktivite gösterirken; benzer bir sonuç metanol ve su ekstraktlarında elde edilememiştir. Bu duruma sarımsak bileşimde yer alan antimikrobiyal etkili bileşenlerin lipofilik karakterde olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Jabar ve Al-Mossawi (2007) çeşitli bakteriler üzerinde doğrudan sarımsak suyu kullanıldığında, sulu ekstraktlara göre daha yüksek antimikrobiyal aktivite elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Victor ve Igeleke (2012) *E.coli*, *S. aureus*, *S. typhi* ve *P. aeruginosa* ile yaptıkları sarımsak antimikrobiyal aktivite testinde 11.32 mg/mL kloroform ekstraktının 22.98 mg/mL metanol ekstraktından fazla inhibisyon çapı oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise taze sarımsağın metanol ve su ekstraktlarında *K. pneumoniae*, *S. aureus* ve *P. aeruginosa* için antimikrobiyal aktivite gözlemlenmezken; etil asetat ve kloroform ekstraktlarının yüksek aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir (Bakht vd., 2011). Benzer şekilde metanolik taze sarımsak ekstraktının *C. albicans* üzerinde bir antifungal etkisi tespit edilememiştir. Bu duruma sarımsak biyoaktif bileşenlerinin metanolde yeterince çözünmemesinin sebep olduğu düşünülmüştür (Suleiman ve Abdallah, 2014). Bu bağlamda elde edilen sonuçlar literatür ile yüksek oranda uyumluluk göstermektedir.

Araştırma sonuçları incelendiğine taze Taşköprü sarımsak ekstraktlarının, siyah sarımsak ekstraktlarına göre daha yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği söylenebilir (Tablo 1 ve Tablo 2). Olgunlaştırmada uzun süreli yüksek sıcaklık uygulaması ile birlikte pek çok uçucu bileşenin uzaklaştığı ve bu nedenle siyah sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesinin azaldığı düşünülmektedir. Geçmiş çalışmalar taze sarımsak yağının yoğun olarak DAS, DADS, DAT ve DATS içerdiğini ifade etmektedir (Tsao ve Yin, 2001). Ancak taze sarımsakta tespit edilen bazı uçucu sülfür bileşenleri siyah sarımsakta tespit edilememektedir. Ayrıca DADS, DATS ve diallil tetrasülfidin (DATES) taze sarımsak uçucu bileşenleri arasındaki oranları sırasıyla %21, %21.3 ve %0.21 iken; bu değerler siyah sarımsakta sırasıyla %0.84, %0.86 ve %0.11 seviyelerine düşmektedir (Calle vd., 2017). Ekstraktta tiyosülfinat bileşikleri bulunmadığında antimikrobiyal etkinin de ortadan kalktığı bildirilmektedir (Durairaj vd., 2009). Jung ve Sohn (2014) tarafından yapılan çalışmada taze

sarımsaktan elde edilmiş sulu ekstraktlar pek çok patojenik mikroorganizma türü üzerinde antimikrobiyal etki gösterirken; aksine siyah sarımsaklara ait sulu ekstraktların antimikrobiyal etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada test edilen mikroorganizmalar arasında tek istisnayı *P. aeruginosa* oluşturmuştur. Taze sarımsak ekstraktları ile inhibe edilemeyen *P. aeruginosa* siyah sarımsakların kloroform ve etil asetat ekstraktları ile inhibe edilebilmiştir. Siyah sarımsak üretimi sırasında yüksek sıcaklık etkisiyle açığa çıkan parçalanma ürünlerinin veya konsantre olduğu için miktarı artan bazı sülfütlü bileşiklerin *P. aeruginosa* gelişimini inhibe edildiği varsayılmaktadır. Örneğin, olgunlaştırma işlemiyle sarımsaktaki allil metil sülfid miktarı yaklaşık 5 katına çıkmaktadır (Calle vd., 2017). Yine siyah sarımsakta SAS miktarının taze sarımsağa göre 5-6 kat daha yüksek olduğu bilinmektedir (Nguyen vd., 2017).

Güney Kore'den temin edilen taze ve olgunlaştırılmış sarımsaklara ait distile su ve etanol ekstraktlarının *B. cereus* üremesinde bir inhibisyon yaratmadığı ancak kloroform ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir. *S. enteritidis* ve *L. monocytogenes* üzerinde ise taze ve olgunlaştırılmış sarımsakların ne distile su ne de etanol ve kloroform ekstraktlarının herhangi bir antimikrobiyal etkisi görülmemiştir (Jang vd., 2018). Çalışmamızda kullanılan hem taze hem de siyah sarımsaklara ait tüm ekstrakt tipleri *B. subtilis* üzerinde antimikrobiyal aktivite gösterirken; *S. enteritidis* üremesi ise etil asetat ve kloroform ekstraktları ile inhibe edilebilmiştir. Yetgin vd. (2018) Taşköprü bölgesinde yetişen sarımsakların antimikrobiyal aktivitesinin Çin sarımsaklarından fazla olduğu sonucuna varmış olup; coğrafi farklılıkların aktif bileşen içeriğini etkileyebileceğini ifade etmişlerdir.

Ampisilin, hücre duvarı polisakaritlerinin çapraz bağlanmasını düzenleyen transpeptidasyon enzimlerini inhibe ederek hücre duvarı sentezini engellemektedir (Eja vd., 2007). Daha önce, bazı *P. aeruginosa* suşlarının ampisilin direncine sahip olduğu bildirilmiştir (Wang vd., 2020). Çalışmada kullanılan *K. pneumoniae* ve *P. aeruginosa* suşlarının sarımsak ekstraktları ile inhibe edilebilmesine karşın; ampisiline karşı dirençli olduğu tespit edilmiştir. Bu mikroorganizmaların  $\beta$ -laktamaz aktivitesi sayesinde ampisiline karşı direnç göstermiş olabileceği düşünülmektedir. Çünkü  $\beta$ -laktam grubu antibiyotiklere direnç kazanmanın allisine karşı direnç kazanmaktan çok daha kolay olduğu belirtilmektedir (Jabar ve Al-

Mossawi, 2007). Gentamisin ise ribozomal RNA'ya bağlanarak okunma doğruluğunu düşürmekte ve ribozomun translokasyonunu inhibe etmektedir (Yoshizawa vd., 1998). Etki mekanizmasındaki farklılıktan ötürü *K. pneumoniae* ve *P. aeruginosa* suşları gentamisin ile inhibe edilebilmiştir. Antifungal ajan olan itrakonazol, funguslarda ergosterol sentezini sekteye uğratarak aktivite göstermektedir. Ergosterol fungal membranın asıl bileşeni olup membran geçirgenliğini ve membrana bağlı enzimlerin aktivitesini doğrudan etkilemektedir (De Backer vd., 2001). İtrakonazolün lipofilik özellikte olması çeşitli matrislerdeki absorpsiyonun düşük ve değişken olmasına neden olmaktadır. *In vitro* çalışmalar *Candida* türlerinin itrakonazole karşı duyarlı olduğunu (Martin, 1999); ancak *S. cerevisiae*'nin ise nispeten daha dirençli olduğunu göstermektedir (Zerva vd., 1996). Çalışmada elde edilen sonuçlar literatür bilgilerini destekler niteliktedir.

## 5. Sonuç

Son yıllarda yoğun antibiyotik ve antifungal tüketimine bağlı olarak patojenlerin direnç kazandığı antimikrobiyal ajan sayısı günden güne artış göstermektedir. Bu nedenle patojen türler üzerine antimikrobiyal etkili doğal bileşen arayışları hız kesmeden devam etmektedir. Sarımsak çok eski çağlardan beri alternatif tıpta faydalanılan gıdalardan birisi olup, son yıllarda da piyasadaki ürün çeşitliliğini arttırmış durumdadır. Bunlardan birisi olan siyah sarımsak nispeten daha az kokulu, yoğun fenolik ve S-allil sistein içeriğine sahip önemli bir sarımsak ürünüdür. Araştırma sonuçları Taşköprü sarımsak ekstraktlarının dikkate değer antimikrobiyal aktivite gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu açıdan, Taşköprü sarımsaklarının gıda ve tıp alanında patojenlerle mücadelede umut vaat eden bir gıda ve antimikrobiyal bileşen kaynağı olduğu söylenebilir. Ayrıca taze Taşköprü sarımsağının, olgunlaştırılmış siyah formuna göre antimikrobiyal aktivitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yine bu çalışmada antimikrobiyal özellikteki bileşenlerin eldesinde çözücü seçiminin oldukça önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak kloroform ve etil asetat gibi polaritesi daha düşük çözücülerle elde edilen ekstraktlar metanol ve su gibi polar çözücü ekstraktlarına kıyasla daha yüksek antimikrobiyal aktivite göstermişlerdir. İlerleyen çalışmalarda apolar çözücü ekstraktlarında mevcut olan biyoaktif bileşenler ve etki mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.



**Kaynaklar**

- Bae, S.E., Cho, S.Y., Won, Y.D., Lee, S.H. ve Park, H.J., 2014. Changes in S-allyl cysteine Contents and Physicochemical Properties of Black Garlic During Heat Treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 55, 397-402. doi: 10.1016/j.lwt.2013.05.006.
- Bakht, J., Tayyab, M., Ali, H., Islam, A. ve Shafi, M., 2011. Effect of Different Solvent Extracted Sample of *Allium sativum* (Linn) on Bacteria and Fungi. *African Journal of Biotechnology*, 10(31), 5910-5915.
- Bayan L., Koulivand, P.H. ve Gorji, A. 2014. Garlic: A Review of Potential Therapeutic Effects. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 4(1), 1-14.
- Calle, M.M., Capote, F.P., de Castro, M.D.L., 2017. Headspace-GC-MS Volatile Profile of Black Garlic vs Fresh Garlic: Evolution Along Fermentation and Behavior Under Heating. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 98-105. doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.010.
- Chen, C., Liu, C.H., Cai, J., Zhang, W., Qi, W.L., Wang, Z., Liu, Z.B. ve Yang, Y., 2018. Broad-spectrum Antimicrobial Activity, Chemical Composition and Mechanism of Action of Garlic (*Allium sativum*) Extracts. *Food Control*, 86, 117-125. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.11.015.
- De Backer, M.D., Ilyina, T., Ma, X.J., Vandoninck, S., Luyten, W.H.M.L. ve Bossche, H.V., 2001. Genomic Profiling of the Response of *Candida albicans* to Itraconazole Treatment Using a DNA Microarray. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 45(6), 1660-1670. doi: 10.1128/AAC.45.6.1660-1670.2001.
- Durairaj, S., Srinivasan, S. ve Lakshmanaperumalsamy, P., 2009. In vitro Antibacterial Activity and Stability of Garlic Extract at Different pH and Temperature. *Electronic Journal of Biology*, 5(1), 5-10.
- Dziri, S., Casabianca, H., Hanchi, B. ve Hosni, K., 2019. Composition of Garlic Essential Oil (*Allium sativum* L.) as Influenced by Drying Method. *Journal of Essential Oil Research*, 26(2), 91-96. doi: 10.1080/10412905.2013.868329.
- Eja, M.E., Asikong, B.E., Abriba, C., Arikpo, G.E., Anwan, E.E. ve Idoh, KHE., 2007. A Comparative Assessment of the Antimicrobial Effects of Garlic (*Allium sativum*) and Antibiotics on Diarrheagenic Organisms. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 38(2), 343-348.
- FAO, 2020. Food and Agricultural Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. 31 Mayıs 2020.
- Jabar, M.A. ve Al-Mossawi, A., 2007. Susceptibility of Some Multiple Resistant Bacteria to Garlic Extract. *African Journal of Biotechnology*, 6(6), 771-776.
- Jang, H.J., Lee, H.J., Yoon, D.K., Ji, D.S., Kim, J.H. ve Lee, C.H., 2018. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Fresh Garlic and Aged Garlic By-products Extracted with Different Solvents. *Food Science and Biotechnology*, 27(1), 219-225. doi: 10.1007/s10068-017-0246-4.
- Jung, C. ve Sohn, H.Y., 2014. Antioxidation, Antimicrobial and Antithrombosis Activities of Aged Black Garlic (*Allium sativum* L.). *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology*, 42(3), 285-292 (in Korean). doi: 10.4014/kjmb.1407.07002.
- Kallel, F., Driss, D., Chaari, F., Belghith, L., Bouaziz, F., Ghorbel, R. ve Chaabouni, S.E., 2014. Garlic (*Allium sativum* L.) Husk Waste As A Potential Source of Phenolic Compounds: Influence of Extracting Solvents on Its Antimicrobial and Antioxidant Properties. *Industrial Crops and Products*, 62, 34-41. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.07.047.
- Kang, O.J., 2016. Physicochemical Characteristics of Black Garlic After Different Thermal Processing Steps. *Preventive Nutrition and Food Science*, 21(4), 348-354. doi: 10.3746/pnf.2016.21.4.348.
- Kim, N.Y., Park, M.H., Jang, E.Y. ve Lee, J.H., 2011. Volatile Distribution in Garlic (*Allium sativum* L.) by Solid Phase Microextraction (SPME) with Different Processing Conditions. *Food Science and Biotechnology*, 20(3), 775-782. doi: 10.1007/s10068-011-0108-4.
- Kinalski, T. ve Norena, C.P.Z., 2014. Effect of Blanching Treatments on Antioxidant Activity and Thiosulfinate Degradation of Garlic (*Allium sativum* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 7, 2152-2157. doi: 10.1007/s11947-014-1282-1.
- Kyung, H.K., 2012. Antimicrobial Properties of Allium Species. *Current Opinion in Biotechnology*, 23, 142-147. doi: 10.1016/j.copbio.2011.08.004.
- Martin, M.V., 1999. The Use of Fluconazole and Itraconazole in the Treatment of *Candida albicans* Infections: A Review. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 44, 429-437.
- Moşanu, A.G., Cojocari, D., Balan, G. ve Sturza, R., 2018. Antimicrobial Activity of Rose Hip and Hawthorn Powders on Pathogenic Bacteria.

- Journal of Engineering Science, 25(4), 100-107. doi: 10.5281/zenodo.2576764.
- Nguyen, N., Giang, M. ve Nguyen. T., 2017. Biological Activities of Black Garlic Fermented with *Lactobacillus plantarum* PN05 and Some Kinds of Black Garlic Presenting Inside Vietnam. Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, 51(4), 672-678.
- Okeke, M.I., Iroegbu, C.U., Eze, E.N., Okoli, A.S. ve Esimone, C.O., 2001. Evaluation of Extracts of the Root of *Landolphia owerrience* for Antibacterial Activity. Journal of Ethnopharmacology, 78, 119-127.
- Shang, A., Cao, S.Y., Xu, X.Y., Gan, R.Y., Tang, G.Y., Corke, H., Mavumengwana, V. ve Li, H.B., 2019. Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium sativum* L.). Foods, 8, 246. doi: 10.3390/foods8070246.
- Siddique, R., Anjaneyulu, K. ve Muralidharan, N.P., 2019. Antimicrobial Efficacy of Garlic-Lemon in Comparison with Sodium Hypochlorite Against *E. faecalis*. Journal of Clinical and Diagnostic Research, 13(1), ZC55-ZC58. doi: 10.7860/JCDR/2019/37745.12527.
- Suleiman, E.A. ve Abdallah, W.B., 2014. In vitro Activity of Garlic (*Allium sativum*) on Some Pathogenic Fungi. European Journal of Medicinal Plants, 4(10), 1240-1250.
- Tsao, S.M. ve Yin, M.C., 2001. In vitro Antimicrobial Activity of Four Diallyl Sulphides Occuring Naturally in Garlic and Chinese Leak Oils. Journal of Medical Microbiology, 50, 646-649.
- TSE, 2010. Türk Patent Enstitüsü ve Marka Kurumu, Coğrafi İşaretler, Taşköprü Sarımsağı, Dosya No: C2009/010, <https://www.ci.gov.tr/cografii-isaretler/detay/38009>. 8 Şubat 2020.
- TÜİK, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>. 31 Mayıs 2020.
- Victor, I.U. ve Igeleke, C.L., 2012. Antimicrobial Properties of the Extracts of Locally Sold Garlic and Neem Leaf in Benin City, Nigeria. International Journal of Biosciences, 2(4), 21-27.
- Wang, Y., Liang, Y. ve Cock, I.E., 2020. *Rosa canina* L. Fruit Extracts Inhibit the Growth of Bacterial Triggers of Some Autoimmune Inflammatory Diseases and Potentiate the Activity of Conventional Antibiotics. Pharmacognosy Communications, 10(1), 7-17. doi: 10.5530/pc.2020.1.3.
- Yetgin, A., Canlı, K. ve Altuner, E.M., 2018. Comparison of Antimicrobial Activity of *Allium sativum* Cloves from China and Taşköprü, Turkey. Advances in Pharmacological Sciences, 1-5. doi: 10.1155/2018/9302840
- Yoshizawa, S., Fourmy, D. ve Puglisi, J.D., 1998. Structural Origins of Gentamicin Antibiotic Action. The EMBO Journal, 17(22), 6437-6448.
- Yoo, M., Lee, S., Kim, S., Hwang, J.B., Choe, J. ve Shin, D., 2014. Composition of Organosulfur Compounds from Cool- and Warm-type Garlic (*Allium sativum* L.) in Korea. Food Science and Biotechnology, 23(2), 337-344.
- Zerva, L., Hollis, R.J. ve Pfaller, M.A., 1996. In vitro Susceptibility Testing and DNA Typing of *Saccharomyces cerevisiae* Clinical Isolates. Journal of Clinical Microbiology, 34(12), 3031-3034.
- Zhang, Z., Lei, M., Liu, R., Gao, Y., Xu, M. ve Zhang, M., 2015. Evaluation of Alliin, Saccharide Contents and Antioxidant Activities of Black Garlic During Thermal Processing. Journal of Food Biochemistry, 39, 39-47. doi: 10.1111/jfbc.12102.

## Gri Tahmin Modelleri ile Toplam Enerji Talep Tahmini: Türkiye Örneği

### Forecasting Total Energy Demand with Grey Prediction Models: The Case of Turkey

Hüseyin Avni ES\*

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

• Geliş tarihi / Received: 18.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 14.06.2020

#### Öz

Gelişen ve gelişmekte olan ülkelerin, sürdürülebilir enerji politikaları belirleyebilmesinde enerji talep tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gri tahmin modelleri, önceden herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan sınırlı veri ile başarılı tahminler gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışmada, son dönemde önemli ekonomik ve sosyal gelişme gösteren Türkiye'nin toplam enerji talebi için Gri tahmin modelleri dikkate alınmıştır. Gri tahmin; zaman serisi ve sebep-sonuç ilişkisine dayalı çeşitli tahmin modellerini içermektedir. Çalışma kapsamında; zaman serisi modellerinden GM(1,1) ve Gri Verhulst ile sebep-sonuç ilişkisine dayalı GM(0,N) ve GM (1,N) modelleri olmak üzere dört farklı gri tahmin modeli ele alınmıştır. İki çeşit tahmin yapısının kullanılmasındaki amaç; son dönemdeki trendin zaman serisi ile yakalanması ve enerji talebindeki değişimin sebep-sonuç ilişkisiyle elde edilmesi sağlanarak güvenilir ve güçlü tahminlere ulaşmaktır. GM (1,1) ve Gri Verhulst modelleri geçmiş toplam enerji tüketim verileri ile kurulmuştur. GM (0,N) ve GM (1,N) modellerinde ise; GSYH, nüfus, ithalat, ihracat ve bina yüzölçümü bağımsız değişkenleri kullanılarak GM (0,6) ve GM (1,6) modelleri oluşturulmuştur. Kurulan tüm modeller performans ölçütlerine göre kıyaslanmış, başarılı tahmin gerçekleştiren üstün modellerin GM (1,1) ve GM (1,6) olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak; GM (1,1) ile zaman serisi ve GM (1,6) ile yüksek ve düşük senaryo bazlı olmak üzere Türkiye toplam enerji talebi 2025 yılına kadar tahmin edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gri Tahmin Modelleri, Tahmin, Toplam Enerji Talebi, Türkiye

#### Abstract

Energy demand forecasts are needed for developing and emerging countries to be able to determine sustainable energy policies. Grey prediction models can make successful predictions with limited data without the need for any prior information. In this study, Grey prediction models are considered for the total energy demand of Turkey that shows significant economic and social development in recent years. Grey prediction includes forecasting models based on time series and cause-effect relationships. Four different grey prediction models including GM (1,1) and Grey Verhulst from the time series models, and GM (0,N) and GM (1,N) based on the cause-effect relationships were discussed. The purpose of using two types of forecasting structures is to achieve reliable and strong forecasts by capturing the recent trend with the time series and obtaining the change in energy demand by cause-effect relationship. GM (1,1) and Grey Verhulst model has been established with past total energy consumption data. By using independent variables of GDP, population, import, export and building surface area for GM (0, N) and GM (1, N) models, GM (0,6) and GM (1,6) models were formed. All applied models have been compared according to performance criteria, GM (1,1) and GM (1,6) have been designated to be superior models that performed successful predictions. As a result; Turkey's total energy demand has been forecasted up to 2025 with GM (1,1) based on time series and GM (1,6) including high and low scenarios.

**Keywords:** Grey Prediction Models, Forecasting, Total Energy Demand, Turkey

\*Hüseyin Avni ES; avnies@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 41 35; orcid.org/0000-0003-4987-0173

## 1. Giriş

Enerji, ülkelerin sürdürülebilir gelişme ve kalkınma hedefleri için hayati öneme sahip stratejik bir bileşendir. Sanayileşme, nüfus artışı, refah seviyesinin yükselmesi gibi etkenler nedeniyle enerjiye olan talep dünya genelinde artış göstermektedir. 2000-2018 yılları arasında, dünyada toplam enerjiye olan talep %48 oranında artarak 13865 milyon ton eşdeğer petrol (mtep) seviyesine ulaşmıştır (BP, 2019). Bununla birlikte bu dönem içerisindeki nüfus yaklaşık %24 oranında artarak 7.6 milyar düzeyine yükselmiştir. Refah seviyesinin bir göstergesi olan GDP ise bu dönemde %156 artarak 86 trilyon dolar seviyesine ulaşmıştır (Worldbank, 2020). Bu göstergelerdeki artış toplam enerji talebi etkilemekte ve bu artış eğiliminin gelecek dönemlerde de devam etmesi beklenmektedir. Dünyadaki eğilime benzer şekilde Türkiye de; altyapısını geliştirme, kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, sosyal refahı artırma ve sanayi sektörünü uluslararası düzeyde rekabet edebilecek bir noktaya çıkarma çabası içerisinde. Bu hedefler çerçevesinde; Türkiye'nin 2000 yılında 170 milyar TL olan GSYH değeri, 2018 yılında 3,7 trilyon TL seviyesine yükselmiştir. Ayrıca, 2018 yılında Türkiye nüfusu 2000 yılına göre %21 artarak 82 milyon düzeyine ulaşmıştır. (TUİK, 2020). Gelişen sanayi ve büyüyen nüfus ile birlikte Türkiye'de enerji talebi son dönemde önemli derecede artış göstermiştir. 2000-2018 yılları arasında, toplam enerjiye olan talep % 110 artarak 154 mtep seviyesine ulaşmıştır. Toplam enerji tüketiminin %31.6'sı petrol, %26.5'i doğalgaz, %27.6'sı kömür, %8.8'i hidroelektrik ve %5.6'sı ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir (BP, 2019). Özellikle petrol ve doğalgaz rezervleri bakımından kendi ihtiyacını karşılayamayan bir ülke konumunda olan Türkiye için toplam enerji talebinin karşılanması, sanayileşmenin ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebilmesindeki en önemli faktörlerdendir. Bu nedenle Türkiye toplam enerji talebinin doğru ve güvenilir tahminlerinin elde edilmesi, uzun dönemli ve kararlı enerji politikalarının belirlenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Enerji talebinin önemi nedeniyle literatürde birçok farklı tahmin tekniği ile çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak; Box-Jenkins (Boran, 2014), regresyon modelleri (Bessec ve Fouquau, 2008), genetik algoritma (Lee ve Tong, 2011), parçacık sürü optimizasyonu (Ünler, 2008), yapay sinir ağları (Hamzacebi vd., 2019), destek vektör makineleri

(Li vd., 2018), bulanık mantık (Küçükali ve Barış, 2010), gri tahmin (Hamzacebi ve Es, 2014) verilebilir. Literatürde yer alan derleme makalelerinden enerji talep tahmin modelleri ile ilgili olarak daha ayrıntılı bilgilere ulaşılabilir (Suganti ve Samuel, 2012; Salisu ve Ayinde, 2016). Son dönemlerde toplam enerji talebi ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Salcedo-Sanz ve arkadaşları, hesaplamalı zekâ algoritmaları kullanarak makroekonomik değişkenlerden bir yıllık enerji talep tahmin modeli geliştirmişlerdir (Salcedo-Sanz vd., 2015). Sánchez-Oro ve arkadaşları yaptıkları çalışmada İspanya'nın toplam enerji talebi için değişken komşu arama ve aşırı makine öğrenmesi algoritmasını birleştiren bir yaklaşım önermişlerdir (Sánchez-Oro vd., 2016). Wei ve Yanfeng çalışmalarında, dalgacık dönüşümüne dayalı gelişmiş bir Gri Markov zincir modeli kullanarak Çin'in enerji arzı ve talebi üzerine araştırma yapmışlardır (Wei ve Yanfeng, 2017). Wang ve arkadaşları çalışmalarında, Çin ve Hindistan'daki enerji talebini daha doğru tahmin etmek için gri teoriye dayalı tek doğrusal, hibrit-doğrusal ve doğrusal olmayan tahmin teknikleri geliştirmişlerdir (Wang vd., 2018). Çeşitli tahmin teknikleriyle Türkiye'ye yönelik enerji talep tahmin çalışmaları da yapılagelmektedir. Aydın yaptığı çalışmada, ekonomik ve demografik faktörlere dayalı regresyon modelleri ile başarılı enerji tüketim modeli kurmuştur (Aydın, 2014). Es ve arkadaşları, YSA ile 1970-2010 yılları arasındaki sosyo-ekonomik gösterge verilerini kullanarak net enerji talebi projeksiyonunda bulunmuşlardır (Es vd., 2014). Bayramoğlu ve arkadaşları çalışmalarında birincil enerji talebi için Anfis modelini kurmuşlar ve 2030 yılına kadar talep tahmininde bulunmuşlardır (Bayramoğlu vd., 2017). Bu iki çalışma Türkiye özelinde ayrıntılı literatür özetleri sunmaktadır (Es vd., 2014; Bayramoğlu vd., 2017). Gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, enerji tahmin çalışmalarında daha çok YSA modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte Box-Jenkins, regresyon modelleri, destek vektör regresyon ve meta-sezgisel yöntemler (Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Koloni Optimizasyonu) de yer almaktadır. Dünya'da enerji alanında sıklıkla kullanılan Gri tahmin çalışmalarının (Xie vd., 2015; Liu vd., 2016; Wei ve Yanfeng, 2017; He ve Lin, 2018) Türkiye'de, özellikle Türkçe literatürde sınırlı sayıda olduğu görülmektedir (Es, 2019).

Bu çalışma kapsamında Türkiye toplam enerji talep tahmini için 4 farklı gri tahmin modeli

oluşturulmuştur. Zaman serisi modellerinden GM(1,1) ve Gri Verhulst modeli ile sebep-sonuç ilişkisine dayalı GM(0,N) ve GM (1,N) modelleri ile tahminler gerçekleştirilmiştir. Kurulan modellerin başarısı performans kriterlerine göre değerlendirildikten sonra geleceğe yönelik talep tahminleri yapılmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısımları şu şekilde planlanmıştır; İkinci bölümde Gri tahmin modellerinin adımları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Türkiye toplam enerji talep tahmini için sistematik bir şekilde tahmin süreci işletilmiş, son bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmeler sunulmuştur.

## 2. Gri Tahmin

Gri sistem teorisi disiplinler arası bir yaklaşım olup 1980'li yılların başında belirsizliğin sayılaşırılmasında alternatif bir metot olarak Deng tarafından ortaya atılmıştır (Deng, 1982). Gri teori, az bilgiye sahip olunan sistemler ile ilgilenir, küçük örneklem ve eksik bilginin yer aldığı problemlere çözüm bulabilmektedir (Lin ve Liu, 2004). Gri teori; sistem analizi, veri işleme, geleceği tahmin, karar verme ve sistem kontrol alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Es vd., 2018). Teoride temel amaç; stokastik veya bulanık yöntemlerle saptanamayan belirsiz sistemlerin davranışlarını, sınırlı sayıda veri yardımı ile analiz edebilmektir. (Liu ve Lin, 2006). Gri teorisinin bir dalı olan gri tahmin; zaman

serisi ve sebep-sonuç ilişkisine dayanan çeşitli tahmin yöntemlerini içermektedir. GM (1,1), Gri Verhulst modelleri tek tür veriye sahip modelleri ifade ederken, GM (0,N) ve GM (1,N) ise N-1 bağımsız değişkene sahip gri modelleri ifade etmektedir.

### 2.1. GM(1,1)

GM(1,1), birçok farklı alandaki tahmin problemlerinde kullanılabilen ve başarılı sonuçlar elde edebilmektedir. Bir zaman serisi tahmin modeli olan GM(1,1) birinci dereceden tek değişkenli gri modeli ifade etmektedir. Eldeki veri sayısı çok az olsa dahi (en az 4 veri gerektirmekte) model kurulabilmekte ve verilerin olasılık dağılımına ilişkin bir ön bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle GM(1,1) kısıtlı veri ile çalışılabilecek rekabetçi ortamlardaki tahmin çalışmaları için uygundur. GM(1,1); birikimli üretim (1-AGO), gri modelleme (GM) ve ters birikimli üretim (1-IAGO) olmak üzere üç temel işleme dayanmaktadır. Model aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

**Adım1:** Veri serisinin oluşturulması

$X^0$  negatif değer içermeyen, ardışık sıralı ve eşit zaman aralığındaki veri setinden oluşmaktadır.

$$X^0 = \{X_1^0, X_2^0, X_3^0, \dots, X_n^0\} = (X_t^0; \quad t = 1, 2, 3, \dots, n; n \geq 4) \quad (1)$$

**Adım2:** Birikimli serinin elde edilmesi

$X^1$ 'in; yani birikimli zaman serisinin elde edilebilmesi için Denklem (3)'teki birikim üretme

$$X^1 = \{X_1^1, X_2^1, X_3^1, \dots, X_n^1\} = (X_t^1; \quad t = 1, 2, 3, \dots, n; n \geq 4) \quad (2)$$

$$X_k^1 = \left\{ \sum_{t=1}^k X_t^0, t = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (3)$$

**Adım3:** Gri modelin oluşturulması;

$$X_t^0 + a Z_t^1 = b, \quad t = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$$Z_t^1 = \theta X_t^1 + (1 - \theta) X_{t-1}^1; \quad t = 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

işlevi (AGO) uygulanmaktadır. Böylece monoton bir şekilde artan seri elde edildiği görülmektedir.

Denklem (4)'te, a gelişim katsayısı, b ise dinamik katsayı olarak adlandırılmaktadır.  $[a \ b]^T$  katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır. Denklem (5)'teki  $\theta$  ise yatay ayarlama katsayısı olarak ifade edilir. Ardışık komşu dizisinin ağırlığını belirlemeye yarar. Genellikle 0.5 olarak alınır.

$$A = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (6)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z_2^1 & 1 \\ -Z_3^1 & 1 \\ \dots & \dots \\ -Z_n^1 & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} X_2^0 \\ X_3^0 \\ \dots \\ X_n^0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

**Adım4:** Beyazlaştırma işleminin gerçekleştirilmesi;

Veri beyazlaştırma işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\frac{dX_t^1}{dt} + aX_t^1 = b \quad (8)$$

Hesaplanan a ve b katsayılarıyla diferansiyel denklem çözülerek gri tahmin eşitliği elde edilir.

$$\hat{X}_{t+1}^1 = \left[ X_1^0 - \frac{b}{a} \right] e^{-at} + \frac{b}{a}, \quad t = 0,1,2,\dots \quad (9)$$

Gri tahmin modelini oluşturabilmek ve orijinal verinin (t + 1) zamanındaki tahmin değerini elde etmek için, aşağıdaki ters birikim üretme işlevi (1-IAGO) kullanılır.

$$X_{t+1}^0 = X_{t+1}^1 - X_t^1 \quad (10)$$

Denklem (9), Denklem (10)'da yerine yazılırsa, Denklem (11) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$X^1 = \{X_1^1, X_2^1, X_3^1, \dots, X_n^1\} = (X_t^1; \quad t = 1,2,3,\dots,n; n \geq 4) \quad (12)$$

**Adım2:** Ters birikimli serinin elde edilmesi

$X^0$ 'in elde edilebilmesi için Denklem (14)'deki 1-IAGO uygulanmaktadır.

$$X^0 = \{X_1^0, X_2^0, X_3^0, \dots, X_n^0\} = (X_t^0; \quad t = 1,2,3,\dots,n; n \geq 4) \quad (13)$$

$$X_{k+1}^0 = \{(X_{k+1}^1 - X_k^1); \quad k = 1,2,3 \dots, n - 1; \quad X_1^0 = X_1^1\} \quad (14)$$

**Adım3:** Gri Verhulst modelin kurulması;

$$X_t^0 + aZ_t^1 = b[Z_t^1]^2; \quad t = 2,3, \dots, n \quad (15)$$

$$Z_t^1 = \theta X_t^1 + (1 - \theta)X_{t-1}^1; \quad t = 2,3 \dots, n \quad (16)$$

$$\hat{X}_{t+1}^0 = (1 - e^a) \left[ X_1^0 - \frac{b}{a} \right] e^{-at} \quad (11)$$

Oluşturulan Gri tahmin modeli ile gelecek t dönemleri kullanılarak tahminler elde edilir.

### 2.2. Gri Verhulst Modeli

GM(1,1) üstellik yasasını karşılayan ve monoton değişim sürecini barındıran serilerde faydalı iken, Gri Verhulst modeli monoton olmayan dalgalı gelişim veya doymuş sigmoid serilerinde ön plana çıkmaktadır. Gri Verhulst Modelinde ikinci dereceden diferansiyel denklem kurulur. Verhulst modeli esas olarak belirli bir olgunluğa ulaşmış durumlarda süreçleri tanımlamak ve incelemek için kullanılır. İnsan popülasyonunun, biyolojik büyümenin, ürün ekonomik ömrünün vb. durumların tahmininde bu model faydalı olabilir. Gri Verhulst modelinin adımları aşağıdaki gibidir (Liu ve Lin, 2006).

**Adım1:** Veri serisinin oluşturulması

$X^1$  ardışık sıralı ve eşit zaman aralığındaki orijinal veri setini ifade eder.



$$A = [a \ b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (17)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z_2^1 & [Z_2^1]^2 \\ -Z_3^1 & [Z_3^1]^2 \\ \vdots & \vdots \\ -Z_n^1 & [Z_n^1]^2 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} X_2^0 \\ X_3^0 \\ \vdots \\ X_n^0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

**Adım4:** Verhulst beyazlaştırma işlemiyle Gri Verhulst Modelin elde edilmesi;

$$\frac{dX_t^1}{dt} + aX_t^1 = b[X_t^1]^2 \quad (19)$$

Hesaplanan a ve b katsayılarıyla diferansiyel denklem çözülerek Gri Verhulst tahmin eşitliği elde edilir.

$$\hat{X}_{t+1}^1 = \frac{aX_0^1}{bX_0^1 + [a - bX_0^1]e^{at}} \quad (20)$$

GM(1,1)'de olduğu gibi ters birikim üretme işlevine gerek yoktur. Çünkü bu işlem Adım 2'de gerçekleştirilmiştir. t dönemleri dikkate alınarak kurulan Gri Verhulst tahmin modeli ile tahminler gerçekleştirilir.

### 2.3. GM(1,N)

GM(1,N), tek dereceden N-1 bağımsız değişkene sahip gri modeli ifade etmektedir. Sebep-sonuç ilişkisine dayalı olarak bağımsız değişkenler ile oluşturulan tek dereceli diferansiyel çözümün zamana bağlı olarak beyazlaştırması ile sonuca ulaşır. GM(1,N)'in adımları aşağıdaki gibidir.

**Adım1:** Veri serisinin oluşturulması

$X_1^0$  bağımlı değişken serisini ifade ederken,  $X_i^0$  bağımlı değişkeni açıklayan N-1 tane bağımsız değişken serisini ifade etmektedir.

$$X_1^0 = (x_1^0(1), x_1^0(2), \dots, x_1^0(n)) \quad (21)$$

$$X_i^0 = (x_i^0(1), x_i^0(2), \dots, x_i^0(n)) ; i = 2, 3, \dots, N \quad (22)$$

**Adım 2:** Birikimli serinin elde edilmesi

$X_j^1$  tüm değişkenler için oluşturulan birikimli seriyi ifade eder. Birikim üretme işlevi ile (1-AGO) ile birikimli seriler Denklem (24)'deki gibi elde edilir.

$$X_j^1 = (x_j^1(1), x_j^1(2), \dots, x_j^1(n)) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (23)$$

$$x_j^1(t) = \sum_{g=1}^t x_j^0(g) \quad (t = (1, 2, \dots, n; n \geq 4)) \quad (24)$$

**Adım 3:** N boyutlu gri diferansiyel eşitliğin oluşturulması

$$x_1^0(t) + az_1^1(t) = \sum_{i=2}^N b_i x_i^1(t) \quad (25)$$

$$z_1^1(t) = \theta x_1^1(t) + (1 - \theta)x_1^1(t - 1) \quad t = 2, 3, \dots, n \quad (26)$$

Diğer gri modellerde olduğu gibi  $\theta$ , literatürde 0.5 olarak alınması önerilen yatay ayarlama katsayısını ifade eder. a gelişim katsayısı,  $b_i x_i^1(t)$  dinamik terimleri,  $b_i$  dinamik katsayıyı ifade eder. En küçük kareler yöntemi kullanılarak A parametreleri hesaplanır.

$$A = [a \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_N]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (27)$$

$$B = \begin{bmatrix} -z_1^1(2) & x_2^1(2) & \dots & x_N^1(2) \\ -z_1^1(3) & x_2^1(3) & \dots & x_N^1(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -z_1^1(n) & x_2^1(n) & \dots & x_N^1(n) \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} x_1^0(2) \\ x_1^0(3) \\ \vdots \\ x_1^0(n) \end{bmatrix} \quad (28)$$

**Adım 4.** Beyazlaştırma eşitliğinin oluşturulması  
GM(1,N) modelinin beyazlaştırma eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dx_1^1}{dt} + ax_1^1 = \sum_{i=2}^N b_i x_i^1 \quad (29)$$

Eşitlik çözüldüğünde aşağıdaki gibi birikimli tahmin denklemi elde edilir.

$$\hat{x}_1^1(t + 1) = \left[ x_1^0(1) - \frac{1}{a} \sum_{i=2}^N b_i x_i^1(t + 1) \right] e^{-at} + \frac{1}{a} \sum_{i=2}^N b_i x_i^1(t + 1) \quad (30)$$

**Adım 5.** Ters birikim üretme işlevinin uygulanması

Ters birikim üretme işlevi (1-IAGO) uygulanarak tahmin sonuçları elde edilir.

$$\hat{x}_0^1(t + 1) = \hat{x}_1^1(t + 1) - \hat{x}_1^1(t) \quad (31)$$

Böylece A parametrelerinin hesaplanan değerleri kullanılarak GM(1,N) modelinin gelecek tahminleri t dönemlerinin bağımsız değişken değerleri aracılığıyla elde edilir.

### 2.4. GM(0,N)

GM (0, N) türev içermediğinden statik bir modeldir. Bu nedenle lineer regresyon modellerine benzer, ancak lineer regresyon modellerinden bazı temel farklılıklara sahiptir. Genel olarak, lineer regresyon modelleri orijinal veri setlerine dayanılarak oluşturulurken GM (0, N) modellerinin temeli orijinal veriler yerine 1-AGO işlevi ile elde edilen seriler kullanır. GM(0,N)'nin adımları aşağıdaki gibidir.

**Adım1:** Veri serisinin oluşturulması

$X_1^0$  bağımlı değişken serisini ifade ederken,  $X_i^0$  ise bağımlı değişkeni açıklayan N-1 tane bağımsız değişken serisini ifade etmektedir.

$$X_1^0 = (x_1^0(1), x_1^0(2), \dots, x_1^0(n)) \quad (32)$$

$$x_i^0 = (x_i^0(1), x_i^0(2), \dots, x_i^0(n)) ; i = 2, 3, \dots, N \quad (33)$$

**Adım 2:** Birikimli serinin elde edilmesi

$X_j^1$  tüm değişkenler için oluşturulan birikimli seriyi ifade eder. Birikim üretme işlevi ile (1-AGO) ile birikimli seriler Denklem (35)'teki gibi elde edilir.

$$X_j^1 = (x_j^1(1), x_j^1(2), \dots, x_j^1(n)) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (34)$$

$$x_j^1(t) = \sum_{g=1}^t x_j^0(g) \quad (t = (1, 2, \dots, n; n \geq 4)) \quad (35)$$

**Adım 3:** GM (0,N) modelinin oluşturulması

$$x_1^1 = \sum_{i=2}^N b_i x_i^1 + a \quad (36)$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak C parametreleri hesaplanır.

$$C = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_N \ a]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (37)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_2^1(2) & \dots & x_N^1(2) & 1 \\ x_2^1(3) & \dots & x_N^1(3) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_2^1(n) & \dots & x_N^1(n) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} x_1^1(2) \\ x_1^1(3) \\ \vdots \\ x_1^1(n) \end{bmatrix} \quad (38)$$

**Adım 4.** Birikimli GM (0,N) tahmin modelinin elde edilmesi

Eşitlik çözüldüğünde aşağıdaki gibi birikimli tahmin denklemi elde edilir.

$$\hat{x}_1^1(t) = [\sum_{i=2}^N b_i x_i^1(t) + a] \quad (39)$$

**Adım 5.** Ters birikim üretme işlevinin uygulanması

Ters birikim üretme işlevi (1-IAGO) uygulanarak tahmin sonuçları elde edilir.

$$\hat{x}_1^0(t) = \hat{x}_1^1(t) - \hat{x}_1^1(t - 1) \quad (40)$$

t dönemleri için bağımsız değişken değerleri dikkate alınarak gelecek dönemler tahmin edilebilir.

Bu bölümde 4 farklı Gri tahmin modellerinin uygulama adımları işlevsel bir şekilde gösterilmiştir. Tüm modellerle alakalı teorem ve tanımlamalar için Liu ve Lin yazmış oldukları kitapta ayrıntılı bilgiler sunmaktadır (Liu ve Lin, 2006).

**3. Bulgular ve Tartışma**

Bu bölüm içerisinde Türkiye'nin petrol, kömür, doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi bütün enerji türlerini ifade eden toplam enerji talep tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir. Başarılı ve güvenilir tahminleri sistematik bir şekilde elde edebilmek için; veri toplama, performans ölçütlerinin seçimi, model kurulumlarının gerçekleştirilmesi, gri model başarımlarının değerlendirilmesi ve tahmin süreçleri adım adım ele alınmıştır.

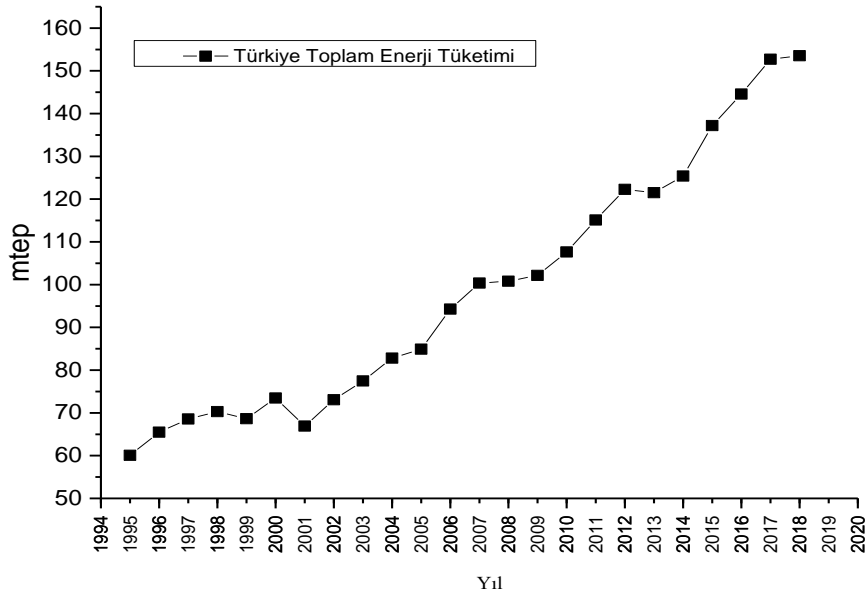
**3.1. Veri**

Çalışma kapsamında zaman serilerinin yanı sıra sebep-sonuç ilişkisine dayalı tahminler de gerçekleştirildiğinden toplam enerji tüketim verilerinin yanında literatürde kullanılan bağımsız değişkenler de irdelenmiştir. GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat değişkenlerinin enerji talebini tahmin etmede sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Ceylan ve Öztürk, 2004; Kavaklıoğlu vd., 2009; Geem ve Roper, 2009). Bununla birlikte toplam enerji tüketimi ile ilişkili olduğu düşünülen bina yüzölçümü verilerine ulaşılarak bu parametre de bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. Özellikle son çeyrek asırda Türkiye önemli ve genel olarak istikrarlı bir gelişme kaydettiğinden 1995-2018 yılları arasında ulaşılan 5 bağımsız ve bir bağımlı değişken verisi toplanmıştır. Gri tahmin modelleri az sayıda bulunan veri ile de başarılı tahminler gerçekleştirebildiğinden son çeyrek asırdaki veriler üzerinde model kurulumları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm değişkenler ve verilerin alındığı resmi kaynaklar Tablo 1'de verilmiştir.

Tahmini gerçekleştirilecek olan toplam enerji tüketim verileri ise Şekil 1'de sunulmuştur. Toplam enerji tüketim verileri incelendiğinde bazı takip eden yıllarda hafif düşüşler ve durağanlık gözlemlense de genel olarak artan bir trende sahip olduğu söylenebilir. Verideki bu yapısal değişimin sebep-sonuç ilişkisiyle elde edilmesi ve son çeyrek asırdaki trendin ise zaman serisi ile yakalanması sağlanarak güvenilir ve güçlü tahminler oluşturulması amaçlanmıştır.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan değişkenler

Bağımsız Değişken	Kaynak
GSYH	Strateji ve Bütçe Başkanlığı
Nüfus	Türkiye İstatistik Kurumu
İthalat	Türkiye İstatistik Kurumu
İhracat	Türkiye İstatistik Kurumu
Bina Yüzölçümü	Türkiye İstatistik Kurumu
Bağımlı Değişken	
Toplam Enerji Tüketimi	BP Dünya Enerji İstatistik Raporu (BP, 2019)

**Şekil 1.** 1995-2018 yılları arası Türkiye Toplam Enerji Tüketimi

### 3.2. Performans Ölçütleri

Tahmin modellerinin doğruluğunu belirlemede birçok performans ölçütü kullanılmaktadır. Bu çalışmada tahmin doğruluğunu belirlemek için ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve hata değişim oranı (C) ölçütleri kullanılmıştır. Aşağıdaki Denklem (41-43) performans ölçütlerinin hesaplanışını göstermektedir.

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (41)$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hata

$$(\text{MAPE}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{Y_i} \right| * 100 \quad (42)$$

$$\text{Hata Değişim Oranı (C)} = \frac{S_2}{S_1} \quad (43)$$

Burada,  $e_i$  i.hata değerini,  $Y_i$ , i. gözlem değerini,  $n$  orijinal veri kümesindeki veri sayısını,  $s_1$  orijinal veriye ilişkin standart sapmayı ve  $s_2$  de hatalara ilişkin standart sapmayı ifade etmektedir. Her üç performans ölçütünün de düşük değerleri daha iyi tahmini göstermektedir. Literatürde MAPE'nin %10'dan küçük olması durumunda başarılı bir tahmin gerçekleştirilmiş olduğu belirtilmektedir (Lin and Hsu, 2002). Hata değişim oranı için de iyi bir tahmine ilişkin öneriler literatürde mevcuttur (Jiang et al., 2004; Tseng vd., 2001). Her iki performans ölçütünün kabul edilebilir seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir (Liu ve Lin, 2010).

**Tablo 2.** Performans ölçütlerine göre doğruluk seviyeleri

Doğruluk Seviyesi	Ölçütler	
	MAPE	C
1. seviye	0.01	0.35
2. seviye	0.05	0.50
3. seviye	0.10	0.65
4. seviye	0.20	0.80

### 3.3. Gri Tahmin Modellerinin Kurulumu

Gri tahmin modellerinin kurulumu için veriler eğitim ve test olmak üzere iki kümeye ayrılmıştır. 1994-2011 yılları arasındaki veriler eğitim, 2012-2018 verileri ise test kümesi olarak dikkate alınmıştır. GM(1,1) ve Gri Verhulst modeli için eğitim kümesinde yer alan toplam enerji tüketim verileri kullanılmıştır. Her iki model için de yatay ayarlama katsayısı 0.5 olarak alınmıştır. Eğitim kümesinin değerleri ile modeller kurulduktan sonra test kümesinin dönemi için model tahminleri yapılmıştır. Hem eğitim hem de test kümesi için modellerin üretmiş olduğu tahmin değerleri ile gerçek değerler kıyaslanarak performans ölçütleri hesaplanmıştır.

Sebe-sonuç ilişkisine dayalı tahminleri gerçekleştirmek için GM (0,6) ve GM (1,6) modelleri oluşturulmuştur. GSYH, nüfus, ithalat, ihracat, bina yüzölçümü bağımsız değişkenleri ile bağımlı değişken olan toplam enerji tüketim verileri ile model kurulumları yapılmıştır. Literatürde kullanıldığı gibi yatay ayarlama katsayısı 0.5 olarak alınmış ve eğitim kümesi için model adımları uygulanmıştır. Test kümesi için kurulan modellere tahminler yaptırılarak modelin başarısı test edilmiştir.

### 3.4. Tahmin Performanslarının Değerlendirilmesi

İki zaman serisi ve iki sebe-sonuç ilişkisine dayalı olarak oluşturulan toplamda dört farklı gri tahmin modelinin performans ölçütleri sırasıyla

Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'deki eğitim ve test kümesi için MAPE değerleri incelendiğinde tüm modellerin %10'dan küçük olduğu gözlemlenmektedir. Yani kurulan her bir gri tahmin modeli kabul edilebilir düzeyde tahminler gerçekleştirebilmektedir. Performans karşılaştırmaları kendi içerisinde yapıldığında, zaman serisine dayalı bir model olan GM(1,1) eğitim kümesi için Gri Verhulst modeline göre daha düşük performans sergilemesine rağmen test kümesinde daha başarılı tahminlerde bulunmuştur. Ayrıca Tablo 2'de yer alan doğruluk seviyelerinde göre değerlendirildiğinde GM (1,1) MAPE'ye göre ikinci, hata değişim oranına göre ise birinci seviyede yer almaktadır.

Sebe-sonuç ilişkisine göre performans sonuçlarına bakıldığında, GM (0,6)'nın eğitim kümesindeki performansı oldukça iyi olmasına rağmen, GM (1,N) test kümesinde GM (0,6)'ya göre daha başarılı MAPE değerine sahiptir. GM (0,6) eğitim kümesindeki performans sonuçlarını test kümesinde sürdürmemiştir. GM (1,6) ise eğitim ve test kümesinde benzer oranda tahmin başarısına sahiptir. Test kümesi MAPE değerleri dikkate alındığında en iyi sonucu GM (1,6)'nın verdiği görülmektedir.

Test kümesi için tüm modellerin üretmiş olduğu tahmin değerleri ve gerçek değerler ile kıyaslanması Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde GM (1,1) modelinin geçmiş zamandaki trendi yakaladığı ve buna göre test kümesini oluşturduğu görülmektedir.

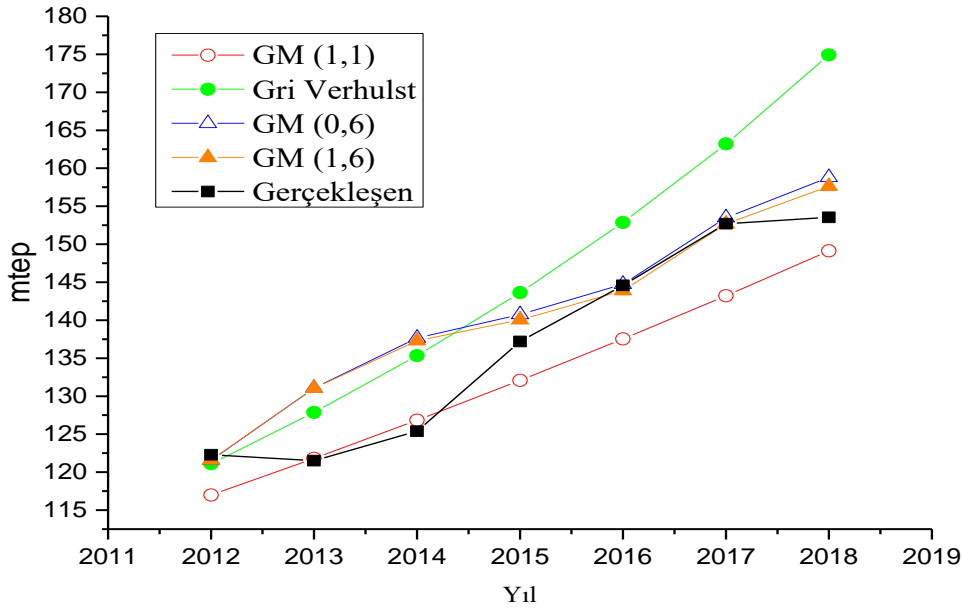
**Tablo 3.** Gri tahmin modellerinin performans ölçüt değerleri

	Eğitim Kümesi			Test kümesi		
	MAE	MAPE (%)	C	MAE	MAPE (%)	C
<b>GM(1,1)</b>	3.12	4.03	0.23	4.73	3.35	0.29
<b>Gri Verhulst</b>	2.80	3.59	0.21	9.15	6.48	0.48
<b>GM(0,6)</b>	1.31	1.57	0.06	4.62	3.55	0.34
<b>GM(1,6)</b>	2.41	3.20	0.20	4.26	3.31	0.36

Gri Verhulst modeli ise olgun sinüs hareketine benzer şekilde hızlı bir trend artışı göstermektedir. Bu durum test kümesi için performans ölçütlerine bakıldığında belirgin olarak görülmektedir. Sebep-sonuç ilişkisine dayalı tahmin yapan GM(0,6) ve GM (1,6)'nın test kümesinde birbirine oldukça yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Gerçekleşen toplam enerji tüketimindeki artış ve azalışları zaman serisine ilişkin modellerden daha iyi yakalayabildiği söylenebilir.

GM (1,1) ve GM (1,6) modellerinin test kümesindeki tahmin performansları birbirine

yakındır. Farklı performans ölçütlerine göre birbirlerine üstünlük sağlamaktadırlar. GM (1,1) geçmiş dönemdeki trendi yakalayabildiğinden gelecekte de benzer trendin olacağı durumu tahmin edebilecektir. GM (1,6) modeli ise bağımsız değişken kullanması nedeniyle gelecek dönemler için senaryo türetilmesine imkân vermektedir. Bu nedenle düşük ve yüksek senaryo durumları dikkate alınarak GM (1,6) modeli ile tahminler gerçekleştirilecektir. Böylece hem zaman serisi hem de sebep sonuç ilişkisine dayalı gri tahmin modelleri ile toplam enerji talebi tahmin edilmiş olacaktır.



Şekil 2. Test kümesi için gri tahmin modellerinin performanslarının karşılaştırılması

### 3.5. Tahmin

GM (1,6) ile gelecek toplam enerji talebini tahmin edebilmek için kullanılan bağımsız değişkenlerin gelecek değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Mevcut durumdan farklı koşulları öngörebilmek adına düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Nüfus bağımsız değişkeni için TÜİK yıl ortası nüfus verileri kullanılmıştır. Diğer bağımsız değişkenler için

geçmiş dönemdeki artış ve azalış oranları dikkate alınarak yüzdelerik değerler belirlenmiştir. Düşük senaryoda; ekonomik gelişmenin yavaşladığı pozitif yönde hafif iyileşmenin devam ettiği durum ele alınmıştır. Yüksek senaryoda ise, genel olarak ortalama ve ortalamanın üzerinde değerlerle sürecin pozitif şekilde devam ettiği durum ortaya koyulmuştur. Senaryolara göre bağımsız değişkenlerin yüzdelerik değerleri Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Senaryolara göre yüzdelerik değerler

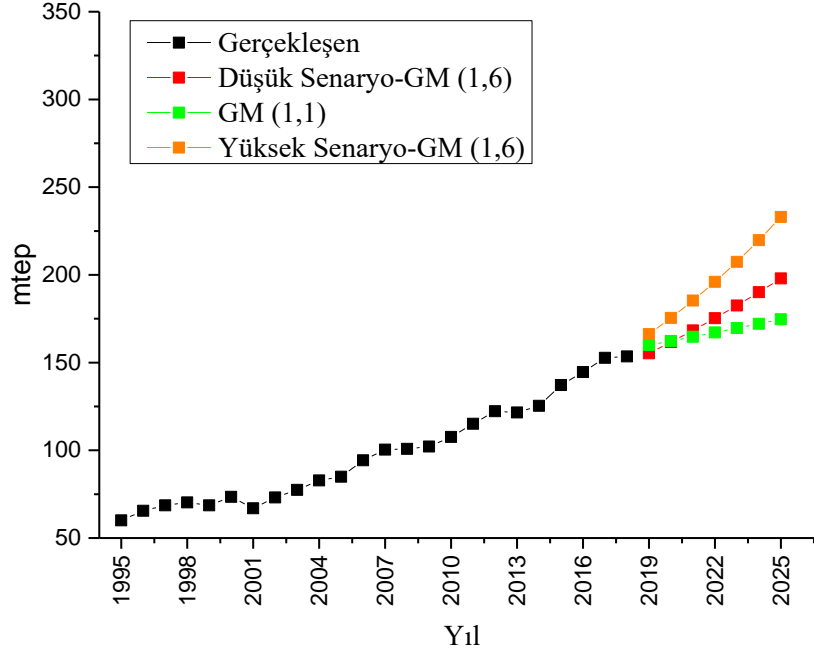
	GSYH	İthalat	İhracat	Bina Yüzölçümü
Düşük Senaryo	1.30%	1.90%	2.20%	1.20%
Yüksek Senaryo	5.20%	12.20%	14.20%	9.60%

GM (1,6) ile senaryolara göre oluşturulan bağımsız değişken değerleri kullanılarak 2025 yılına kadarki Türkiye toplam enerji talebi tahmin edilmiştir. GM (1,1) modeli ile de tahmin edilmek istenen dönem sayısı dikkate alınarak 2025 yılına

kadarki tahminler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm tahmin değerleri Tablo 5'te sunulmuştur. Elde edilen tahmin sonuçlarının grafiği ise Şekil 3'te oluşturulmuştur.

**Tablo 5.** Senaryo ve Gri tahmin modellerine göre Türkiye toplam enerji talebi

Yıllar	Düşük Senaryo GM (1,6) (mtep)	GM (1,1) (mtep)	Yüksek Senaryo GM (1,6) (mtep)
2019	159.92	155.28	166.19
2020	162.31	161.69	175.43
2021	164.72	168.36	185.34
2022	167.16	175.32	195.99
2023	169.64	182.55	207.43
2024	172.13	190.09	219.74
2025	174.66	197.94	232.99

**Şekil 3.** Gri tahmin modeller ile Türkiye toplam enerji talep tahmini

Çalışma kapsamında hem zaman serisi hem de sebep sonuç ilişkisine dayalı gri tahmin modelleri oluşturulmuştur. Gri modeller az veri ile çalışabilme özelliği ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca bu modeller kolay kodlanabilmekte ve her koşulda neticesinde deterministik değerler elde edebilmektedir. Detaylı parametre analizine ve birden fazla koşuma ihtiyaç duymamaktadır. Literatürde bu yöntemlerin bir arada kullanıldığı kapsamlı bir çalışma yer almamaktadır. Bu çalışmada; hem zaman serisine yönelik olarak, hem de yüksek ve düşük senaryo bazlı sebep-sonuç ilişkisine dayalı gri tahmin modellerinin bir arada kullanımını sunulmuş ve böylece gri modellerin enerji talep tahminindeki başarısı gösterilmiştir. Üstünlüğü saptanan modeller ile geleceğe yönelik, doğruluğu yüksek ve güvenilir tahminler elde edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Stratejik öneme sahip enerjinin gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için gelecek dönem projeksiyonlarının yapılmasına ihtiyaç

duyulmaktadır. Başarılı ve güvenilir projeksiyonlar sayesinde gelecek enerji politikalarının belirlenmesi, gerekli tedbirlerin alınması, enerji yatırımlarının planlanması mümkün olabilecektir. Az sayıda veri kullanım özelliği ile ön plana çıkan Gri tahmin modelleri birçok farklı alanda başarılı tahminler elde edebilmektedir. Bu çalışmada, son çeyrek asırda önemli ekonomik ve sosyal gelişim gösteren Türkiye'nin toplam enerji talebi tahmin edilmiştir. Gri tahmin, zaman serisi ve sebep-sonuç ilişkisine dayalı tahminler gerçekleştirebilmektedir. Çalışma kapsamında; zaman serisi modellerinden GM(1,1) ve Gri Verhulst ile sebep-sonuç ilişkisine dayalı GM(0,6) ve GM (1,6) modelleri olmak üzere 4 farklı gri tahmin modeli kurulmuştur. Kurulan gri modellerin performansı değerlendirildiğinde MAPE değerlerinin kabul edilebilir seviye olan %10 değerinin altında yer aldığı gözlemlenmiştir. Dikkate alınan tüm performans ölçütleri değerlendirildiğinde GM (1,1) ve GM(1,6) modellerinin daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Zaman serisi modeli olan GM (1,1) ile gelecek tahminler yapılmış, böylelikle



geçmiş dönemdeki trendin gelecek dönemde de devam ettiği tahminler elde edilmiştir. Sebep-sonuç ilişkisine dayalı bir model olan GM (1,6)'da ise GSYH, nüfus, ithalat, ihracat ve bina yüzölçümü bağımsız değişkenleri kullanılmıştır. Muhtemel düşük ve yüksek senaryolar oluşturularak tahminler elde edilmiştir. Sonuç olarak başarılı ve güvenilir tahmin yapabildiği saptanan GM (1,1) ve GM (1,6) modelleri ile Türkiye'nin toplam enerji talebinin 2025 yılına kadarki düşük, beklenen ve yüksek tahmin değerleri bir arada sunulmuştur. 2025 yılında yüksek senaryoya göre toplam enerji talebinin 232 mtep, mevcut trendin devam etmesi durumunda 198 mtep ve düşük senaryo da ise 175 mtep civarında olması beklenmektedir.

Gri tahmin modelleri ile enerji talebine yönelik olarak literatürde çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın, Türkiye'de sınırlı çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Bu çalışma da bu noktada Türkçe literatüre katkıda bulunmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar enerji ile ilgili devlet kurumlarına, özel sektöre ve tüm karar vericilere hitap etmektedir. Elde edilen başarılı ve güvenilir tahmin değerleri enerji de dışa bağımlı olan Türkiye'nin sürdürülebilir enerji politikalarının belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Gelecek çalışmalarda, Gri tahmin modellerinin yanı sıra diğer tahmin yöntemleri kullanılarak kıyaslamalar ve tahminler gerçekleştirilebilir. Ayrıca çalışma sonucunda elde talep tahmin değerleri, emisyon miktarının modellenmesinde girdi olarak kullanılarak çevresel etki değerlendirme çalışmalarına katkı sağlayabilir.

## Kaynaklar

Aydin, G., 2014. Modeling of Energy Consumption Based on Economic And Demographic Factors: the Case of Turkey with Projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 382-389.

Bayramoğlu, T., Pabuçcu, H., ve Boz, F. Ç., 2017. Türkiye için Anfis Modeli ile Birincil Enerji Talep Tahmini. *Ege Akademik Bakış*, 17(3), 431-445.

Bessec, M., ve Fouquau, J., 2008. The Non-Linear Link between Electricity Consumption and Temperature in Europe: a Threshold Panel Approach. *Energy Economics*, 30(5), 2705-2721.

Boran, K., 2014. The Box Jenkins Approach to Forecast Net Electricity Consumption in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(5), 515-524.

BP, 2019. *Statistical Review of World Energy Workbook*.  
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Ceylan, H., ve Ozturk, H. K., 2004. Estimating Energy Demand of Turkey Based on Economic Indicators using Genetic Algorithm Approach. *Energy Conversion and Management*, 45(15-16), 2525-2537.

Es, H. A., 2019. Comparison of Direct and Iterative Grey Prediction Models for Natural Gas Demand, 3rd International Web Conference on Forecasting, November 2019, Giresun, Turkey, s.28-34.

Es, H. A., Hamzacebi, C., ve Firat, S. U. O., 2018. GRA-TRI: A Multicriteria Decision Aid Classification Method based on Grey Relational Analysis. *The Journal of Grey System*, 30(3), 1-13.

Es, H. A., Kalender, F. Y., ve Hamzaçebi, C., 2014. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talep Tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 495-504.

Geem, Z. W., ve Roper, W. E., 2009. Energy Demand Estimation of South Korea Using Artificial Neural Network. *Energy Policy*, 37(10), 4049-4054.

Hamzacebi, C., ve Es, H. A., 2014. Forecasting the Annual Electricity Consumption of Turkey Using an Optimized Grey Model. *Energy*, 70, 165-171.

Hamzaçebi, C., Es, H.A. ve Çakmak, R., 2019. Forecasting of Turkey's Monthly Electricity Demand by Seasonal Artificial Neural Network. *Neural Computing and Applications* 31, 2217–2231.

He, Y., ve Lin, B., 2018. Forecasting China's Total Energy Demand and its Structure Using ADL-MIDAS Model. *Energy*, 151, 420-429.

Jiang, Y., Yao, Y., Deng, S., ve Ma, Z., 2004. Applying Grey Forecasting to Predicting the Operating Energy Performance of Air Cooled Water Chillers. *International Journal of Refrigeration*, 27(4), 385-392.

Kavaklioglu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., ve Canyurt, O. E., 2009. Modeling and Prediction of Turkey's Electricity Consumption Using Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2719-2727.

Kucukali, S., ve Baris, K., 2010. Turkey's Short-Term Gross Annual Electricity Demand Forecast by

- Fuzzy Logic Approach. *Energy Policy*, 38(5), 2438-2445.
- Lee, Y. S., ve Tong, L. I., 2011. Forecasting Energy Consumption Using a Grey Model Improved by Incorporating Genetic Programming. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 147-152.
- Lin, C. T., ve Hsu, P. F., 2002. Forecast of Non-Alcoholic Beverage Sales in Taiwan Using the Grey Theory. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 14(4), 3-12.
- Lin, Y., Liu S., 2004. A Historical Introduction to Grey Systems Theory. 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3, 2403-2408.
- Liu, S., ve Forrest, J. Y. L., 2010. *Grey Systems: Theory and Applications*. Springer Science & Business Media, 379p.
- Liu, S., ve Lin, Y., 2006. *Grey Information: Theory and Practical Applications*. Springer Science & Business Media, 508p.
- Liu, X., Moreno, B., ve García, A. S., 2016. A Grey Neural Network and Input-Output Combined Forecasting Model. Primary Energy Consumption Forecasts in Spanish Economic Sectors. *Energy*, 115, 1042-1054.
- Salcedo-Sanz, S., Muñoz-Bulnes, J., Portilla-Figueras, J. A., ve Del Ser, J., 2015. One-Year-Ahead Energy Demand Estimation from Macroeconomic Variables Using Computational Intelligence Algorithms. *Energy Conversion and Management*, 99, 62-71.
- Salisu, A. A., ve Ayinde, T. O., 2016. Modeling Energy Demand: Some Emerging Issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1470-1480.
- Sánchez-Oro, J., Duarte, A., ve Salcedo-Sanz, S., 2016. Robust Total Energy Demand Estimation with a Hybrid Variable Neighborhood Search–Extreme Learning Machine Algorithm. *Energy Conversion and Management*, 123, 445-452.
- Suganthi, L., ve Samuel, A. A., 2012. Energy Models for Demand Forecasting—a Review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(2), 1223-1240.
- Tseng, F. M., Yu, H. C., ve Tzeng, G. H., 2001. Applied Hybrid Grey Model to Forecast Seasonal Time Series. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(2-3), 291-302.
- TÜİK, 2020, Türkiye İstatistik Kurumu: Temel İstatistik Göstergeler, [Http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist](http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist)
- Ünler, A., 2008. Improvement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: The Case of Turkey with Projections to 2025. *Energy Policy*, 36(6), 1937-1944.
- Wang, Q., Li, S., ve Li, R., 2018. Forecasting Energy Demand in China And India: Using Single-Linear, Hybrid-Linear, and Non-Linear Time Series Forecast Techniques. *Energy*, 161, 821-831.
- Wei, S., ve Yanfeng, X., 2017. Research on China's Energy Supply and Demand Using an Improved Grey-Markov Chain Model Based on Wavelet Transform. *Energy*, 118, 969-984.
- Wen, K.L., 2004. *Grey Systems: Modeling and Prediction*, Yang's Scientific Research Institute, YangSky Scientific Press, 253p.
- Worldbank, 2020. Dünya Bankası İstatistikleri, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=TR>
- Xie, N. M., Yuan, C. Q., ve Yang, Y. J., 2015. Forecasting China's Energy Demand and Self-Sufficiency Rate by Grey Forecasting Model and Markov Model. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 66, 1-8.

## Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen Saf Al ve Al-B<sub>4</sub>C, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Karşılaştırılması

*Comparison of Mechanical and Microstructure Properties of Al-B<sub>4</sub>C and Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Fabricated by Powder Metallurgy Method*

**Mahmut Can ŞENEL\***

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 55210, Samsun*

• Geliş tarihi / Received: 14.02.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.06.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 15.06.2020

### Öz

Bu çalışmada, saf alüminyum, ağırlıkça farklı bor karbür (B<sub>4</sub>C) veya alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkı oranlarında (ağırlıkça %0, 1, 3, 6, 9, 12, 15, 30) Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Bor karbür veya alümina katkı oranının kompozitlerin gözenekliliğine, yoğunluğuna, Vickers sertliğine, basma dayanımına ve mikroyapısına olan etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına göre; en yüksek deneysel yoğunluk, Vickers sertliği ve basma dayanımı Al-%30B<sub>4</sub>C (deneysel yoğunluk: 2.7 g/cm<sup>3</sup>, bağıl yoğunluk: %96.7, sertlik: 75 HV, basma dayanımı: 178 MPa) ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (deneysel yoğunluk: 2.56 g/cm<sup>3</sup>, bağıl yoğunluk: %87.7, sertlik: 52 HV, basma dayanımı: 162 MPa) kompozit yapıda elde edilmiştir. Saf alüminyuma kıyasla Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliği %73.3 ve basma dayanımı %80; saf alüminyuma kıyasla Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitin sertliği %150 ve basma dayanımı %98 oranında artmıştır. Sonuç olarak, Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere göre hem mikroyapılarının daha yoğun olduğu hem de mekanik özelliklerinin daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alümina, Alüminyum, Bor Karbür, Mekanik Özellik, Toz Metalürjisi

### Abstract

*In this study, pure Al and Al-B<sub>4</sub>C, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites with various boron carbide (B<sub>4</sub>C) or alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) content (1, 3, 6, 9, 12, 15, 30wt.%) were fabricated by powder metallurgy method. The effect of the boron carbide or alumina reinforcement ratio on the porosity, density, Vickers hardness, compressive strength and microstructure of the composites was investigated. According to the test results, the highest experimental density, Vickers hardness, and compressive strength were obtained at Al-30%B<sub>4</sub>C (experimental density: 2.7 g/cm<sup>3</sup>, relative density: 96.7%, hardness: 75 HV, compressive strength: 178 MPa) and Al-30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (experimental density: 2.56 g/cm<sup>3</sup>, relative density: 87.7%, hardness: 52 HV, compressive strength: 162 MPa) composite structure. The hardness and compressive strength of Al-30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were increased by 73.3% and 80% compared to pure aluminum. On the other hand, the hardness and compressive strength of Al-30%B<sub>4</sub>C enhanced by 150% and 98% compared to pure aluminum. As a result, it has been determined that Al-B<sub>4</sub>C composites have a denser microstructure and higher mechanical properties than Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites.*

**Keywords:** Alumina, Aluminum, Boron Carbide, Mechanical Property, Powder Metallurgy

\*Mahmut Can ŞENEL; mahmutcan.senel@omu.edu.tr; Tel: (0362) 312 19 19/1315; orcid.org/0000-0001-7897-1366

## 1. Giriş

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde, hafif ve dayanımı yüksek kompozit malzemelere duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin üstün özelliklerini birarada bulandıran matris ve takviye elemanından oluşan yeni bir malzeme grubudur. Kompozit malzemeler ana (matris) malzemeye göre; seramik, metal veya polimer matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırılabilir. Metal matrisli kompozitlerde ana malzeme; metal (magnezyum, titanyum, bakır, alüminyum vb.) veya bir metal alaşımından oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak ise; titanyum karbür, titanyum nitrür, alümina, silisyum karbür, silisyum nitrür, bor karbür ve bor nitrür gibi ileri teknoloji seramikler kullanılabilir (Öztop ve Gürbüz, 2018; Şahin, 2006; Şenel, vd. 2015).

Alüminyum, günümüzde yaygın olarak kullanılan demir dışı metallerden biri olup hafiflik, kolay şekillendirilebilirlik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu sebeple, otomotiv, imalat sanayi, uzay ve havacılık endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Martinez vd., 2017). Saf alüminyum malzeme; 26.98 g/mol atom ağırlığına, oda sıcaklığında 2.7 g/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa, 237 W/(m<sup>2</sup>K) ısı iletkenliğe, 30 HV sertliğe ve 660 °C ergime sıcaklığına sahiptir (Şenel vd., 2017).

Seramik malzemeler arasında bor karbür (B<sub>4</sub>C); 2400 °C ergime sıcaklığına, 441 GPa elastisite modülüne, 2.52 g/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa ve 3800 HV sertlik değerine sahiptir. Bor karbür; sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek dayanım, yüksek ısı iletkenlik ve iyi sönümleme kapasitesi sayesinde; elektronik-haberleşme ve uzay endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Lillo, 2005; Alizadeh vd., 2011; Hu vd., 2001; Ravindranath vd., 2017). Diğer bir takviye elemanı olan alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sahip olduğu üstün refrakterlik özelliği, yüksek basma dayanımı ve yüksek sertlik sebebiyle; pompalarda, kesici takımlarda, sızdırmazlık elemanlarında, türbin yataklarında, bujilerde ve motor parçalarında tercih edilmektedir. Oda koşullarında alüminanın sertliği yaklaşık 200 HV, ergime sıcaklığı 2050 °C ve teorik yoğunluğu 3.98 g/cm<sup>3</sup>'tür (Srivastava ve Chaudhari, 2018; Kok, 2005).

Bor karbür takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada (Zhang vd., 2017), toz

metalürjisi yöntemiyle üretilen saf Al, Al-%15B<sub>4</sub>C, Al-%20B<sub>4</sub>C kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Saf alüminyuma kıyasla Al-%15B<sub>4</sub>C ve Al-%20B<sub>4</sub>C kompozitin çekme dayanımının %47 ve %60 oranında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Yürütülen bir çalışmada (Ipekoglu vd., 2017), sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerde bor karbür katkı oranının (ağırlıkça 0, 3, 5, 10%) ve sıkıştırma basıncının (P=0, 75, 150 MPa) kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına göre; en iyi mekanik özellikler ağırlıkça %5 B<sub>4</sub>C katkısında ve P=150 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Yürütülen diğer çalışmada (Pang vd., 2018), toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al6061 alaşımının ve Al-%12B<sub>4</sub>C-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin çekme dayanımı incelenmiştir. Al-%12B<sub>4</sub>C-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin Al6061 alaşımına oranla akma ve çekme dayanımının sırasıyla; %113 ve %246 oranında arttığı tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Khademian vd., 2017), karıştırma-döküm yöntemiyle üretilen A356-3%B<sub>4</sub>C kompozitlerde karıştırma sıcaklığının (700, 850, 950 °C) ve karıştırma süresinin (10, 15, 20 dk) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. En uygun karıştırma sıcaklığı ve karıştırma süresi sırasıyla; 850 °C ve 15 dk olarak tespit edilmiştir. Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması üzerine de literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada (Parvin ve Rahimian, 2012), saf alüminyum matrise farklı partikül boyutlarında (3, 12 ve 48 µm) ağırlıkça %10 alümina katkısı yapılarak toz metalürjisi yöntemiyle Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlere uygulanan mekanik testler neticesinde partikül boyutundaki azalışla birlikte kompozitin sertliği ve akma dayanımı artmıştır. Yürütülen çalışmada (Şenel ve Gürbüz, 2020), ağırlıkça %0-2.5 arasında mikron altı boyutlu alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerde soğuk deformasyon oranının (%1.9, 6.1, 11.8, 13, 23.5) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. En iyi mekanik özellikler %2 alümina katkısında ve %11.8 soğuk deformasyon oranında elde edilmiştir. Yürütülen bir çalışmada (Ezatzpour vd., 2016), toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al7075 matrisli nano alümina katkılı (ağırlıkça %0.4, 0.8, 1.2) kompozitlerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri analiz edilmiştir. En yüksek mekanik dayanım, Al7075-%0.4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Bu katkı oranından sonra, alümina partiküller topraklanmış olup kompozitlerin mekanik dayanımı düşmüştür. Bir diğer çalışmada (Srivastava ve Chaudhari, 2018), toz metalürjisi yöntemiyle

üretile nano alümina (ağırlıkça %1, 2, 3) takviyeli Al6061 kompozitlerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen kompozitler arasında en yüksek mekanik dayanım Al6061-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Nano alümina takviyesiyle Vickers sertliği %76 ve akma dayanımı %81 oranında artmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların genel olarak bor karbür veya alümina katkı alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi üzerine olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, literatürde toz metalürjisiyle üretilen Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerde bor karbür veya alümina katkı oranının kompozitin mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkisinin karşılaştırmalı ve kapsamlı bir şekilde incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Üretilen kompozit malzemeler, özellikle otomotiv ve imalat sektöründe kullanılmak üzere üretilmiştir. Bu çalışmayla, daha yüksek basma dayanımına ve daha yoğun bir mikroyapıya sahip alüminyum esaslı kompozit malzemelerin geliştirilmesini amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, saf Al ve ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15, 30 katkı Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozit yapılarında B<sub>4</sub>C veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranının kompozitlerin deneysel yoğunluğuna, bağlı yoğunluğuna, gözeneklilik oranına, Vickers sertliğine, basma dayanımına ve mikroyapısına olan etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

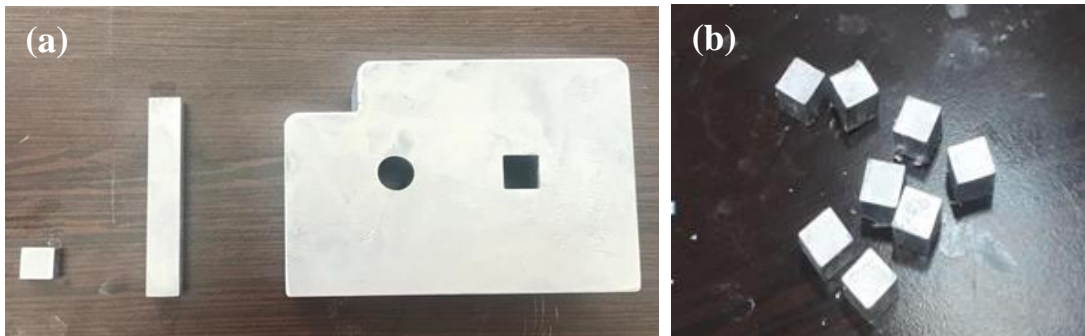
### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, kompozit malzeme üretiminde kullanılan saf Al, B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ticari olarak Alfa Aesar (İngiltere) firmasından temin edilmiştir. Matris (ana) malzeme olarak saf Al tozu, takviye elemanı olarak B<sub>4</sub>C veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılmıştır. Kullanılan saf alüminyum tozu %99

saflıkta, 8-15 µm partikül boyut aralığına ve 2.7 g/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa sahiptir. Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılan B<sub>4</sub>C tozu, %98 saflığa, ortalama 20 µm partikül boyutuna ve 2.52 g/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa sahiptir. Benzer şekilde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al matrisli kompozit malzeme üretiminde, takviye elemanı olarak kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu %98 saflığa, 1-6 µm partikül boyut aralığına ve 3.97 g/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa sahiptir.

### 2.2. Yöntem

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle farklı B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranlarında (ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15, 30) Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler üretilmiştir. Toz partiküllerinin homojen bir şekilde karıştırılmasında ve dağıtılmasında alkol bazlı bir solüsyon olan etanol kullanılmıştır. İlk aşamada, saf Al ve B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ayrı ayrı etanol içerisinde 1 saat süresince ve 500 dev/dk hızda mekanik karıştırıcıyla karıştırılır. B<sub>4</sub>C-etanol/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-etanol çözeltileri ayrı ayrı saf Al-etanol çözeltisine katılır. Bu işlem sonrasında, Al-B<sub>4</sub>C-etanol veya Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-etanol karışımları yüksek enerjili bilyalı değirmende 6 saat süresince ve 500 dev/dk hızda karıştırma işlemine tabi tutulur. Karıştırma işleminde ağırlıkça toz/etanol oranı 1:5, ağırlıkça toz/alümina bilya oranı 1:4 olarak alınmıştır. Karıştırma işlemi sonrası, karışımdan etanolü uzaklaştırmak için karışım filtrelenir ve 12 saat süresince vakuma alınabilen bir etüvde 45-50 °C sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutulur. Kurutma işlemi sonrasında, Al-B<sub>4</sub>C veya Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toz karışımları herhangi bir bağlayıcı eleman eklenmeksizin paslanmaz çelik kalıp içerisinde tek eksenli preste 600 MPa basınç altında şekillendirilir. Presleme işlemi sonrasında Şekil 1'den görülebileceği üzere 10x10 mm kare kesitli ~5 mm kalınlığında ham kompozit numuneler üretilir. Şekillendirilen ham kompozit numuneler, 630 °C sıcaklıkta ve 3 saat süresince vakuma alınabilen bir tüp fırında (Protherm PTF 12/50/450) sinterleme işlemine tabi tutulur (Şenel ve Gürbüz, 2020).



Şekil 1. Paslanmaz çelik kalıp (a) ve üretilen ham kompozit numuneler (b)



Sinterlenen kompozitler, zımparalama ve parlatma cihazında 250, 1000, 2000 gritlik zımpara kağıtlarıyla zımparalandıktan sonra 1 µm'lik elmas solüsyon kullanılarak elmas çuha üzerinde parlatma işlemine tabi tutulur. Yüzeyi parlatılan kompozit numunelerin, Arşimet yoğunluk ölçüm cihazıyla deneysel yoğunlukları belirlenir. Yoğunluk değerleri en az beş yoğunluk ölçüm değerinin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneysel yoğunluk ( $\rho_D$ ), Eşitlik (1)'den faydalanılarak belirlenmektedir (German, 2007; Callister ve Rethwisch, 2014).

$$\rho_D = [m_K / (m_D - m_A)] \rho_W \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $\rho_{su}$  suyun yoğunluğu ( $g/cm^3$ ),  $m_D$  kompozitin suya doymuş kütlesi (g),  $m_K$  kompozitin kuru kütlesi (g) ve  $m_A$  ise kompozitin suda asılı kütlesidir (g).

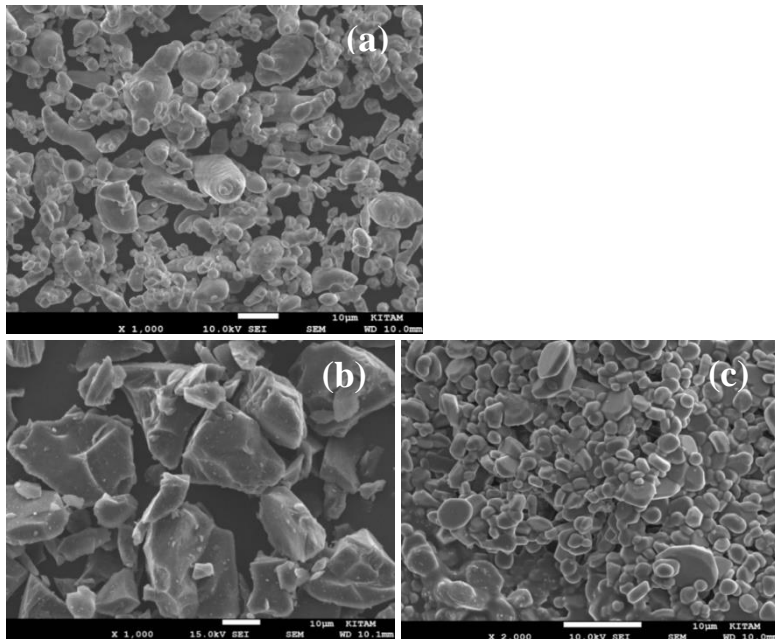
Kompozitlerin teorik yoğunluğu ( $\rho_T$ ), Eşitlik (2) yardımıyla belirlenebilmektedir.

$$\rho_T = (\%m_{Al} \times \rho_{Al}) + (\%m_{B4C/Al2O3} \times \rho_{B4C/Al2O3}) \quad (2)$$

Bu eşitlikte,  $\%m_{Al}$ ,  $\%m_{B4C}$ , ve  $\%m_{Al2O3}$  sırasıyla; kompozit yapıdaki alüminyum, bor karbür ve alüminanın ağırlıkça %katkı oranıdır. Ayrıca,  $\rho_{Al}$  ( $2.7 g/cm^3$ ),  $\rho_{B4C}$  ( $2.52 g/cm^3$ ), ve  $\rho_{Al2O3}$  ( $3.97 g/cm^3$ ) sırasıyla; alüminyum, bor karbür ve alüminanın teorik yoğunluklarıdır.

Üretilen kompozitlerin bağıl (relatif) yoğunlukları ( $\% \rho$ ) aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenebilmektedir.

$$\% \rho = (\rho_D / \rho_T) \times 100 \quad (3)$$



◀ Şekil 2. Tozlara ait SEM görüntüleri: (a) saf alüminyum, (b) bor karbür ve (c) alümina

Kompozitlerdeki gözeneklilik oranı ( $\%G$ ), Eşitlik (4)'den faydalanılarak belirlenebilmektedir.

$$\%G = (1 - \rho_D / \rho_T) \times 100 \quad (4)$$

Kompozitlerin sertlik değeri, HV1000B mikro Vickers sertlik ölçme cihazıyla parlatılmış numune yüzeyine 15 s. süresince 200 g yük uygulanarak belirlenir. Kompozitlerin sertliği, en az 5 (beş) sertlik verisinin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Kompozitlerin basma testleri, Mares tst-10t marka universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Basma testinde; ön yük hızı 2 mm/dk, basma hızı 5 mm/dk ve ön yükleme 5 MPa olarak ayarlanmıştır. Üretilen kompozitlerin faz analizi 20-80° arasındaki kırınım açılarında Rigaku Smartlab model X-ışını kırınımı (XRD) cihazıyla, kırık yüzey içyapı analizi Jeol JSM 7001F model taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin içyapısında, seramik partiküllerin dağılımını gözlemlemek amacıyla SEM-EDX (taramalı elektron mikroskopu-enerji yayımlı X-ışını) analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kullanılan tozlara ve üretilen kompozitlere ait faz analizleri, literatür çalışmalarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır (Ghasali vd., 2015; Al-Mosawi vd., 2017).

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Tozların Karakterizasyonu

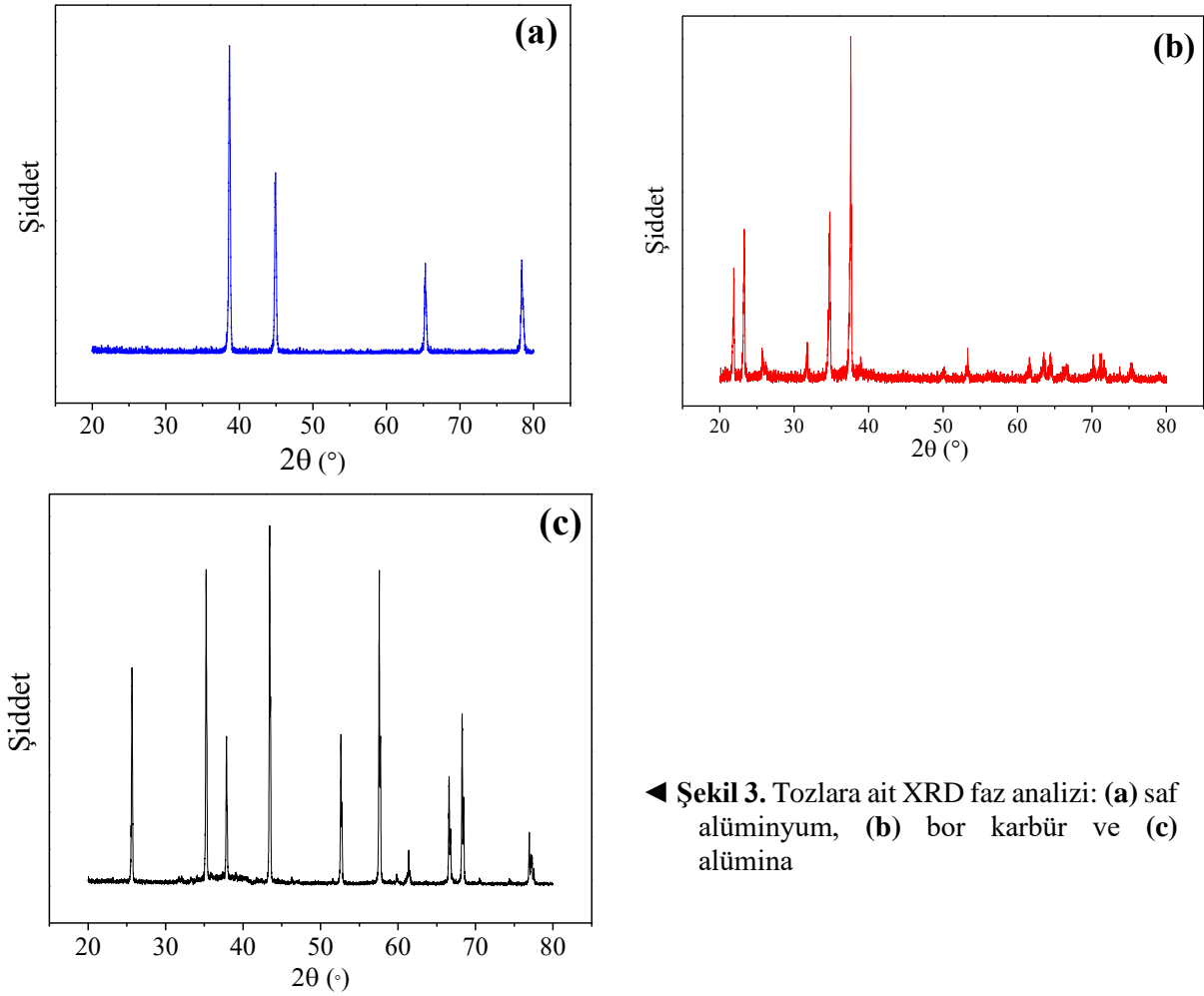
Saf alüminyum, bor karbür ve alümina tozlarına ait SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



SEM görüntülerinden; saf alüminyum partiküllerin süngerimsi bir morfolojide olduğu, bor karbür partiküllerin keskin köşelere sahip düzensiz bir morfolojide olduğu, alümina partiküllerin ise küresele yakın bir morfolojide olduğu tespit edilmiştir. Saf alüminyum, bor karbür ve alümina partiküllerin, ortalama partikül boyutunun sırasıyla;  $\sim 10 \mu\text{m}$ ,  $\sim 20 \mu\text{m}$  ve  $\sim 5 \mu\text{m}$  olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3'de saf alüminyum, bor karbür ve alümina tozlarına ait X-ışını kırınımı faz analizleri

verilmiştir. Saf alüminyum, bor karbür ve alümina tozlarına ait kırınım açılarının sırasıyla;  $2\theta \sim 38^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $78^\circ$ ;  $2\theta \sim 22^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $39^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $64^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $67^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $74^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $78^\circ$  ve  $2\theta \sim 25^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $58^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $67^\circ$ ,  $68^\circ$ ,  $77^\circ$  olduğu belirlenmiştir. Sinterleme sonrası kompozit malzemelerde oluşabilecek  $\text{Al}_4\text{C}_3$  ( $2\theta = 33, 41, 44, 56, 74^\circ$ ) gibi arafazların tespiti açısından tozların faz analizi son derece önem arz etmektedir (Ghasali vd., 2015; Al-Mosawi vd., 2017; Sharifi vd., 2012).



◀ Şekil 3. Tozlara ait XRD faz analizi: (a) saf alüminyum, (b) bor karbür ve (c) alümina

### 3.2. Kompozitlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) veya bor karbür ( $\text{B}_4\text{C}$ ) takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin deneysel yoğunluğu ( $\rho$ ), bağıl yoğunluğu ( $\% \rho$ ), gözeneklilik oranı ( $\%G$ ) ve Vickers sertliği ( $\text{HV}0.2$ ) bu bölümde incelenmiştir. Genel durumu değerlendirmek amacıyla, Saf Al, Al- $\text{B}_4\text{C}$  ve Al- $\text{Al}_2\text{O}_3$  kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo

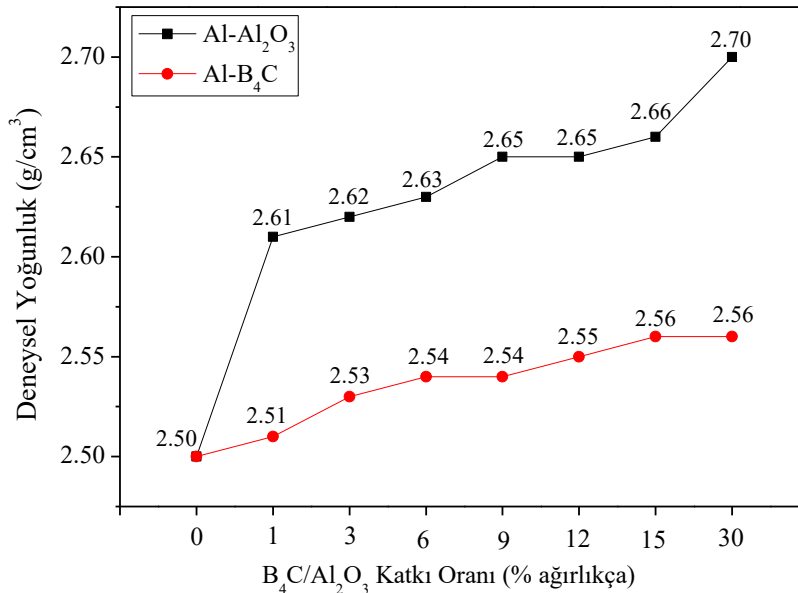
1'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde; artan katkı oranıyla birlikte bor karbür takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozitlere kıyasla sertliğinin daha yüksek, gözeneklilik oranının ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini daha detaylı incelemek amacıyla çeşitli grafikler oluşturularak artış veya azalışlar analiz edilmiştir.

**Tablo 1.** Saf alüminyum, Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Malzeme	DeneySEL yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Bağlı (Relatif) yoğunluk (% $\rho$ )	Gözeneklilik oranı (%G)	Vickers sertliği (HV0.2)
Saf Al	2.50	92.6	7.4	30
Al-%1Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.61	96.2	3.8	38
Al-%3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.62	95.7	4.3	40
Al-%6Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.63	94.7	5.3	41
Al-%9Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65	94.2	5.8	42
Al-%12Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65	92.9	7.1	42
Al-%15Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.66	92.1	7.9	43
Al-%30Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.70	87.7	12.3	52
Al-%1B <sub>4</sub> C	2.51	93.0	7.0	42
Al-%3B <sub>4</sub> C	2.53	93.9	6.1	44
Al-%6B <sub>4</sub> C	2.54	94.5	5.5	46
Al-%9B <sub>4</sub> C	2.54	94.6	5.4	47
Al-%12B <sub>4</sub> C	2.55	95.2	4.8	49
Al-%15B <sub>4</sub> C	2.56	95.7	4.3	65
Al-%30B <sub>4</sub> C	2.56	96.7	3.3	75

Saf Al, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerde B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranıyla deneySEL yoğunluğun değişimi Şekil 4'de verilmiştir. En yüksek deneySEL yoğunluk, Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2.56 g/cm<sup>3</sup>) ve Al-%30B<sub>4</sub>C (2.7 g/cm<sup>3</sup>) kompozit yapıda elde edilmiştir. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin deneySEL

yoğunluğunun Al-B<sub>4</sub>C kompozitin deneySEL yoğunluğundan daha yüksek olması Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerin (3.97 g/cm<sup>3</sup>) B<sub>4</sub>C partiküllere (2.52 g/cm<sup>3</sup>) göre daha yüksek teorik yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

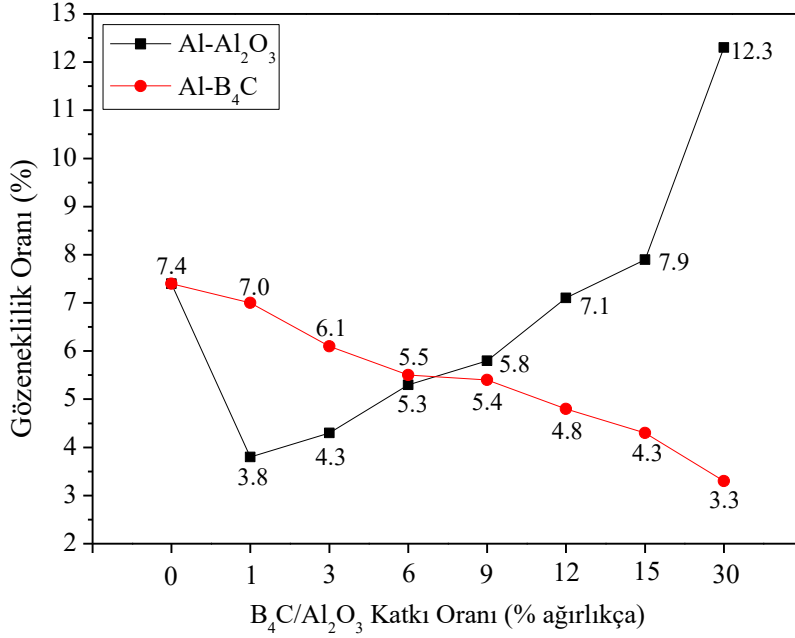
**Şekil 4.** Saf Al, Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneySEL yoğunluğundaki değişim

Saf Al, Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranıyla gözeneklilik oranındaki değişim Şekil 5'de verilmiştir. Üretilen kompozit yapılarında en düşük gözeneklilik oranı Al-%30B<sub>4</sub>C

(%3.3) kompozit yapıda elde edilmiştir. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıları içerisinde ise en düşük gözeneklilik oranına Al-%1Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%3.8) kompozit yapıda ulaşılmıştır. Bu durum, takviye elemanı

olarak kullanılan alümina partiküllerin boyutunun oldukça küçük olması ve küçük boyutlu (1-6 µm) alümina partiküllerin topaklanma eğiliminin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneysel yoğunluğu Al-B<sub>4</sub>C kompozitlere göre yüksek olmasına karşın; genel

itibariyle bu kompozit yapıda gözeneklilik oranının daha düşük olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle kompozitin deneysel yoğunluğunun yüksek olması gözeneklilik oranının da yüksek olduğu anlamına gelmemektedir.



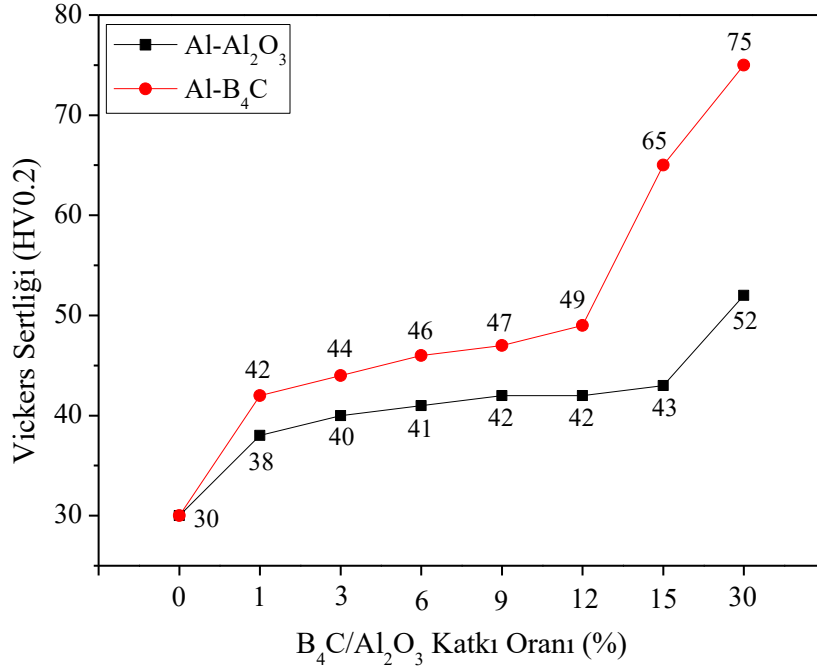
Şekil 5. Saf Al ve Al-B<sub>4</sub>C, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin gözeneklilik oranındaki değişim

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen saf Al, Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranıyla Vickers sertliğindeki değişim Şekil 6'da verilmiştir. Sertlik sonuçlarına göre; saf alüminyuma (30 HV) oranla Al-%30B<sub>4</sub>C (75 HV) kompozitin Vickers sertliği %150; saf alüminyuma (30 HV) oranla Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(52 HV) kompozitin Vickers sertliğinin %73.3 oranında arttığı tespit edilmiştir. Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitin sertliğinin Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliğine göre %44 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Alüminyum kompozit yapıya B<sub>4</sub>C veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkısıyla kompozitin sertliğinin arttığı görülmüştür. Bu durum, takviye elemanı olarak kullanılan bor karbür ve alümina partiküllerin sert seramik yapısından kaynaklanmaktadır.

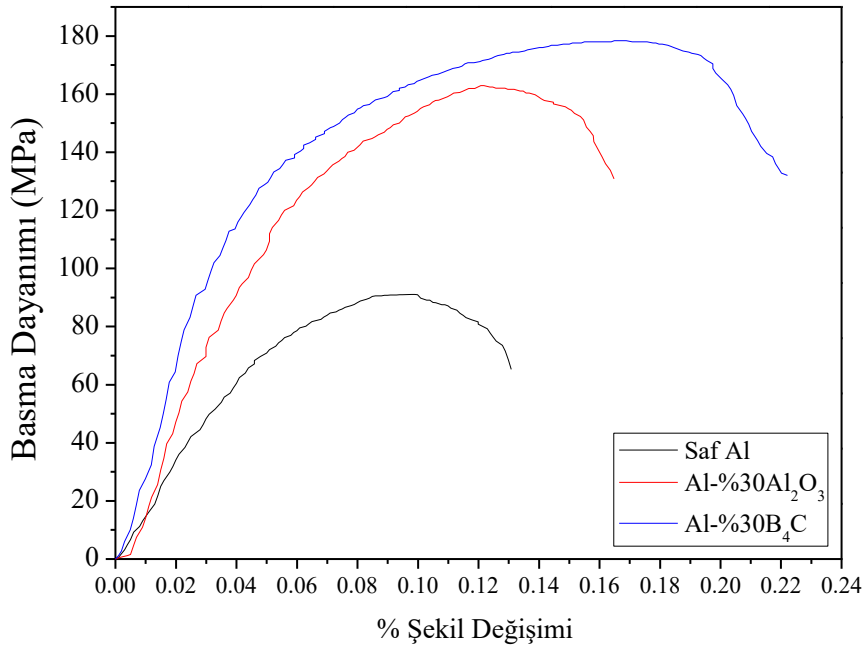
Saf alüminyum, Al-%30B<sub>4</sub>C ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait basma test sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Test sonuçlarına göre; saf alüminyumun basma dayanımı yaklaşık 90 MPa iken; Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitin basma dayanımı sırasıyla 162 MPa ve 178 MPa olarak belirlenmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliği saf alüminyuma kıyasla %80, Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitin

sertliği saf alüminyuma kıyasla %98 oranında artmıştır. Ağırlıkça aynı katkı oranında (%30) Al-B<sub>4</sub>C kompozitin mekanik özelliklerinin Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin mekanik özelliklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, katkı elemanı olarak kullanılan bor karbürün alüminyuma oranla dayanımı daha yüksek bir malzeme olmasından ve mikroyapı içerisinde bor karbür partiküllerin alümina partiküllere oranla daha homojen dağılmasından kaynaklanmaktadır.

Metallerin veya kompozitlerin, plastik deformasyon sınırları içerisinde basma gerilmesi etkisiyle kopana kadar ya da deforme olana kadar depoladığı enerji de üretilen malzemenin tokluğunu ifade etmektedir. Saf Al, Al-%30B<sub>4</sub>C ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler incelendiğinde; en yüksek tokluğa sahip malzemenin Al-%30B<sub>4</sub>C olduğu görülmektedir. Alüminyum matrise alümina veya bor karbür takviyesiyle alüminyum esaslı kompozitlerin hem basma dayanımının hem de tokluğunun arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca alüminyum matrise bor karbür katkısının alümina katkısına kıyasla kompozit malzemenin tokluğunu artırmada daha etkili bir takviye elemanı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. Farklı katkı oranlarında Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin Vickers sertliğindeki değişim

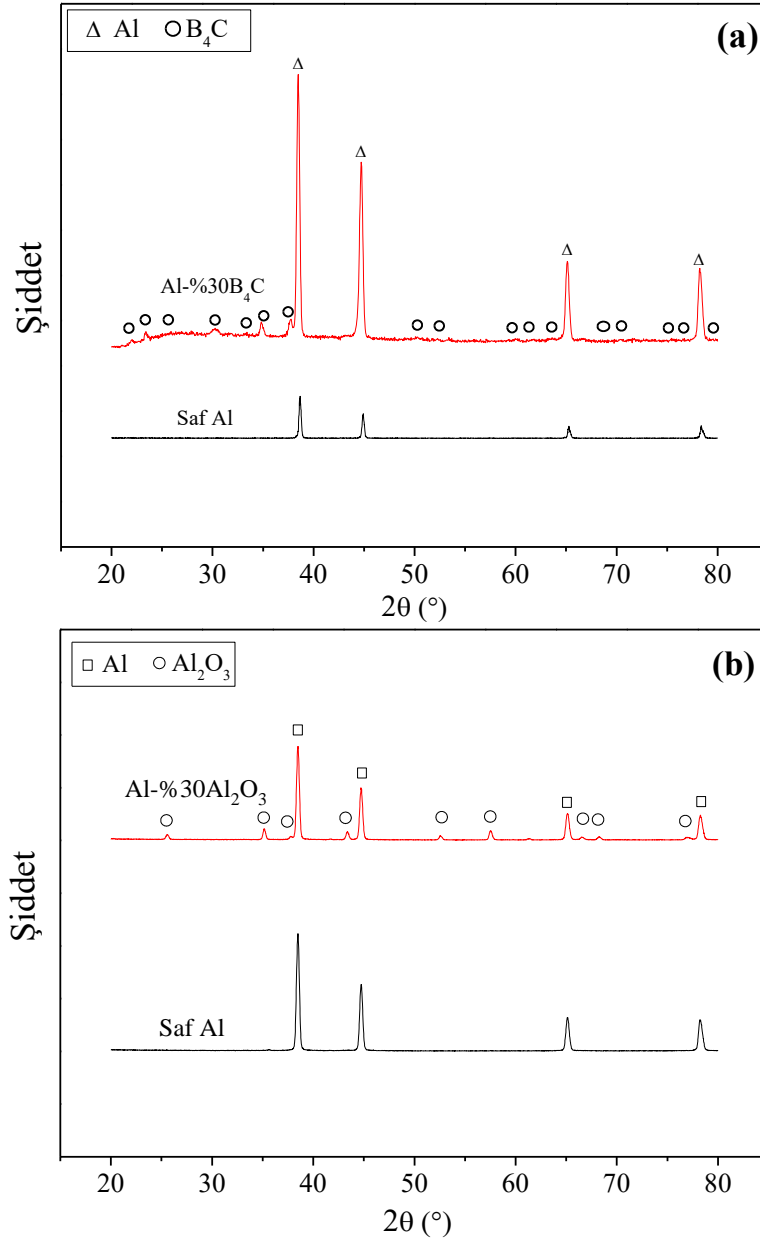


Şekil 7. Saf Al, Al-%30B<sub>4</sub>C ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin basma dayanımı

### 3.3. Kompozitlerin Faz ve Mikroyapı İncelemeleri

Kompozitlere ait faz analizi X-ışını kırınımı cihazıyla, kırık yüzey mikroyapı incelemeleri ise taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Şekil 8a'da saf Al ve Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlere ait XRD faz analizleri verilmiştir. Al-B<sub>4</sub>C kompozitlere ait B<sub>4</sub>C kırınım açılarının  $2\theta \sim 22^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $39^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $64^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $67^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $74^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $78^\circ$  olduğu belirlenmiş olup kompozit yapıda bor karbürün varlığı

doğrulanmıştır. Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait faz analizinden alümina kırınım açılarının  $2\theta \sim 25^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $58^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $67^\circ$ ,  $68^\circ$ ,  $77^\circ$  olduğu tespit edilmiş olup bu sayede mikroyapıda alüminanın yer aldığı doğrulanmıştır (Şekil 8b). Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlere ait yürütülen faz analizinde; sinterlemenin etkisiyle alüminyum karbür (Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) oluşumu gibi mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi bir ikincil faz oluşumuna rastlanmamıştır (Ghasali vd., 2015; Al-Mosawi vd., 2017; Sharifi vd., 2012).



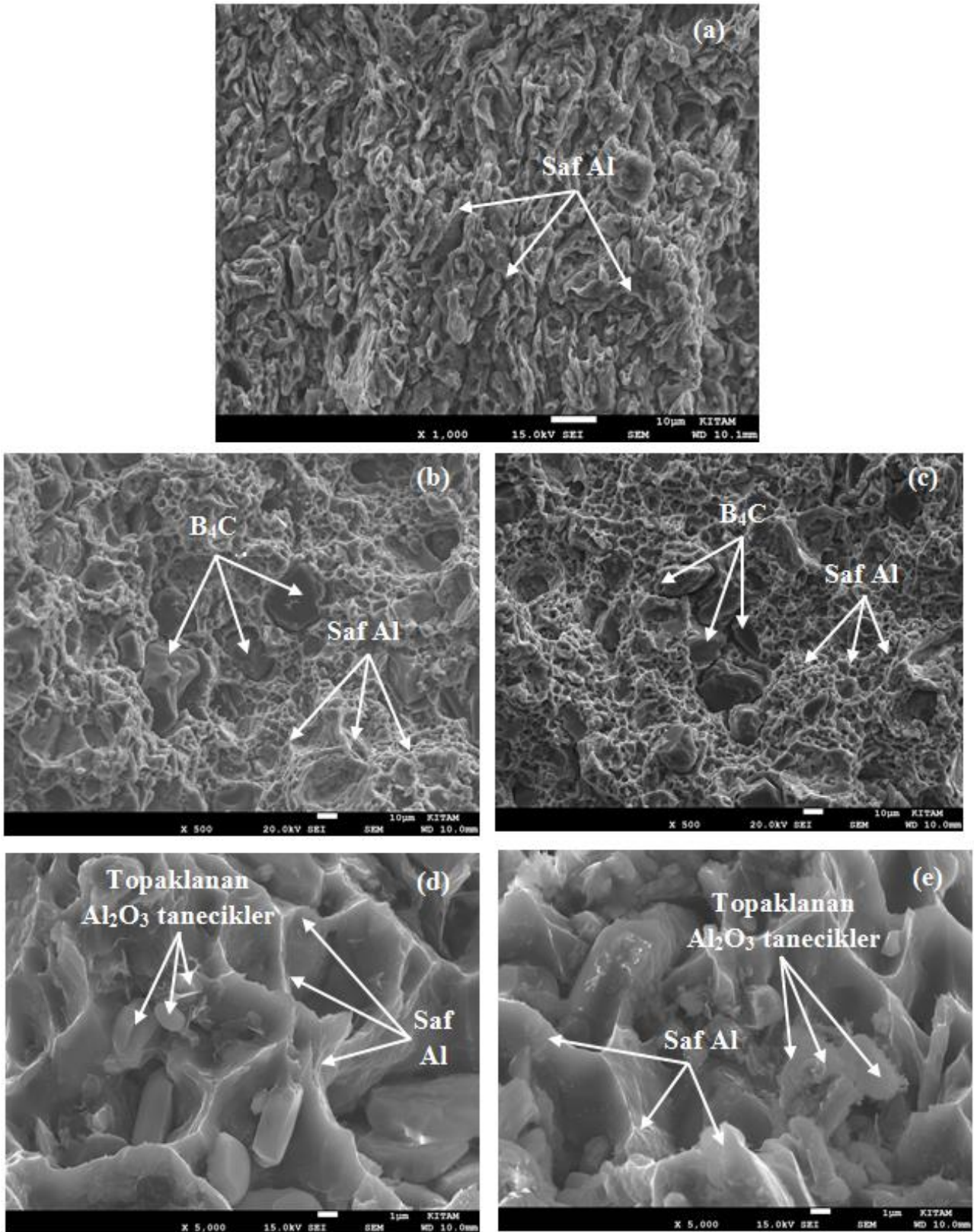
**Şekil 8.** Kompozitlere ait XRD faz analizleri: (a) saf Al, Al-%30B<sub>4</sub>C ve (b) saf Al, Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen saf Al, Al-%15B<sub>4</sub>C, Al-%30B<sub>4</sub>C, Al-%15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan SEM incelemelerinden; Al-%15B<sub>4</sub>C ve Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlerin mikroyapılarının oldukça yoğun olduğu, alüminyum partiküllerin iyi bir şekilde boyun vererek sinterlendiği ve B<sub>4</sub>C partiküllerin homojene yakın bir şekilde dağıldığı görülmüştür (Şekil 9(b-c)). Ayrıca kırık yüzey SEM görüntülerinden Al-%15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait gözenek miktarının Al-%15B<sub>4</sub>C ve Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlerdeki gözenek miktarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9(d-e)). Bu durum, 1-6 µm partikül boyut aralığına sahip alümina partiküllerin topaklanmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.

Yürütülen mekanik testlerde, Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özelliklerinin Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlere oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, SEM mikroyapı incelemeleriyle de doğrulanmaktadır.

Şekil 10'da Al-%30B<sub>4</sub>C kompozite ait SEM ve SEM-EDX haritalama görüntüsü verilmiştir. Şekil 10b'de yeşil renkle gösterilen bölgelerin bor karbür ve kırmızı renkle gösterilen bölgelerin ise alüminyum olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Alüminyum matrisli kompozit yapıda bor karbür partiküllerinin dağılımını göstermek amacıyla alüminyum (Al), bor (B) ve karbon (C) elementlerinin içyapıdaki dağılımı incelenmiştir (Şekil 10(c-e)).



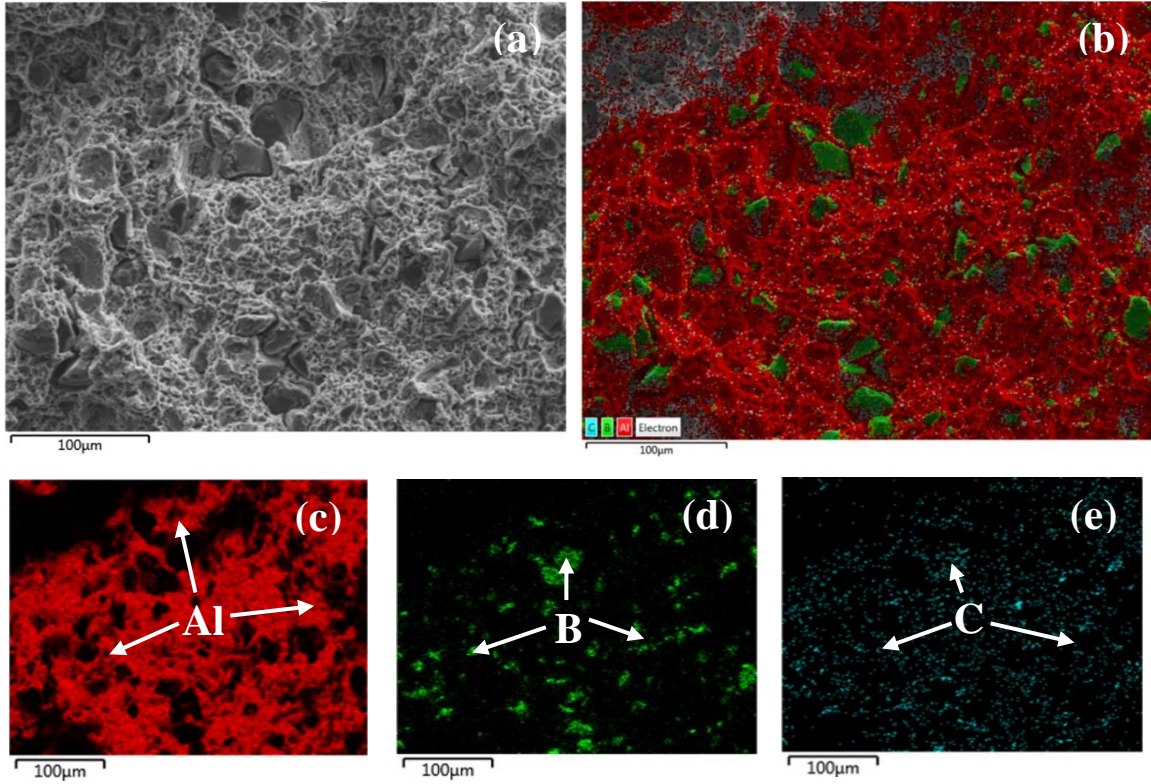


Şekil 9. Kırık yüzey SEM görüntüleri: (a) saf Al, (b) Al-%15B<sub>4</sub>C, (c) Al-%30B<sub>4</sub>C, (d) Al-%15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve (e) Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Yürütülen incelemeler neticesinde özellikle ağırlıkça %30 bor karbürün yer aldığı dağılımda herhangi bir şekilde topaklanmış bor karbür partiküllerine rastlanmamıştır. Bu durum da toz

metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.





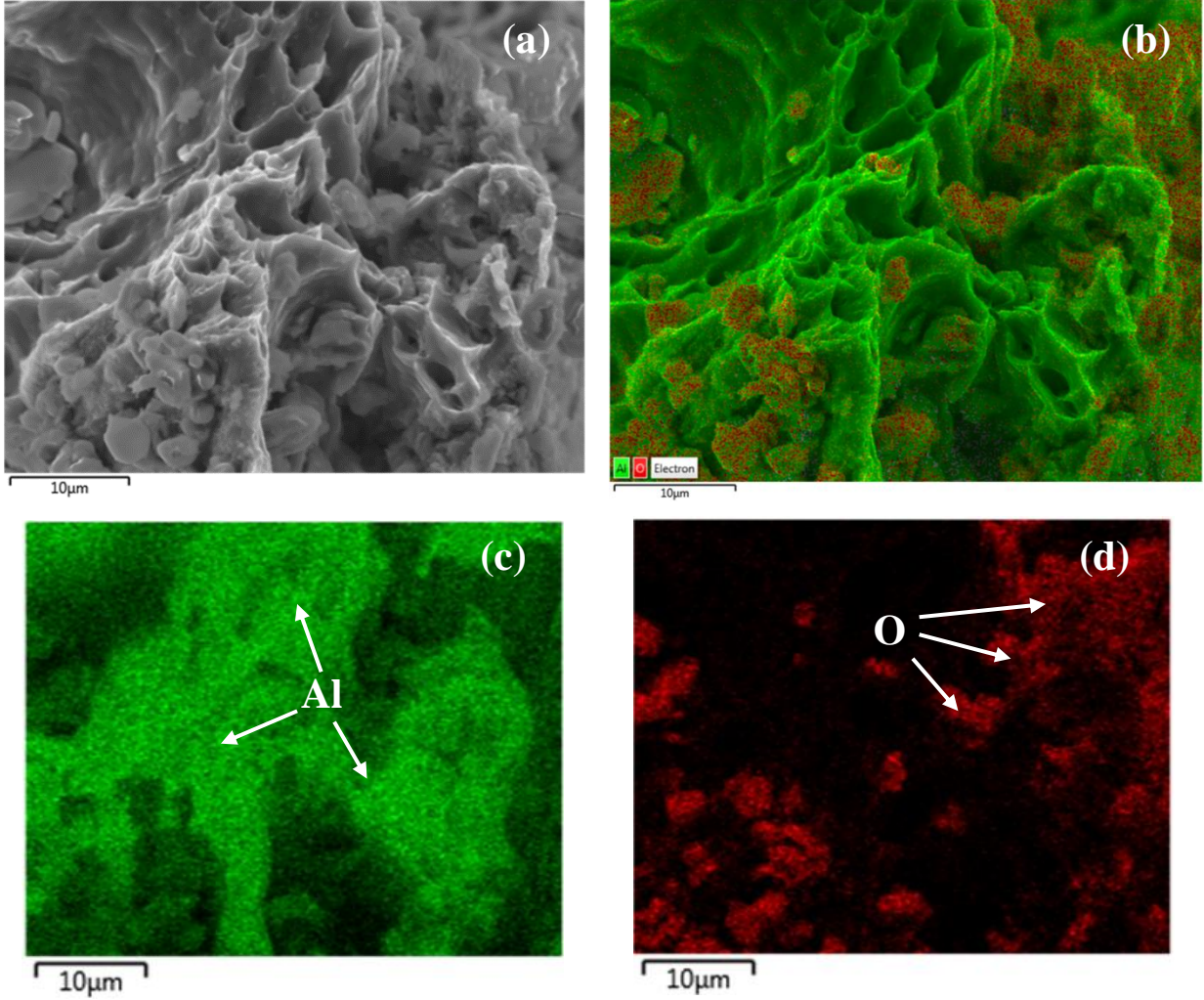
**Şekil 10.** Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitlere ait kırık yüzey SEM (a), SEM-EDX haritalama görüntüsü (b), iç yapıda alüminyum (c), bor (d) ve karbon (e) elementleri dağılımı

Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozite ait kırık yüzey SEM ve SEM-EDX haritalama görüntüleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11a'daki SEM görüntüsünden de anlaşılacağı üzere alüminyum partiküllerin boyun vererek iyi bir şekilde sinterlendiği tespit edilmiştir. SEM-EDX görüntüsünden ise kırmızı renkle gösterilen bölgelerde oksijen elementinin yoğunlaştığı görülmüştür (Şekil 11b). Şekilde oksijen elementinin yoğunlaştığı bu bölge, alümina partiküllerinin varlığını işaret etmektedir. Al-%30B<sub>4</sub>C kompozite ait kırık yüzey SEM-EDX haritalama analizi incelendiğinde ise alümina partiküllerinin belli bir bölgede topaklandığı görülmüştür (Şekil 11(c-d)). Bu yoğun topaklanma ise iç yapıda gözenek miktarının artmasına neden olmuştur. Yürütülen mekanik testler neticesinde, Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıdaki gözeneklilik oranının bu derece yüksek olmasının sebebi de alümina partiküllerinin muhtemel topaklanması olarak görülmektedir. Ayrıca bu durum Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özelliklerinin Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin mekanik özelliklerinden daha düşük olmasına sebep olmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, saf Al ve ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15, 30 katkı oranlarında Al-B<sub>4</sub>C, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozit yapılar içerisinde en yüksek

deneysel yoğunluk, Vickers sertliği ve basma dayanımı Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (deneysel yoğunluk: 2.56 g/cm<sup>3</sup>, bağıl yoğunluk: %87.7, sertlik: 52 HV, basma dayanımı: 162 MPa) ve Al-%30B<sub>4</sub>C (deneysel yoğunluk: 2.70 g/cm<sup>3</sup>, bağıl yoğunluk: %96.7, sertlik: 75 HV, basma dayanımı: 178 MPa) kompozit yapılarda elde edilmiştir. Saf alüminyuma kıyasla Al-%30B<sub>4</sub>C kompozitin sertliği %150, basma dayanımı %98; saf alüminyuma kıyasla Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliği %73.3 ve basma dayanımı %80 oranında artmıştır. SEM ve SEM-EDX mikroyapı incelemelerinden; alüminyum partiküllerin boyun vererek iyi bir şekilde sinterlendiği tespit edilmiştir. XRD faz analizi incelemelerinden ise; sinterlemenin etkisiyle mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilecek bir ikincil faz (Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) oluşumuna rastlanmamıştır. Karşılaştırmalı mekanik testler neticesinde, Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin sertliğinin, gözeneklilik oranının ve basma dayanımının Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin sertliğinden, gözeneklilik oranından ve basma dayanımından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kompozitler plastik deformasyon sınırları içerisinde depoladığı enerji olan toklukları incelendiğinde; en yüksek tokluğa Al-%30B<sub>4</sub>C kompozit yapıda ulaşılmıştır. Bu durum, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapılarda 1-6 µm partikül boyut aralığına sahip alümina partiküllerin topaklanmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.



**Şekil 11.** Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait kırık yüzey SEM (a), SEM-EDX haritalama görüntüsü (b), içyapıda alüminyum (c) ve oksijen (d) elementleri dağılımı

Bu durumun aksine, Al-B<sub>4</sub>C kompozit yapıda bor karbür partiküllerin homojene yakın bir şekilde dağıldığı ve bu dağılımın Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

#### Kaynaklar

Al-Mosawi, B.T., Wexler, D. ve Calka, A., 2017. Characterization and Mechanical Properties of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle Reinforced Aluminium Matrix Composites, Synthesized via Uniball Magneto-Milling and Uniaxial Hot Pressing. *Advanced Powder Technology*, 28, 3, 1054-1064.

Alizadeh, A., Taheri-Nassaj, E. ve Baharvandi, H.R., 2011. Preparation and Investigation of Al-4wt.%B<sub>4</sub>C Nanocomposite Powders using Mechanical Milling. *Bulletin of Materials Science*, 34, 1039-1048.

Callister, W.D. ve Rethwisch, D.G., 2014. *Materials Science and Engineering*, John Wiley&Sons, Inc., USA, 215p.

Ezatpour, H.R., Torabi Parizi, M., Sajjai, S.A., Ebrahimi, G.R. ve Chaichi, A., 2016. Microstructure, Mechanical Analysis and Optimal Selection of 7075 Aluminum Alloy Based Composite Reinforced with Alumina Nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, 178, 119-127.

German, R.M., 2007. *Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri* (Çev. Türk Toz Metalurjisi Derneği), Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, ISBN: 975-924-632-5, Ankara, 574s.

Ghasali, E., Alizadeh, M., Ebadzadeh, T., Pakseresh, A.H. ve Rahbar, A., 2015. Investigation on Microstructural and Mechanical Properties of B<sub>4</sub>C-Aluminum Matrix Composites Prepared by Microwave Sintering. *Journal of Materials Research and Technology*, 4, 4, 411-415.

Hu, H.M., Lavernia, E.J., Harrigan, W.C., Kajuch, J. ve Nutt, S.R., 2001. Microstructural Investigation on B<sub>4</sub>C/Al-7093 Composite. *Materials Science and Engineering: A*, 297, 1-2, 94-104.

- Ipekoglu, M., Nekouyan, A., Albayrak, O. ve Altintas, S., 2017. Mechanical Characterization of B<sub>4</sub>C Reinforced Aluminum Matrix Composites Produced by Squeeze Casting. *Journal of Materials Research*, 32, 599-605.
- Khademian, M., Alizadeh, A. ve Abdollahi, A., 2017. Fabrication and Characterization of Hot Rolled and Hot Extruded Boron Carbide (B<sub>4</sub>C) Reinforced A356 Aluminum Alloy Matrix Composites Produced by Stir Casting Method. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70, 6, 1635-1646.
- Kok, M., 2005. Production and Mechanical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle-Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 161, 381–387.
- Lillo, T.M., 2005. Enhancing Ductility of Al6061+10wt.%B<sub>4</sub>C through Equal-Channel Angular Extrusion Processing. *Materials Science and Engineering: A*, 410-411, 443-446.
- Martinez, V.P, Torres, J.T. ve Valdes, A.F., 2017. Recycling of Aluminum Beverage Cans for Metallic Foams Manufacturing. *Journal of Porous Materials*, 24, 707–712.
- Öztop, B. ve Gürbüz, M., 2018. Investigation of Properties of Composites Produced from Waste Aluminum with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Reinforcement. *Technological Applied Sciences*, 13, 1, 57-66.
- Pang, X., Xian, Y., Wang, W. ve Zhang, P., 2018. Tensile Properties and Strengthening Effects of 6061 Al/12wt%B<sub>4</sub>C Composite Reinforced with Nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 768, 476-484.
- Parvin, N. ve Rahimian, M., 2012. The Characteristics of Alumina Particle Reinforced Pure Al Matrix Composite. *Acta Physica Polonica A*, 121, 1, 108-110.
- Ravindranath, V.M., Shiva Shankar, G.S., Basavarajappa, S. ve Siddesh Kumar, N.G., 2017. Dry Sliding Wear Behavior of Hybrid Aluminum Metal Matrix Composite Reinforced with Boron Carbide and Graphite Particles. *Materials Today: Proceedings*, 4, 10, 11163-11167.
- Sharifi, E.M., Enayati, M.H. ve Karimzadeh, F., 2012. Fabrication and Characterization of Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Nanocomposite by Mechanical Alloying. 2nd International Conference on Ultrafine Grained&Nanostructured Materials (UFGNSM) *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 5, 480–487.
- Srivastava, N. ve Chaudhari, G.P., 2018. Microstructural Evolution and Mechanical Behavior of Ultrasonically Synthesized Al6061-Nano Alumina Composites. *Materials Science&Engineering A*, 724, 199-207.
- Şahin, Y., 2006. *Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınevi, Ankara*, 436s.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M. ve Koç, E., 2015. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56, 669, 36-47.
- Şenel, M.C, Gürbüz, M. ve Koç, E., 2017. Grafen Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 8, 974-978.
- Şenel, M.C. ve Gürbüz, M., 2020. Mikron Altı Boyutlu Alümina Katkısının ve Soğuk Deformasyon İşleminin Üretilen Alüminyum Kompozit Yapının Mekanik Özellikleri ve Mikroyapısına etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 1, 76-85.
- Zhang, L., Shi, J., Shen, C. ve Zhou, X., 2017. B<sub>4</sub>C-Al Composites Fabricated by the Powder Metallurgy Method. *Applied Sciences*, 7, 1009, 1-14.



## Taşıt Titreşimlerinin Sürücü Konforuna Etkisi: Yarım Araba ve Sürücü Modeli

### *Effect of Vehicle Vibrations on the Driver Comfort: Half Car and Driver Model*

Mithat YANIKÖREN<sup>\*1,a</sup>, Selim TEZGEL<sup>2,b</sup>, Bilal USANMAZ<sup>3,c</sup>, Ömer GÜNDOĞDU<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Programı, 11230, Bilecik

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>4</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 27.04.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 14.06.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.06.2020

#### Öz

Bu çalışmada taşıt titreşimlerinin sürücü konforuna etkisi, iç organlara iletilen titreşimin büyüklükleri cinsinden incelenmiştir. Bu maksatla bir yarım araba modeli, araç koltuğu ile sürücünün iç organlarıyla birlikte oluşturulmuştur. Araç ve koltuğu 5 serbestlik derecesine sahipken sürücü 4 serbestlik derecesine sahip tasarlanmıştır, sonuçta toplam 9 serbestlik dereceli bir sistem kurgulanmıştır. Hareket denklemleri yazılarak yollarda hız engelleyici olarak kullanılan kasisler titreşim girdisi olarak kabul edilmiştir. Farklı taşıt hızları ve farklı kasis boyutları için benzetimler yapılmış ve sürücünün başına, iç organlarına ve sürücü koltuğuna iletilen titreşimler incelenmiştir. İç organlara iletilen titreşimlerin büyüklükleri değerlendirilirken kök ortalama kare (RMS) değerleri kullanılmış ve sonuçlar grafikler vasıtasıyla yorumlanmıştır. Literatürde süspansiyon ve sürücü koltuk tasarımları daha çok sürücü koltuğuna iletilen titreşimin azaltılmasını kıstas alırken çok azı ise sürücü kafasına iletilen titreşimin ivmesi esas almaktadır. Bu çalışmada ise süspansiyon, koltuk ve kasis tasarımlarında sürücünün hem başı hem de iç organlarına iletilen titreşimin kök ortalama kare değerinin de hesaba katılması önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyotitreşim, İç Organ Titreşimi, Kasis, Tüm Vücut Titreşimi, Yarım Araba

#### Abstract

In this study, the effects of vehicle vibrations on driver comfort are examined in terms of the magnitude of the vibration transmitted to the internal organs. For this purpose, a half car model was created with the vehicle seat and the driver with the internal organs. While the vehicle and its seat have 5 degrees of freedom, the driver is modeled as 4 degrees of freedom, and as a result, a system with a total of 9 degrees of freedom has been modeled. The bumps used as speed regulators on the roads are accepted as vibration input to the system while writing the equations of motion. Simulations were performed for different vehicle speeds and different bumper dimensions to evaluate the vibrations transmitted to the driver's head, internal organs and the driver's seat. When assessing the magnitudes of the vibrations transmitted to the internal organs, the root mean square is used. In the literature, suspension and driver seat designs take the criterion of reducing the vibration transmitted to the driver's seat, while few are based on the acceleration of the vibration transmitted to the driver's head. In this study, it is proposed to take into account the root mean square value of the vibration transmitted to both the head and internal organs of the driver in suspension, seat and bump designs.

**Keywords:** Biovibration, Viscera Vibration, Speed Bump, Whole Body Vibration, Half Car

\*a Mithat YANIKÖREN; mithat.yanikoren@bilecik.edu.tr, Tel: (0228) 214 24 18, orcid.org/0000-0003-1075-313X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2153-4071

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-0531-4618

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0003-2656-4181

## 1. Giriş

Titreşimler, sistemlerin belirli bir denge noktası etrafındaki salınımlı hareketleri olarak tarif edilirler. Mekanik eleklere olduğu gibi belirli bir amaç için istemli olarak oluşturulmuyorsa genellikle sistemlerde bozucu etkileri vardır ve tasarımcılar tarafından engellenmeye çalışılırlar. Titreşim kontrolünde genellikle gürültüyü, yıpranmayı ve yorulmayı engellemenin yanında insan konforunu sağlama amaçlanır.

Sistem titreşimlerinin yanı sıra insanlar da günlük yaşamlarında birçok titreşime maruz kalırlar. Örneğin bir araçla seyahat eden veya bir aleti/iş makinasını kullanan bir insan da birtakım sarsıntılara maruz kalır. Bu titreşimlerin; tarım aracı süren veya iş makinası kullanan bir insanın durumunda olduğu gibi bir bütün olarak vücuduna aktarılmasına ‘tüm vücut titreşimi’ ve el testeresi gibi aletleri kullananların el ve kollarına iletilen titreşimlere de ‘el-kol titreşimleri’ olarak tanımlanır (Mansfield, 2004).

İnsan vücudunu etkileyen titreşimler öncelikle vücudun eklemlerle bağlı olan bölümlerinin (kollar, bacaklar, baş, omurilik vb.) düzgün çalışmamasını etkiler. Bunlara bağlı olarak eklem ağrıları, bel ağrıları, meslek hastalıkları, sinir sistemi bozuklukları gibi rahatsızlıklar meydana gelir. Ayrıca uzun süreli titreşime maruz kalan vücudun duruşunda ve dengesinde bozulmalar meydana gelir. Tüm bu etkilere bağlı olarak istenmeyen psikolojik, sosyolojik gibi ikincil rahatsızlıklar meydana gelir (Maioh, 2007).

Literatürde, çok sayıda çeyrek, yarım ve tam araba modellerinin yanı sıra arabanın koltukla ve/veya sürücüsüyle birlikte titreşim model ve benzetimleri ile optimizasyonlarını bulmak mümkündür. Burada konuyla ilgili birkaç yayından bahsedilmekle yetinilecektir. Gündoğdu (2007), Özellikle insan vücudunun titreşimlerini göz önüne alarak süspansiyon tasarımının en iyilemesinin yaptığı bir çalışmada, çeyrek arabayı, koltuk ve insan vücuduyla birlikte modellemiş ve sürücü konforunu arttıracak en iyi süspansiyon parametrelerini tespit etmeye çalışmıştır. Mitra vd. (2016) ise standartlara göre sürüş konforunun iyileştirebilmek için temel ve basit bir 4 serbestlik dereceli çeyrek araç modelin matematiksel denklemlerini modal analiz yöntemi kullanılarak çıkarmışlar ve SIMULINK kullanılarak benzetimini yapmışlardır. Sürücü konforunu en iyilemek için de genetik algoritmalarından faydalanarak yay katsayısı, sönüm katsayısı, askı kütlesi, aks kütlesi ve tekerlek yaylanma

katsayılarını bulmuşlardır. Nagarkar vd. (2016) yaptıkları çalışmada, sürücü modeli ile lineer olmayan çeyrek oto koltuğu süspansiyon sisteminin çok amaçlı en iyilemesini sunmuşlardır. Lastikte ve süspansiyonda doğrusal olmayan yaylar kullanılarak kurulan çeyrek araba ile sürücünün modeli 8 serbestlik derecesine sahiptir. Çok amaçlı optimizasyonlarında; kafa hızlanması, kafa RMS (Root Mean Square-Kök Ortalama Kare) hızlanmasının koltuk RMS hızlanmasına genlik oranı, üst gövde RMS hızlanmasının koltuk RMS hızlanmasına genlik oranı, tepe faktörü, süspansiyon dinamik sapma açısından ve dinamik lastik kuvveti büyüklüklerini optimizasyonun amaç fonksiyonları olarak kabul ederek problemlerini çözmüşlerdir. Benzetim sonucunda, optimum tasarım değişkenlerinin klasik tasarım değişkenlerine göre sürüş konforunu ve sağlık kriterlerini iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Liand vd. (2007), yol bozuklukları nedeni ile dikey titreşime maruz kalan hamile sürücülere veya yolculara etkilerini inceleyen yarım araç modeli ve tam araç modeli önermişlerdir. Gadhi vd. (2016) yaptıkları çalışmada, yarım arabanın pasif süspansiyon sistemini en iyilemek için kısıtlanmış çok amaçlı bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Tasarım değişkenleri; sürücü koltuğu ile ön ve arka süspansiyonların direngenlik ve sönümlenme sabitleridir. Amaç fonksiyonu olarak; sürücü koltuğunun sürüş konforunun iyileştirilmesi, ön lastik ve yol arasındaki dinamik kuvvetin değişimini (veya ön lastik sapmasını) en aza indirmek ve arka lastikte benzer şekilde daha iyi yol tutuşu sağlamayı amaçlamışlardır. Konuyla ilgili olarak Anandan ve Kandavel (2020), sürücü ve yolcunun da dahil olduğu 14 serbestlik dereceli bir yarım araç modeli önermiş ve sürüş konforunu artırmak için aktif süspansiyon sistemi araca entegre edilmiştir. Geliştirilen bu model ile farklı araç hızları altında çeşitli yol profillerinde simülasyon sonuçları incelenmiş ve pasif süspansiyon sistemi ile karşılaştırılmıştır. Sürücü ve yolcu vücut ivmelenmesi (kafa titreşimi), aracın dikey kütle ivmelenmesi, ön ve arka süspansiyon sapması, ön ve arka lastik sapması gibi ilgili performans ölçütleri benzetilmiştir. Simülasyon sonuçları önerilen aktif süspansiyon sisteminin araç dengesi ve sürüş güvenliği ile sürüş konforunu önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada, karayollarında kullanılan kasislerin (hız kesicilerin) tüm vücut titreşimlerine ve özellikle insan iç organlarına ve kafasına etkisi incelenmiştir. Standartlarda insan kafasının maruz

kaldığı titreşimler esas alınırken iç organlara etkisine –bazı çalışmalarda incelenmesine rağmen- yeterince önem verilmediği görülmüştür. Bu çalışmada koltuğuyla birlikte bir yarım arabanın modeli, kafa ve iç organları da içeren bir insan modeliyle birlikte kurulmuş ve karayollarında kullanılan kasislerin etkisi titreşim açısından incelenmiştir.

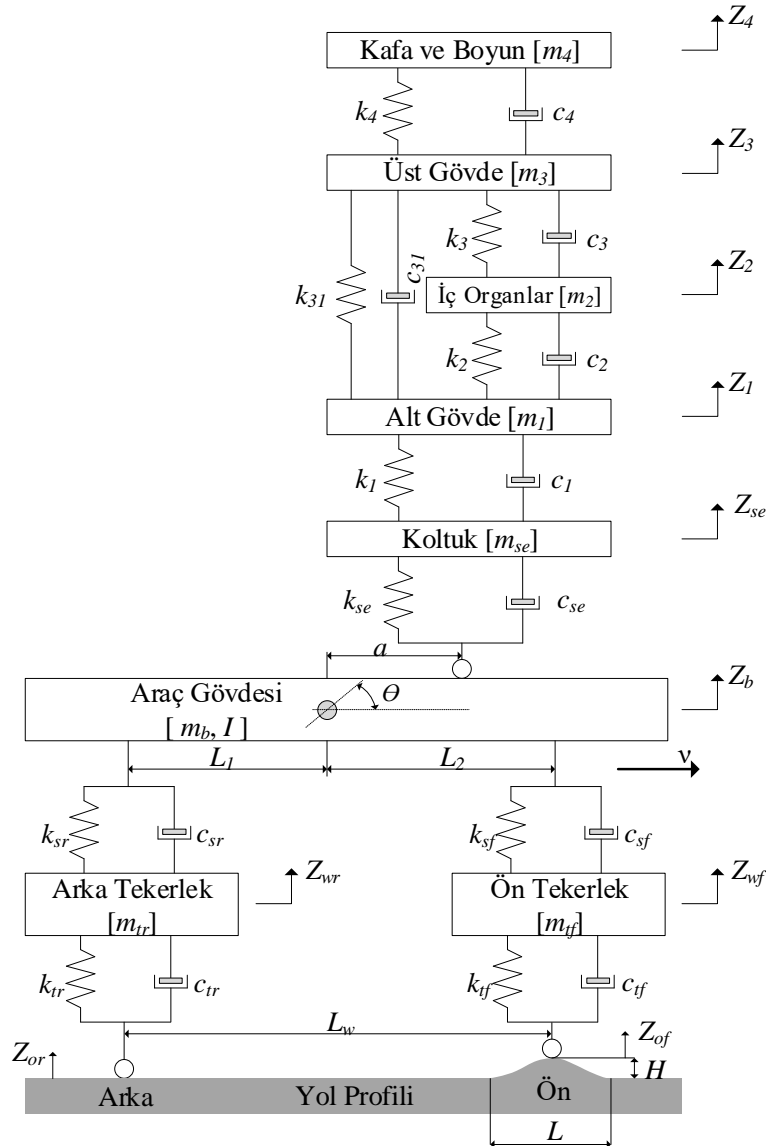
## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Fiziksel Model

Çalışmada kullanılan model, mekanik sistem elemanlarının (yay, kütle ve amortisör) kullanıldığı bir biyotitreşim modelidir. Yarım araba üzerine monte edilmiş bir koltuk üzerinde oturan sürücünün kafasına ve iç organlarına iletilen titreşim, 9 serbestlik dereceli bir model kurularak incelenmiştir.

Araba, Şekil 1’de gösterildiği gibi yarım araba modeli şeklinde düşünülmüş ve üzerine bir sürücü koltuğu yerleştirilmiştir. Tekerlekler ise ön ve arka çiftler birlikte modellenmiştir. Bu şekliyle araba 5 serbestlik derecesine sahip olup arabaya ait ağırlık, atalet, yay sabiti ve sönüm sabitleri gibi değerler literatürden alınmıştır (Abbas vd, 2013). Bu parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir.

İnsan vücudu ise oturur vaziyette ve 4 serbestlik derecesine sahip bir model olarak geliştirilmiştir (bkz. Şekil 1). Model, insan kafasına ve iç organlarına yoldaki kasis sebebiyle iletilecek titreşimleri yansıtacak şekilde seçilmiştir. Modelle ilgili yay, kütle ve sönüm sabitleri literatürden alınmıştır (Wan ve Schimmels, 1995). Bu parametreler Tablo 2’de listelenmiştir.



Şekil 1. Taşıt ve sürücüye ait fiziksel model



**Tablo 1.** Yarım araç ve koltuk süspansiyon model parametreleri (Abbas vd, 2013)

Parametre	Sembol	Değer
Ön lastik yay katsayısı (N/m)	$k_{tf}$	155
Arka lastik yay katsayısı (N/m)	$k_{tr}$	900
Ön aks kütlesi (Kg)	$m_{wf}$	28.58
Arka aks kütlesi (Kg)	$m_{wr}$	54.3
Ön ve arka süspansiyon sönümlenme katsayısı (Ns/m)	$c_{sf}, c_{sr}$	1828
Ön ve arka lastik sönümlenme katsayısı (Ns/m)	$c_{tf}, c_{tr}$	0
Ön ve arka süspansiyon yay katsayısı (N/m)	$k_{sf}, k_{sr}$	15000
Ön aks ile araç ağırlık merkezi arasındaki mesafe (m)	$L_1$	1.098
Arka aks ile araç ağırlık merkezi arasındaki mesafe (m)	$L_2$	1.468
Koltuk ve araç ağırlık merkezi arasındaki mesafe (m)	$a$	0.7
Araç gövde kütlesi (Kg)	$m_b$	505.1
Araç gövdesinin kütle atalet momenti (Kgm <sup>2</sup> )	$I$	651
Koltuk Kütlesi (Kg)	$m_{se}$	35
Koltuk sönümlenme katsayısı (Ns/m)	$c_{se}$	150
Koltuk süspansiyon yay katsayısı (N/m)	$k_{se}$	15000

**Tablo 2.** Oturan sürücü biyomekanik parametreleri (Wan ve Schimmels, 1995)

Kütle (Kg)		Sönümlenme Katsayısı (Ns/m)		Yay Katsayısı (N/m)	
$m_1$	36	$c_1$	2475	$k_1$	49340
$m_2$	5.5	$c_2$	330	$k_2$	20000
$m_3$	15	$c_3$	200	$k_3$	10000
$m_4$	4.17	$c_4$	250	$k_4$	134400
		$c_{31}$	909.1	$k_{31}$	192000

## 2.2. Matematiksel Model ve Simülasyon

Fiziksel modeli yukarıda izah edilen araç ve sürücü sisteminin matematiksel modeli Newton-Euler formülasyonu kullanılarak elde edilmiştir. Araba kütlesi hariç tüm kütleler maddesel nokta yaklaşımı ile ifade edildiğinden

$$\sum F_{z,i} = m_i \ddot{z}_i \quad (1)$$

formülünü kullanmak yeterlidir. Ancak araba gövdesi bir rijit cisim olarak modellendiğinden, Denklem (1) ile birlikte

$$\sum M_G = I_G \ddot{\theta} \quad (2)$$

moment denklemi de kullanılmalıdır. Böylece, elde edilen matematiksel ifadeler, 9 adet sabit katsayılı ikinci mertebeden doğrusal adi diferansiyel denklemdir. Bu denklemler, genel formu

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \quad (3)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \quad (4)$$

ile durum uzayları biçiminde yazılmıştır. Bu denklemler, yukarıda bahsedilen 9 diferansiyel denklemin ara değişkenler kullanılarak 18 adet birinci mertebeye diferansiyel denklemleriyle yeniden ifade edilmesidir. Burada (3) denklemiyle gösterilen sistemin matematiksel modelini temsil ederken (4) denklemiyle çıktılar kurgulanmıştır.

Sistem denklemindeki  $\mathbf{x}$  ve  $\mathbf{y}$  sırasıyla durum ve çıktı vektörleridir.  $\mathbf{A}$  ve  $\mathbf{B}$  matrisleri sırasıyla durum (veya sistem) ve girdi (veya input) matrisleridir.  $\mathbf{C}$  ve  $\mathbf{D}$  matrisleri ise sırasıyla çıktı (veya output) ve ileri (veya geri) besleme matrisleridir.

Çıktılar, sürücü başının ( $a_4$ ) ve iç organlarının ivmeleri ( $a_2$ ) ile sürücü koltuğunun titreşimlerini elde edecek şekilde düzenlenmiştir.

Durum uzaylarında yazılan bu denklemler MATLAB®'de kodlanmış ve benzetimler gerçekleştirilmiştir. Diferansiyel denklemleri çözmek için MATLAB®'de hazır bulunan ode45 komutu kullanılmıştır.

Sinüzoidal biçiminde verilen

$$z_{of} = H \sin\left(\frac{\pi v}{L} t\right) \quad (5)$$

$$z_{or} = H \sin\left(\frac{\pi v}{L} (t + \tau)\right) \quad (6)$$

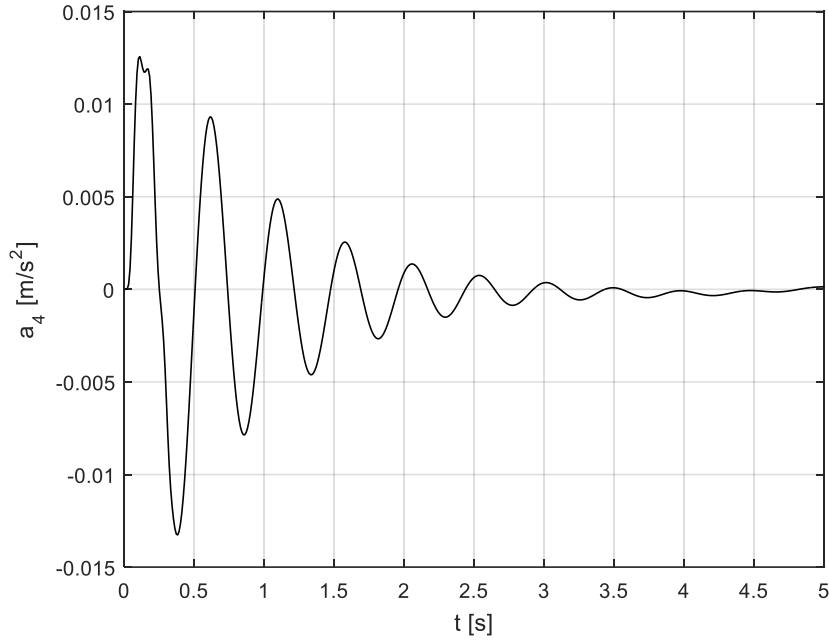
yol profiline karşı sistemin verdiği cevaplar, kasis eni ve yüksekliğine karşı benzetimleri yapılmıştır.

### 3. Bulgular

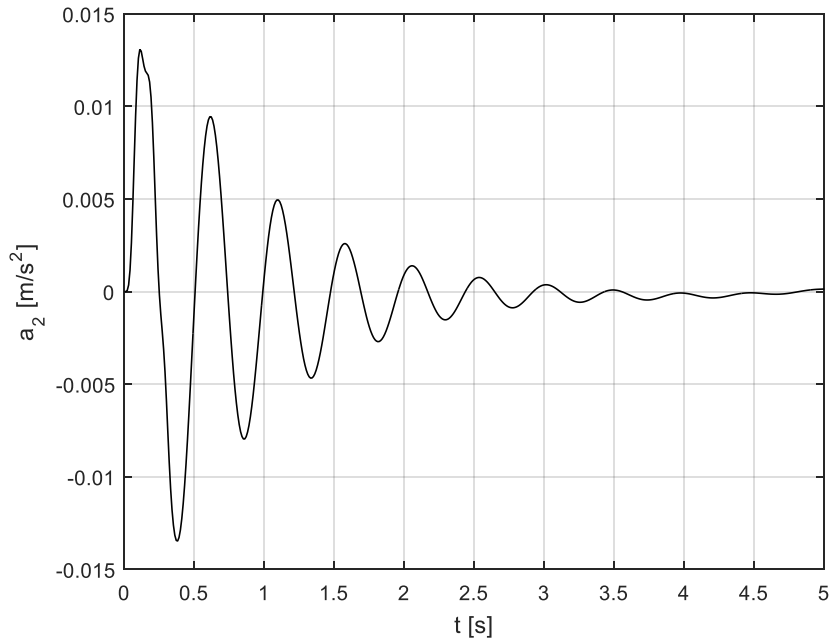
Benzetim sonuçları, ilk olarak belirli bir taşıt hızı ( $v = 30$  km/sa), kasis genişliği ( $L = 40$  cm) ve

kasis yüksekliği ( $H = 5$  cm) için alınmış ve Şekil 2-4'te sunulmuştur.

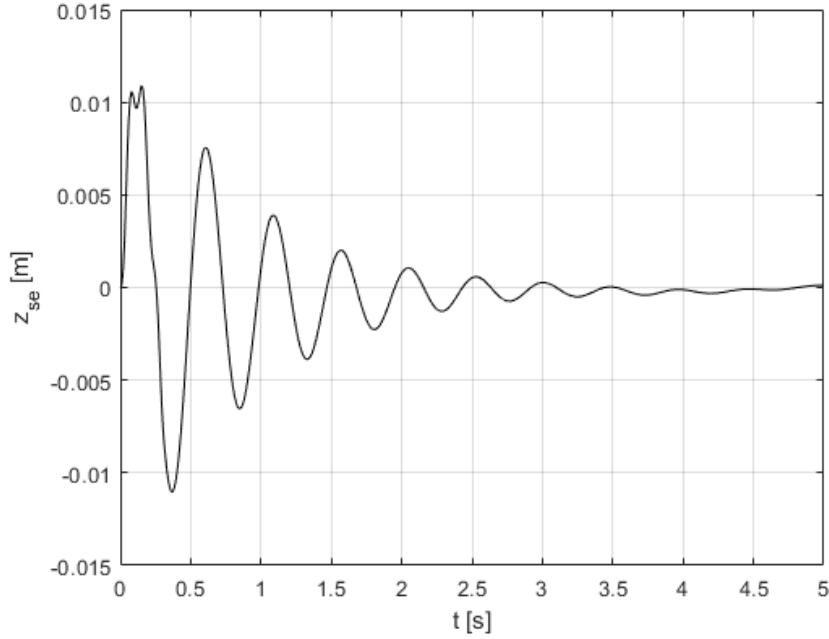
Şekil 2'de, yukarıda verilen şartlar altında kasisten geçen bir arabanın sürücüsünün başına etkiyen ivme ( $a_4$ ) sunulmuştur. Şekil üzerinde taşıtın kasise ilk çarptığında oluşan düşük frekanslı titreşimler açıkça gözlenmektedir. Şekil 3'te ise benzer şekilde yukarıda verilen şartlar altında kasisten geçen bir arabanın sürücüsünün iç organlarına etkiyen ivme ( $a_2$ ) sunulmuştur. Şekil 4'te ise bu şartlar altında araba koltuğuna etkiyen titreşimler ( $z_{se}$ ) gösterilmiştir.



Şekil 2. Sürücü başının maruz kaldığı ivme ( $v = 30$  km/sa,  $L = 40$  cm,  $H = 5$  cm)



Şekil 3. Sürücü iç organlarının maruz kaldığı ivme ( $v = 30$  km/sa,  $L = 40$  cm,  $H = 5$  cm)



Şekil 4. Sürücü koltuğunun maruz kaldığı titreşimler ( $v = 30$  km/sa,  $L = 40$  cm,  $H = 5$  cm)

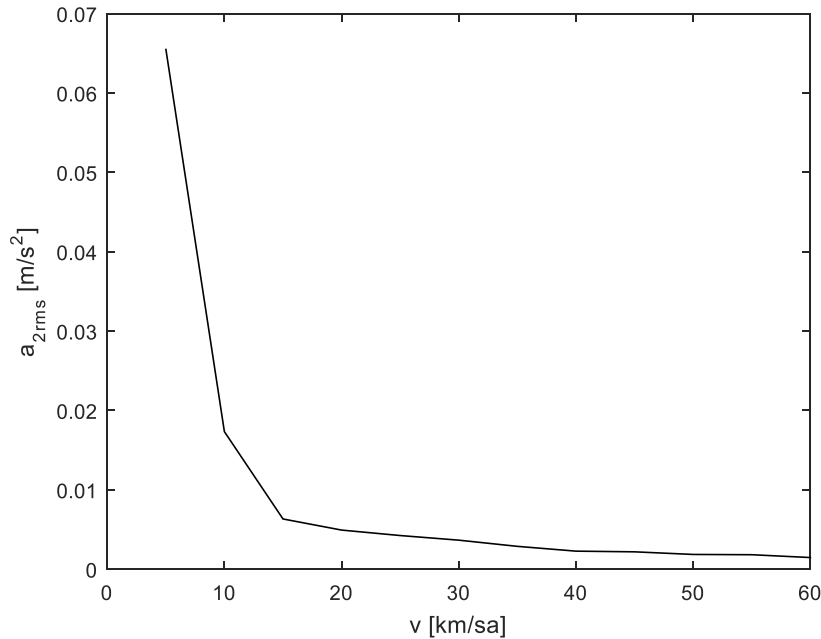
Yukarıda sunulan belirli bir taşıt hızı ile belirli kasis genişliği ve yüksekliği yerine bir seri taşıt hızı ( $5 \leq v \leq 60$  km/sa), kasis yüksekliği ( $1 \leq H \leq 20$  cm) ve kasis genişliği ( $L=40$  cm) için benzetimler tekrarlanmıştır. Bu üç değişkenden birinin tesiri incelenirken diğer ikisi sabit tutulmuştur.

Bu değişimlerin tesirini gözlemleyebilmek amacıyla sürücü iç organlarına gelen ivmelerin RMS değerleri (7) denkleminde hesaplanarak grafikler halinde Şekil 5-6'de sunulmuştur.

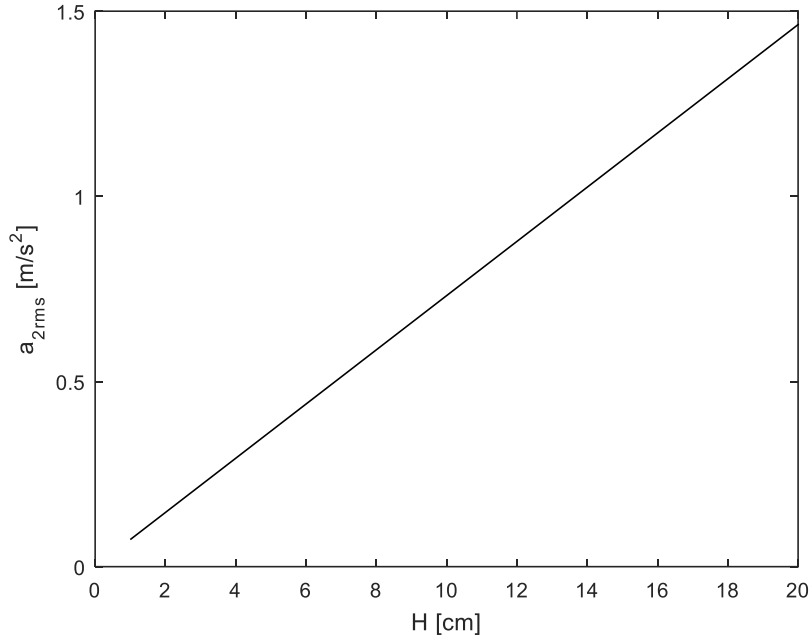
$$RMS(a) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (7)$$

İvmelenmenin ortalaması sinyalin büyüklüğünü göstermeyeceği için RMS kullanılmıştır. Denklem (7) de  $a$  ivmelenmeyi,  $T$  ise periyodu ifade etmektedir.

Şekil 5'te, kasis boyutları sabit tutulurken hız değiştirilmiş ve sürücünün iç organlarına iletilen titreşimin RMS değerleri hesaplanmıştır. Şekil 6'da, hız ve kasis genişliği sabit tutulmuş, kasis yüksekliğinin tesiri RMS değeri olarak gösterilmiştir



Şekil 5. Taşıt hızının iç organ titreşimlerinin RMS değerine tesiri ( $L = 40$  cm,  $H = 5$  cm)



**Şekil 6.** Kasis yüksekliğinin iç organ titreşimlerinin RMS değerine tesiri ( $v = 30$  km/sa,  $L = 40$  cm)

#### 4. Tartışma ve Değerlendirme

Bu çalışmada bir yarım araba titreşim modeli, sürücü koltuğu ile sürücüyü iç organlarını da içerecek şekilde kurulmuş ve yoldan gelen titreşimlerin sürücü başına ve iç organlarına iletimi benzetim yoluyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Yol kaynaklı titreşim girdilerine örnek olarak farklı hızlarda farklı boyutlardaki sinüzoidal kasisler alınmıştır.

Yapılan benzetimler sonucunda; taşıt hızının iç organlardaki titreşime tesirinin hız arttıkça azaldığı gösterilmiştir. Bu, ilk bakıştaki algıya ters olmasına rağmen anlaşılabilir bir durumdur. Çünkü süspansiyon modeli, düşey yöndeki amortisör açıklığı hızının artmasıyla sönümleme kuvvetinin büyüdüğü kabulüne dayanır. Süspansiyonlarda sönüm kuvveti  $F_d = cv$  şeklinde modellenip düşey hız arttıkça sönüm kuvvetini artırmaktadır. Bu da hız arttıkça sönümlemenin fazla olduğu ve iç organlara iletilen ivmenin azaldığını gösterir. Grafik dikkatle incelendiğinde bunun da çok büyük hızlara ulaşıldığında tesirinin kalmadığı görülür. Araba süspansiyonlarına aktarılan kuvvetler düşünüldüğünde, kasislere girişte saatte 30 km bir hızın ideal olduğu pratik sonucuna ulaşılabilir.

Yine benzetim sonuçlarından, kasis yüksekliğinin titreşimi arttırdığı görülmüştür. Bu açıdan kasis yüksekliklerinin aşırı olmaması tavsiye edilebilir. Bunlar da yine fiziksel sistem düşünüldüğünde anlaşılabilir sonuçlardır. Kasis yükseldiği arttıkça

taşıt da bu yüksekliği takip ederek bir tepki genliği verecektir.

Bu çalışmanın kapsamı, taşıt titreşimlerinin sürücüye, özellikle de sürücün iç organlarına tesirini incelemektir. Yol kasisleri, bu taşıt titreşimlerinin bir kaynağı olması sebebiyle incelemeye dâhil edilmiştir. Aksi hâlde kasis tasarımı bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu çalışmanın odak noktası sürücü konforunun iletilen titreşimin miktarı cinsinden belirlemektir.

#### Kaynaklar

- Abbas, W., Emam, A., Badran, S., Shebl, M., Abouelatta, O., 2013. Optimal Seat and Suspension Design for a Half-Car with Driver Model Using Genetic Algorithm. Intelligent Control and Automation. 04, 199–205.
- Anandan, A. ve Kandavel, A., 2020. Investigation and Performance Comparison of Ride Comfort on The Created Human Vehicle Road Integrated Model Adopting Genetic Algorithm Optimized Proportional Integral Derivative Control Technique. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part K J. Multi-Body Dyn. 146441932090668.
- Gadhvi, B., Savsani, V. ve Patel, V., 2016. Multi-Objective Optimization of Vehicle Passive Suspension System Using NSGA-II, SPEA2 and PESA-II. Procedia Technology. 23, 361–368.  
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.03.038>

- Gündoğdu, Ö., 2007. Optimal Seat and Suspension Design for a Quarter Car with Driver Model Using Genetic Algorithms. *Int. J. Ind. Ergon.* 37, 327–332.
- Liang, C.-C., Chiang, C.-F. ve Nguyen, T.-G., 2007. Biodynamic responses of seated pregnant subjects exposed to Vertical Vibrations in Driving Conditions. *Vehicle System Dynamics.* 45, 1017–1049.
- Maioh, B.G., Noise and Vibration, Principles of Occupational Health & Hygiene: An Introduction, 6.Ed. Tillman, C., Allen & Unwin, 2007, Sidney, Australia.
- Mansfield, N. J, 2004. Human Response to Vibration. CRC Press., Boca Raton London New York Washington, D.C. ISBN 0-415-28239-X, 14p.
- Mitra, A.C., Desai, G.J., Patwardhan, S.R., Shirke, P.H., Kurne, W.M.H. ve Banerjee, N., 2016. Optimization of Passive Vehicle Suspension System by Genetic Algorithm. *Procedia Engineering., International Conference on Vibration Problems 2015* 144, 1158–1166
- Nagarkar, M.P., Patil, G.J., Zaware, R.N., 2016. Optimization of nonlinear quarter car suspension–seat–driver model. *Journal of Advanced Research.* 7, 991–1007.
- TS ISO 2631-1, 2013; Mekanik Titreşim ve Şok – Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi Bölüm 1: Genel Kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Wan Y ve Schimmels JM, 1995, A Simple Model that Captures the Essential Dynamics of a Seated Human Exposed to Whole Body Vibration, *Advances in Bioengineering, ASME, BED* 31, 333-334.

## Optimization of Thrust Force and Surface Roughness Using Response Surface Methodology (RSM) in Drilling of Al-30Zn Alloy

*Al-30Zn Alaşımının Delinmesinde Yüzey Cevap Metodu (YCM) Kullanarak İlerleme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu*

Şenol BAYRAKTAR<sup>\*a</sup>, Ali Paşa HEKİMOĞLU<sup>b</sup>

Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Zihni Derin Campus, 53100, Rize, TURKEY

• Geliş tarihi / Received: 09.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 22.06.2020

### Abstract

In this study, Al-30Zn alloy was produced by permanent mold casting method. Drilling tests were performed after the values of hardness, tensile strength and elongation to fracture of the alloy were determined. 80x50x20 mm in dimensions workpiece was prepared from alloy ingot and drilling tests were performed with 8 mm diameter, 30° helix and 118°-point angle uncoated HSS (High speed steel) drills. Drilling tests were performed according to the experimental design obtained in response surface methodology (RSM) statistical analysis software. Independent variables were defined as cutting speed (600, 900 and 1200 rev/min) and feed rate (0.05, 0.15 and 0.25 mm/rev), while dependent variables were defined as thrust force and surface roughness. According to the experimental results, the statistical effect of independent variables on dependent variables was analyzed with ANOVA and optimum cutting parameters were determined. Accordingly, it was observed that the most effective independent variables on thrust force and surface roughness were feed rate and cutting speed, respectively. In addition, optimum cutting conditions according to minimum goal function were determined as cutting speed of 1200 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev. It was found that validation tests and statistical results were quite compatible depending on optimum cutting conditions.

**Keywords:** Drilling, Optimization, Response Surface Methodology, Surface Roughness, Thrust Force

### Öz

Bu çalışmada kokil kalıba döküm yöntemi ile Al-30Zn alaşımı üretilmiştir. Sertlik, çekme mukavemeti ve alaşımın kopma uzaması değerleri belirlendikten sonra delme testleri yapıldı. Alaşım külçesinden 80x50x20 mm boyutlarında iş parçası hazırlanmış ve 8 mm çaplı, 30° helis ve 118° uç açılı kaplamasız HSS (High speed steel) matkaplarla delme testleri yapılmıştır. Delme testleri, istatistiksel analiz yazılımından elde edilen yüzey cevap metodu (RSM) deneysel tasarımına göre yapılmıştır. Bağımsız değişkenler, kesme hızı (600, 900 ve 1200 dev/dak) ve ilerleme miktarı (0.05, 0.15 ve 0.25 mm/dev), bağımlı değişkenler ise itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanmıştır. Deney sonuçlarına göre bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki istatistiksel etkisi ANOVA ile analiz edilmiş ve optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Buna göre, itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili bağımsız değişkenlerin sırasıyla ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca minimum hedef fonksiyonuna göre optimum kesme şartları 1200 dev/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Doğrulama testleri ile istatistiksel sonuçların optimum kesme şartlarına bağlı olarak oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Delme, Optimizasyon, Yüzey Cevap Metodu, Yüzey Pürüzlülüğü, İtme Kuvveti

<sup>\*a</sup> Şenol Bayraktar; senol.bayraktar@erdogan.edu.tr, Tel: (0464) 223 75 18, orcid.org/0000-0001-8226-0188

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2396-4876



## 1. Introduction

In recent years, as a result of detailed research and development studies carried out on aluminum-based alloys, many aluminums and/or zinc-based bearing alloys have been developed which can be an alternative to conventional bearing materials such as bronze, brass and cast iron (Gervais et al., 1980; Hekimoğlu and Savaşkan, 2018; Prasad, 2005; Delneuve, 1985). These studies have shown that Al-Zn based alloys have some advantages over these conventional bearing materials. The most important advantages of Al-Zn based alloys are their high specific strength, ease of production and superior friction-wear resistance (Gervais et al., 1980; Hekimoğlu and Savaşkan, 2018; Prasad, 2005; Delneuve, 1985). The high specific strength and ease of production of Al-Zn based alloys is due to the low density of aluminum and low melting point, respectively. High friction-wear resistance of the Al-Zn alloys is explained by the combination of soft and hard phases in their microstructures (Hekimoğlu and Savaşkan, 2016; Savaşkan and Hekimoğlu, 2016; Hekimoğlu and Turan, 2019). It is claimed that the hard phases in the microstructures of these alloys facilitate load-bearing, while the zinc-rich soft phases facilitate the sliding due to the feature of the hexagonal close packed lattice structure (Marczak and Ciach, 1973; Barnhurst and Farge, 1988; Barnhurst, 1990; Prasad et al., 2001). Some studies have been conducted to determine the machinability properties of Al-Zn based alloys. Sanchez et al. investigated the effect of cutting parameters ( $V$ : 80 m/min,  $f$ : 0.05-0.3 mm/rev) on chip geometry during turning of UNS A97075 (Al:88.98% and Zn:6.03%) alloy (Sanchez et al., 2015) They found that the feed rate parameter had a significant effect on chip geometry and tool life. It is known that cutting force, surface roughness and BUE and BUL formation decrease with increasing cutting speed and cutting force and surface roughness increase in case of increasing feed rate in the Al-35Zn alloy (Hekimoğlu et al., 2018; Bayraktar et al., 2017). It is also known that uncoated tools perform better in the machining of the Al-Zn alloys (Hekimoğlu et al., 2018; Bayraktar et al., 2017). Martín-Béjar et al. observed that adhesion wear (Built up edge and Built up layer) increased due to increasing of feed rate and depth of cut during dry turning of the Al-Zn alloy (Al:89.13% and Zn: 6.03%) (Martín-Béjar et al., 2017), Bermudo et al. found that tensile strength increases after tensile tests after machined samples and this is caused by residual stresses caused by compression stresses on the machining surface (Bermudo et al., 2017). Yi et

al. observed that the micro-milling of Al-6061-T3 alloy decreased surface roughness with increasing cutting speed and increased with increasing feed. In addition, they found that good coherence was obtained between experimental and predicted results with the response surface method optimization (RSM) technique (Yi et al., 2015), Kyratsis et al. studied the effect of independent variables on dependent variables in drilling of Al-7075 alloy with RSM optimization technique (Kyratsis et al., 2018). The results of this study showed that the feed rate parameter on thrust force and cutting torque is more effective than cutting speed and optimization and experimental results are compatible with each other, Dikshit et al. reported that the roughness of the machined surface in milling of Al-2014-T6 alloy increased with increasing feed rate and cutting speed. In addition, they were stated that the mathematical model and experimental results developed by the RSM were statistically compatible (Dikshit et al., 2017). Studies in the literature revealed that structural, mechanical, tribological and machinability properties of Al-Zn based alloys differ according to the zinc content they contain (Hekimoğlu and Turan, 2019; Bican and Savaşkan, 2010; Savaşkan et al., 2009). On the other hand, it has been shown that Al-Zn alloys exhibit the highest strength and/or specific strength values if the zinc content is approximately 30% in the studies conducted to determine the optimal zinc content for Al-Zn based alloys (Hekimoğlu and Turan, 2019; Savaşkan et al., 2009). In these studies, structural and mechanical properties of Al-30Zn alloys are investigated in detail. However, there is no study to determine the most suitable machining parameters of Al-30Zn alloy. However, in the manufacturing of bearings, machining is one of the most important operation because it is the most effective process on the size, tolerance, surface integrity and roughness of the final product. Therefore, in this study, independent variables (Cutting speed and feed rate) were optimized by using response surface methodology in drilling of Al-30Zn alloy with uncoated HSS drills. According to the experimental results, statistical analyzes were performed with ANOVA to determine the numerical effects of independent variables on thrust force and surface roughness. In addition, mathematical models for thrust force and surface roughness were developed and thus the relationship between experimental and mathematical model results were put forward.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Preparation of Test Samples, Cutting Tool and Experimental Setup

In this study, Al-30Zn alloy containing 30% zinc was produced by permanent mold casting method. High commercial purity (99.8%) aluminum and zinc were used in the production of the alloy. The alloying elements were melted in a medium frequency induction melting furnace and then solidified by pouring into a mold made of SAE 8620 steel at a casting temperature of approximately 700° C. The technical drawing of the alloy ingot obtained from the casting is given in Figure 1. Hardness, tensile and drilling test samples were prepared from the middle part of the alloy ingot by machining method. Hardness measurements were carried out with Brinell method on the specimens with the dimension of Ø20×15 mm by using 2.5mm diameter ball under 62.5kg×f load. Fifteen hardness measurements were made on the alloy sample and the mean (90 ± 2 HB) of the obtained values was accepted as the hardness of alloy. Tensile tests were performed by using a universal test machine on the samples having the diameter of 8 mm and

gauge length of 40 mm at a deformation rate of  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . Six samples were used in the tensile tests. The data obtained from these tests were averaged and the values of the tensile strength and elongation to fracture of the alloy were calculated as  $290 \pm 8 \text{ MPa}$  and  $7 \pm 2\%$ , respectively. Drilling tests were carried out on the samples having the dimension of 50x80x15 mm prepared by milling from alloy ingots. These tests were conducted with Johnford VMC 850 CNC vertical machining center with 7.5 kW and 6000 rpm, Kistler 9273 three-component dynamometer for measuring thrust force, Kistler 5070A signal amplifier and Dynoware software for converting vibration signals into thrust force-times graphics (Figure 2) (Bayraktar and Afyon, 2020). Three different cutting speeds (600, 900 and 1200 rev/min), feed rate (0.05, 0.15 and 0.25 mm/rev) and 20 mm depth of cut were used as cutting parameters. Cutting parameters were determined in accordance with literature research and cutting tool manufacturer's recommendation (Kao et al., 2019; Tosun and Muratoğlu, 2004; Bahçe and Özdemir, 2019). Uncoated HSS (Makine Takım Endüstri A.Ş) drills with 30° helix and 118° point angle of Ø8 mm diameter were used in the experiments.

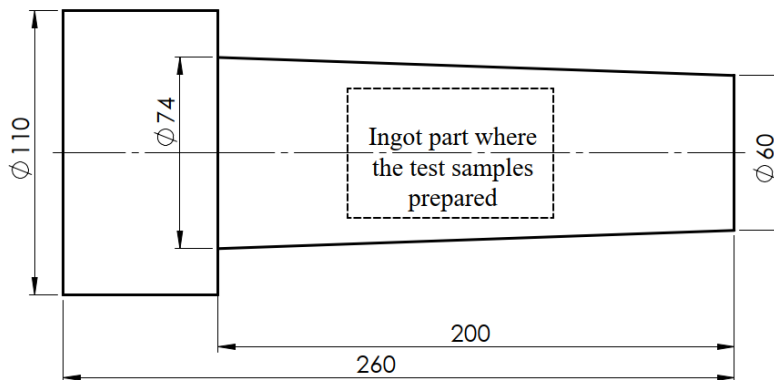


Figure 1. Technical drawing of alloy ingot and drilling test specimen (Dimensions in mm)

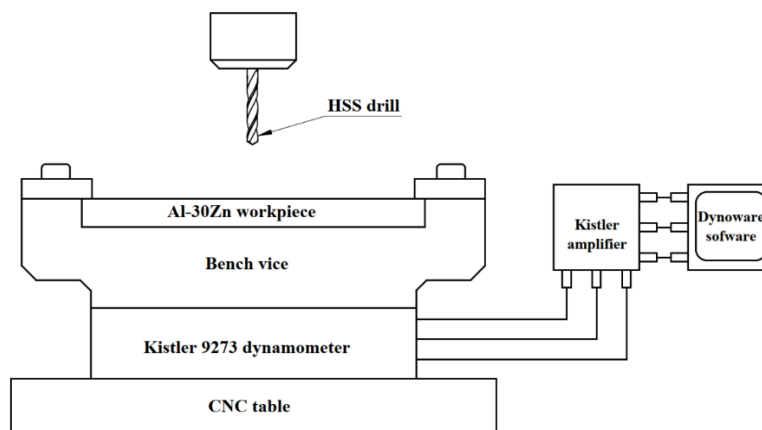


Figure 2. Experimental setup

**2.2. Response Surface Methodology (RSM)**

The response surface method is an empirical modeling approach based on the determination of the relationship between different independent variables and responses. The aim is to investigate the effect of independent variables on responses and to optimize these responses (Bouزيد et al., 2015; Çiçek et al., 2015). In this study, CCD

(Central Composite Design) experimental design approach was used to allow the evaluation of linear effects due to the final quadratic interactions between different independent variables. The second order quadratic mathematical model used in the calculation of the response resulting from interactions can be given as follows in Equation (1).

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{ij} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 \tag{1}$$

$i, j, k=1, 2, 3 \dots n$  ve  $a_0, b_i, b_{ij}$  ve  $b_{ii}$  represent the regression coefficients of the model,  $X_i$  and  $X_j$ , descriptive variables, and  $Y$  represent the desired machinability output in Equation (1) (Chabbi et al., 2017). ANOVA (Analyses of Variance) is used to determine the effect of independent

variables on output responses (Meddour et al., 2015; Haiyan and Xuda, 2016). In this study, independent variables were determined as cutting speed and feed (Table 1), while machinability response outputs were determined as thrust force and surface roughness.

**Table 1.** Independent variables and levels

Level	Cutting speed (rev/min)	Feed rate (mm/rev)
-1	600	0.05
0	900	0.15
1	1200	0.25

**3. Statistical Analysis and Modeling**

Regression models for thrust force and surface roughness were created in Minitab 17.0 software. These models describe the relationship between independent variables and responses. It also allows the estimation of different responses according to independent variables (Kilic et al., 2019). ANOVA (Analysis of Variance) is used to determine the statistical significance of regression

models, model terms, and lack of fit on responses (Kivak et al., 2016). Accordingly, the statistical significance or effect value of the independent variables on the responses is determined by considering the 95% confidence level or in other words  $P < 0.05$  (Labidi et al., 2018). Cutting tests were performed depending on the experimental design according to RSM and the output response results obtained are given in Table 2.

**Table 2.** Experimental results

Test No	Independent variables		Output response	
	Cutting speed (rev/min)	Feed rate (mm/rev)	Thrust force (N)	Surface roughness (µm)
1	900	0.15	517.580	1.499
2	600	0.25	742.190	1.837
3	1200	0.05	274.621	1.007
4	900	0.15	507.810	1.499
5	900	0.15	478.520	1.482
6	900	0.15	458.980	1.508
7	600	0.15	585.940	1.623
8	900	0.15	468.750	1.439
9	1200	0.25	615.230	1.516
10	600	0.05	348.960	1.317
11	1200	0.15	449.220	1.296
12	900	0.05	322.480	1.256
13	900	0.25	634.770	1.633

Table 3 shows the ANOVA results obtained for thrust force according to output responses. Accordingly, considering the 95% confidence level, it was found that the  $P < 0.05$  requirement for  $V$  and  $f$  was provided, the percentage contributions were 3.820% and 47.482%, respectively, and thus significant parameters on

the output were statistically significant. When  $V^2, f^2$  ve  $V \times f$  were examined, it was observed that  $P < 0.05$  condition was not fulfilled and their percentage contribution were 0.909%, 0.333% and 0.389%, respectively and it was found that there was no significant effect on the outputs.

**Table 3.** ANOVA results for thrust force

Source	Degree of freedom	Sum of square	Mean of square	F	P	PC (%)	Observation
Model	5	203848	40769.7	69.07	0.000	22.940	Significant
Lineer	2	91174	40769.7	77.23	0.000	22.940	Significant
$V$	1	6790	6790.3	11.50	0.012	3.820	Significant
$f$	1	84384	84384.1	142.95	0.000	47.482	Significant
Square	2	1716	857.9	1.45	0.297	0.482	Not Significant
$V \times V$	1	1616	1616.3	2.74	0.142	0.909	Not Significant
$f \times f$	1	602	602.0	1.02	0.346	0.338	Not Significant
2-Way interaction	1	692	692.2	1.17	0.315	0.389	Not Significant
$V \times f$	1	692	692.2	1.17	0.315	0.389	Not Significant
Error	7	4132	590.3	-	-	-	-
Lack of fit	3	1576	5.253	0.82	0.546	0.0295	Not Significant
Pure error	4	2556	639	-	-	-	-
Total	12	207980	-	-	-	100	-

$R^2:0.981$ ;  $R^2(\text{Adj}):0.967$  and  $R^2(\text{Pred}):0.901$   
 PC: Percentage contribution

Correlation coefficients for thrust force were determined as  $R^2:0.981$ ,  $R^2(\text{Adj}):0.967$  and  $R^2(\text{Pred}):0.901$  and these coefficients are considered to be good in terms of the effectiveness of the model results. The quadratic mathematical model used in calculating the thrust force according to independent variables is given in Equation (2).

$$F = 521 - 0.6067V + 2581f + 0.000269V^2 - 1476f^2 - 0.439Vf \quad (2)$$

The ANOVA results for surface roughness are given in Table 4. When  $V$  and  $f$  are examined in this table, since  $P < 0.05$ , it is observed that these independent variables have statistical significance on output response and their percentage contribution is 2.296% and 41.292%, respectively. When  $V^2, f^2$  and  $V \times f$  were examined, it was found that  $P < 0.05$  condition was not provided, and their percentage contributions were 0.592%, 1.399% and 0.0916% respectively, and it was stated that they did not have statistically a significant effect on the output response.

**Table 4.** ANOVA results for surface roughness

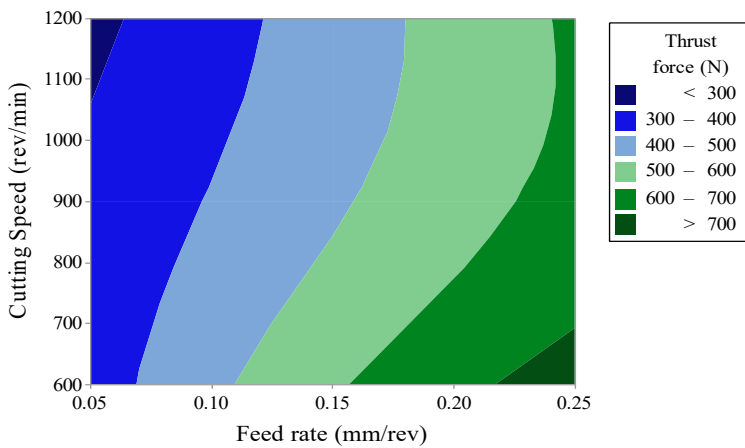
Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean of squares	F	P	PC (%)	Observation
Model	5	0.492457	0.098491	73.41	0.000	30.28	Significant
Lineer	2	0.142189	0.071095	52.99	0.000	21.71	Significant
$V$	1	0.007289	0.007289	5.43	0.048	2.296	Significant
$f$	1	0.134900	0.134900	100.55	0.000	41.292	Significant
Square	2	0.009993	0.004997	3.72	0.079	1.598	Not Significant
$V \times V$	1	0.001808	0.001808	1.35	0.284	0.592	Not Significant
$f \times f$	1	0.004550	0.004550	3.39	0.108	1.399	Not Significant
2-Way interaction	1	0.000030	0.000030	0.02	0.885	0.0916	Not Significant
$V \times f$	1	0.000030	0.000030	0.02	0.885	0.0916	Not Significant
Error	7	0.009392	0.001342	-	-	-	-
Lack of fit	3	0.006346	0.002115	2.78	0.174	0.645	Not Significant
Pure error	4	0.003045	0.000761	-	-	-	-
Total	12	0.501848	-	-	-	100	-

$R^2:0.986$ ;  $R^2(\text{Adj}):0.973$  and  $R^2(\text{Pred}):0.866$   
 PC: Percentage contribution

Correlation coefficients for surface roughness are determined as  $R^2$ : 0.986,  $R^2(\text{Adj})$ : 0.973 and  $R^2(\text{Pred})$ : 0.866 and it is accepted that these values are statistically effective. The quadratic mathematical model which shows the relationship between the independent variables and the output response for surface roughness is given in Equation (3).

$$R_a = 1.279 - 0.000007V + 3.643f - 0.00012V^2 - 4.06f^2 - 0.000092Vf \quad (3)$$

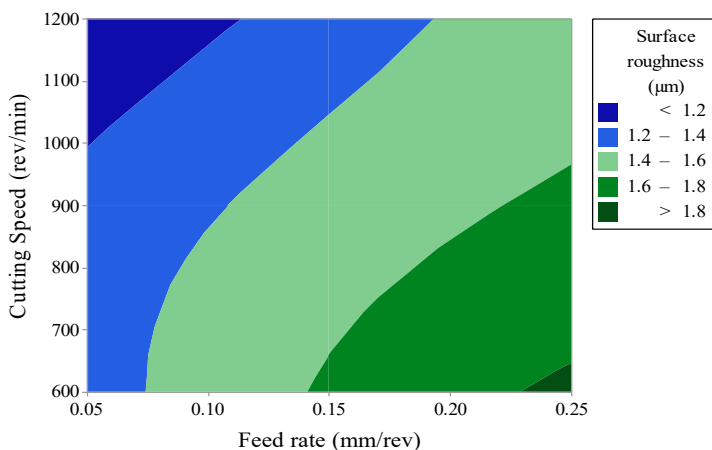
Three different validation experiments were performed to test the accuracy of mathematical models developed for thrust force and surface roughness. Validation test conditions were determined in the range of independent variables. According to Table 5, the maximum and minimum error values for  $F$  are 1.311% and 0.346% and maximum and minimum error rates for  $R_a$  are 2.267% and 0.938%, respectively. The graph showing the change of thrust force depending on the cutting speed and feed rate is given in Figure 3.



◀ **Figure 3.** The effect of cutting speed and feed rate on thrust force

According to Figure 3, it is observed that the thrust force decreases with increasing cutting speed. The thrust force was 348.96 N at the cutting speed of 600 rev/min and the feed rate of 0.05 mm/rev, while it was 276.621 N at the cutting speed of 1200 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev. Accordingly, the thrust force decreased by 26.15%. A similar trend was observed in other feed rate values. This can be attributed to the ease of plastic deformation by reducing the yield stress of the material due to the temperature rise during cutting (Arunachalam et al., 2004; Bouacha et al., 2010; Bayraktar et al., 2020). In addition, it has been observed that the

thrust force increases with increasing of feed rate. The thrust force was measured as 274.621 N at the cutting speed of 1200 rev/min and the feed rate of 0.05 mm/rev, while it was measured 615.23 N at the same cutting speed and feed rate of 0.25 mm/rev with an increase of 124.028%. This can be attributed to the increase in the volume of chip that must be removed per unit time due to the increase in feed rate (Suresh et al., 2012; Acir et al., 2009; Bayraktar and Turgut, 2016; Bayraktar et al., 2020). The graph showing the change of surface roughness depending on the cutting speed and feed rate is given in Figure 4.



◀ **Figure 4.** The effect of cutting speed and feed rate on surface roughness

According to Figure 4, the average surface roughness was determined by increasing the cutting speed. Accordingly, surface roughness was measured as 1.317 μm at a cutting speed of 600 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev, while it was measured as 1.007 μm at the cutting speed of 1200 rev/min and same feed rate. The surface roughness was found to be reduced by 30.78%. In addition, it has been determined that surface roughness increases with increasing of feed rate from this graph. Surface roughness was measured as 1.317 μm at the cutting speed of 600 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev, while it was measured as 1.837 μm at the same cutting speed and feed rate of 0.25 mm/rev. According to results surface roughness increased by 39.48%. This can be explained by the increase in surface roughness

due to the increasing of feed rate in Equation (4) used in the theoretical calculation of average surface roughness.

$$R_a = \frac{f^2}{32r_e} \tag{4}$$

**3.1. Optimization**

The selection of the desired target for each independent variable and response was conducted according to which the thrust force and average surface roughness can be minimized. Therefore, desirability function approach was used. The constraints used for the optimization process are given in Table 5.

**Table 5.** Goals and independent variable ranges for optimization of thrust force and surface roughness

Independent variables	Goal	Constraints		Weight	Significance
		Lower limit	Upper limit		
V (rev/min)	Limit range	600	1200		
f (mm/rev)	Limit range	0.05	0.25	1	1
F (N)	Minimum	274.621	742.19		
R <sub>a</sub> (μm)	Minimum	1.007	1.837		

According to the optimization results, optimum cutting parameters, optimum response and desirability values for thrust force and average surface roughness are given in Table 6.

Accordingly, optimum cutting parameters for thrust force and average surface roughness were determined as cutting speed of 1200 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev.

**Table 6.** Optimum cutting parameters, thrust force and surface roughness

Responses	Cutting speed (rev/min)	Feed rate (mm/rev)	Optimum response	Desirability
F (N)	1200	0.05	279.958	0.988
R <sub>a</sub> (μm)			1.027	0.974

In order to validate the results of the study, validation tests were performed depending on the optimum cutting parameters. Accordingly,

optimum results and experimental results were found to be highly compatible in terms of percent error rate (Table 7).

**Table 7.** Comparison of experimental and optimum results

V (rev/min)	f (mm/rev)	Response symbol	Experimental result	Optimum response	Error (%)
1200	0.05	F	276.542	279.958	1.235
		R <sub>a</sub>	1.048	1.027	-2.04

**4. Conclusions**

In this study, optimization of cutting speed and feed rate parameters which affect thrust force and surface roughness in drilling of Al-30Zn alloy has been conducted by response surface methodology. The results obtained from the experiments and optimization studies using CCD experimental design can be listed as follows.

- According to ANOVA results, the most important independent variable affecting the thrust force and surface roughness is feed rate and the percentage contributions are 47.482% and 41.292%, respectively, the second most important variable is the cutting speed and the percentage contributions are 3.820% and



2.296%, respectively.

- Correlation coefficients are  $R^2:0.981$ ;  $R^2(\text{Adj}):0.967$  and  $R^2(\text{Pred}):0.901$  for thrust force, while they are  $R^2:0.986$ ;  $R^2(\text{Adj}):0.973$  and  $R^2(\text{Pred}):0.866$  for surface roughness.
- According to the minimum goal optimum cutting parameters for the thrust force and surface roughness were determined as cutting speed of 1200 rev/min and feed rate of 0.05 mm/rev.
- While the thrust force and surface roughness decreased due to the increase of cutting speed, it was observed that both of them increased with increasing of feed rate.
- As a result of the validation tests performed according to the optimum parameters, the error of 1.235% for the thrust force and 2.04% for the surface roughness indicate that the optimization results are quite successful.

### Conflicts of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Acır, A., Turgut, Y., Übeyli, M., Günay, M., Şeker, U., 2009. A study on the Cutting Force in Milling of Boron Carbide Particle Reinforced Aluminium Composite. *Science and Engineering of Composite Materials*, 16(3), 187-196.
- Arunachalam, R.M., Mannan, M.A., Spewage, A.C., 2004. Residual Stress and Surface Roughness When Facing Age Hardened Inconel 718 with Cbn and Ceramic Cutting Tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(9), 879-887.
- Bahçe, E., Özdemir, B., 2019. Investigation of the Burr Formation During the Drilling of Free-Form Surfaces in Al 7075 Alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), 4198-4208.
- Barnhurst, R.J., 1990. Designing Zinc Alloy Bearings. *Journal of Materials Engineering*, 12(4), 279-285.
- Barnhurst, R.J., Farge, J.C., 1988. Study of the Bearing Characteristics of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 27(3), 225-233.
- Bayraktar, Ş., Afyon, F., 2020. Machinability properties of Al-7Si, Al-7Si-4Zn and Al-7Si-4Zn-3Cu alloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(4), 1-12.
- Bayraktar, Ş., Çamkerten, Ç., Salihoğlu, N., 2020. Bakır ve Silisyum İlavelerinin Al-25Zn Alaşımının CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamalı Takımlarla Tornalanmasında İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 79-93.
- Bayraktar, Ş., Hekimoğlu, A.P., Turgut, Y., Hacıosmanoğlu, M., 2017. Effect of Different Cutting Tools on Machinability of the Al-5Zn Alloy, 2nd International Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE), Nevşehir, Turkey, 134-140.
- Bayraktar, Ş., Turgut, Y., 2016. Investigation of the Cutting Forces and Surface Roughness in Milling Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Composite Material. *Materials and Technology*, 50(4), 591-600.
- Bermudo, C., Trujillo, F.J., Herrera, M., Sevilla, L., 2017. Parametric Analysis of the Ultimate Tensile Strength in Dry Machining of UNS A97075 Alloy. *Procedia Manufacturing*, 13, 81-88.
- Bican, O., Savaşkan, T., 2010. Influence of Test Conditions on the Lubricated Friction and Wear Behaviour of Al-25Zn-3Cu Alloy. *Tribology Letters*, 37(2), 175-182.
- Bouacha, K., Yallese, M.A., Mabrouki, T., Rigal, J.F., 2010. Statistical Analysis of Surface Roughness and Cutting Forces Using Response Surface Methodology in Hard Turning of AISI 52100 Bearing Steel with CBN Tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28(3), 349-361.
- Bouزيد, L., Yallese, M.A., Chaoui, K., Mabrouki, T., Boulanouar, L., 2015. Mathematical Modeling for Turning on AISI 420 Stainless Steel Using Surface Response Methodology, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(1), 45-61.
- Chabbi, A., Yallese, M.A., Nouioua, M., Meddour, I., Mabrouki, T., Girardin, F., 2017. Modeling and Optimization of Turning Process Parameters During the Cutting of Polymer (POMC) Based on RSM, ANN, and DF Methods. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5-8), 2267-2290.
- Çiçek, A., Kıvak, T., Ekici, E., 2015. Optimization of Drilling Parameters Using Taguchi Technique

- and Response Surface Methodology (RSM) in Drilling of AISI 304 Steel with Cryogenically Treated HSS Drills. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(2), 295-305.
- Delneuve, P., 1985. Tribological Behaviour of Zn-Al Alloys (ZA27) Compared with Bronze When Used as a Bearing Material with High Load and Very Low Speed. *Wear*, 105(4), 283-292.
- Dikshit, M.K., Puri, A.B., Maity, A., 2017. Modelling and Application of Response Surface Optimization to Optimize Cutting Parameters for Minimizing Cutting Forces and Surface Roughness in High-Speed, Ball-End Milling of Al 2014-T6. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(12), 5117-5133.
- Gervais, E., Levert, H., Bess, M., 1980. The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys. *American Foundrymen's Society Transaction*, 88, 183-194.
- Haiyan, W., Xuda, Q., 2016. A Mechanistic Model for Cutting Force in Helical Milling of Carbon Fiber-Reinforced Polymers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(9-12), 1485-1494.
- Hekimoğlu, A.P., Bayraktar, Ş., Turgut, Y., 2018. Investigation of the Effect of Cutting Speed and Feed Rate on Machining of the Al-35Zn Alloy, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS), Samsun, Turkey, 77-83.
- Hekimoğlu, A.P., Savaşkan, T., 2018. Lubricated Wear Characteristics of Zn-15Al-3Cu-1Si Alloy and SAE 660 Bronze. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1), 145-154.
- Hekimoğlu, A.P., Savaşkan, T., 2016. Effects of Contact Pressure and Sliding Speed on the Unlubricated Friction and Wear Properties of Zn-15Al-3Cu-1Si Alloy. *Tribology Transactions*, 59(6), 1114-1121.
- Hekimoğlu, A.P., Turan, Y.E., 2019. Effect of Zinc Content on the Microstructure and Mechanical Properties of the Al-(5-50)Zn Alloys. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*, 9(1), 16-25, (2019).
- Kao, J.Y., Hsu, C.Y., Tsao, C.C., 2019. Experimental Study of Inverted Drilling Al-7075 Alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9-12), 3519-3529.
- Kıvak, T., Ekici, E., Uzun, G., 2016. The Experimental and Statistical Investigation of The Effects of Cutting Parameters and Coating Materials on The Machinability of Hadfield Steel. *Gazi University Journal of Science*, 29(1), 9-17.
- Kilic, D., Ebegil, M., Bayrak, H., Ozkaya, B., Avsar, B.A., 2019. Optimization of Multi Responses Using Data Envelopment Analysis: The Application in Food Industry. *Gazi University Journal of Science*, 32(3), 1083-1090.
- Kyratsis, P., Markopoulos, A., Efkolidis, N., Maliagkas, V., Kakoulis, K., 2018. Prediction of Thrust Force and Cutting Torque in Drilling Based on the Response Surface Methodology. *Machines*, 6(2), 24.
- Labidi, A., Tebassi, H., Belhadi, S., Khettabi, R., Yallese, M.A., 2018. Cutting Conditions Modeling and Optimization in Hard Turning Using RSM, ANN and Desirability Function. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 18(4), 1017-1033.
- Marczak, R.J., Ciach, R., 1973. Tribological Properties of the Concentrated Al-Zn Alloys, Proceedings of the 1st Europe Tribology Congress, London, UK.
- Martín-Béjar, S., Trujillo, F.J., Sevilla, L., Marcos, M., 2017. Indirect Adhesion Wear Parametric Analysis in the Dry Turning of UNS A97075 Alloys. *Procedia Manufacturing*, 13, 418-425.
- Meddour, I., Yallese, M.A., Khattabi, R., Elbah, M., Boulanouar, L., 2015. Investigation and Modeling of Cutting Forces and Surface Roughness When Hard Turning of AISI 52100 Steel with Mixed Ceramic Tool: Cutting Conditions Optimization. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(5-8), 1387-1399.
- Prasad, B.K., 2005. Sliding Wear Response of a Zinc-Based Alloy and its Composite and Comparison with a Gray Cast Iron: Influence of External Lubrication and Microstructural Features. *Materials Science and Engineering A*, 392(1-2), 427-439.
- Prasad, B.K., Patwardhan, A.K., Yagneswaran, A.H., 2001. Wear Characteristics of a Zinc-Based Alloy Compared with a Conventional Bearing Bronze under Mixed Lubrication Conditions: Effects of Material and Test Parameters. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 40(2), 193-210.
- Sánchez, Y., Trujillo, F.J., Sevilla, L., Marcos, M., 2015. Study of the Influence of the Cutting Parameters on the Chip Geometry During Machining Alloy UNS A97075. *Procedia Engineering*, 132, 513-520.
- Savaşkan, T., Bican, O., Alemdağ, Y., 2009. Developing Aluminium-Zinc-Based a New

- Alloy for Tribological Applications. *Journal of Materials Science*, 44(8), 1969-1976.
- Savaşkan, T., Hekimoğlu, A.P., 2016. Relationships Between Mechanical and Tribological Properties of Zn-15Al-Based Ternary and Quaternary Alloys. *International Journal of Materials Research*, 107(7), 646-652.
- Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V.N., Samuel, G.L., 2012. Machinability Investigations on Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Insert. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 75-86.
- Tosun, G., Muratoğlu, M., 2004. The Drilling of an Al/SiCp Metal-Matrix Composites, Part I: Microstructure. *Composites Science Technology*, 64(2), 299-308.
- Yi, J., Jiao, L., Wang, X., Xiang, J., Yuan, M., Gao, S., 2015. Surface Roughness Models and Their Experimental Validation in Micro Milling of 6061-T6 Al Alloy by Response Surface Methodology. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-9.

## BG-Volterra Integral Equations and Relationship with BG-Differential Equations

### *BG-Volterra İntegral Denklemleri ve BG-Diferansiyel Denklemlerle İlişkisi*

Nihan GÜNGÖR\*

*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane*

• Geliş tarihi / Received: 25.03.2020 • Düzeltülerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 23.06.2020

#### Abstract

In this study, the Volterra integral equations are defined in the sense of bigeometric calculus by the aid of bigeometric integral. The main aim of the study is to research the relationship between bigeometric Volterra integral equations and bigeometric differential equations.

**Keywords:** Bigeometric Calculus, Bigeometric Differential Equations, Bigeometric Volterra Integral Equations

#### Öz

*Bu çalışmada, bigeometrik integral yardımıyla bigeometrik Volterra integral denklemleri tanımlanmıştır. Çalışmanın asıl amacı bigeometrik manada Volterra integral denklemleri ile bigeometrik manada diferansiyel denklemler arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.*

**Anahtar kelimeler:** *Bigeometrik Hesap, Bigeometrik Diferansiyel Denklemler, Bigeometrik Volterra İntegral Denklemleri*

\*Nihan GÜNGÖR; nihangungor@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 213 10 00, orcid.org/0000-0003-1235-2700

### 1. Introduction

Grossman and Katz have built a new calculus, called non-Newtonian calculus, between years 1967-1970 as an alternative to classic calculus. They have defined infinite family of calculus consisting of classic, geometric, harmonic and quadratic calculus, then they have created bigeometric, biharmonic and biquadratic calculus in this progress. Non-Newtonian calculus provides a wide application area in science, engineering and mathematics. Such as studied on can be expressed as theory of elasticity in the economy, the viscosity of the blood, computer science including image processing and artificial intelligence, biology, differential equations, functional analysis and probability theory. Non-Newtonian calculus is researched by various researchers such as Grossman (1979); Çakmak and Başar (2012, 2014a,b, 2015); Türkmen ve Başar (2012a,b); Tekin and Başar (2013); Kadak and Özlük (2014); Duyar and Oğur (2017); Duyar and Sağır (2017); Erdoğan and Duyar (2018); Sağır and Erdoğan (2019); Güngör (2020). One of the most popular non-Newtonian calculus, namely, bigeometric calculus which is investigated especially by Volterra and Hostinsky (1938); Grossmann (1983); Rybaczuk and Stopel (2000) investigated the fractal growth in material science by using bigeometric calculus. Aniszewska and Rybaczuk (2005) used bigeometric calculus on a multiplicative Lorenz System. Córdoba-Lepe (2006) studied on measure of elasticity in economics by aid of bigeometric calculus. Boruah and Hazarika (2018a,b) named Bigeometric calculus as  $G$ -calculus and investigated basic properties of derivative and integral in the sense of bigeometric calculus and also applications in numerical analysis. Boruah et al. (2018) researched solvability of bigeometric differential equations by using numerical methods.

Integral equations have used for the solution of several problems in engineering, applied mathematics and mathematical physics since 18th century. The integral equations have begun to enter the problems of engineering and other fields because of the relationship with differential equations which have wide range of applications and so their importance has increased in recent years. The reader may refer for relevant

terminology on the integral equations to Smithies (1958); Krasnov et al. (1971); Zarnan (2016); Brunner (2017); Maturi (2019).

In this paper, we define Volterra integral equations in bigeometric calculus by using the concept of bigeometric integral and called  $BG$ -Volterra integral equations. We prove Leibniz formula in the sense of bigeometric calculus and demonstrate the converting the  $BG$ -Volterra integral equations to bigeometric differential equations by aid of this formula. By defining the bigeometric linear differential equations with constant coefficients and variable coefficients, we demonstrate that they are converted to  $BG$ -Volterra integral equations.

A generator is one-to-one function  $\alpha$  whose domain is  $\mathbb{R}$  the set of real numbers and whose range is a subset of  $\mathbb{R}$ . It is indicated by  $\mathbb{R}_\alpha = \{\alpha(x) : x \in \mathbb{R}\}$  the range of generator  $\alpha$ .  $\alpha$ -arithmetic operations are described as indicated, below:

- $\alpha$ -addition  $x \dot{+} y = \alpha[\alpha^{-1}(x) + \alpha^{-1}(y)]$
- $\alpha$ -subtraction  $x \dot{-} y = \alpha[\alpha^{-1}(x) - \alpha^{-1}(y)]$
- $\alpha$ -multiplication  $x \dot{\times} y = \alpha[\alpha^{-1}(x) \times \alpha^{-1}(y)]$
- $\alpha$ -division  $x \dot{/} y = \alpha[\alpha^{-1}(x) / \alpha^{-1}(y)]$
- $\alpha$ -order  $x \dot{<} y \Leftrightarrow \alpha^{-1}(x) < \alpha^{-1}(y)$ .

For  $x, y \in \mathbb{R}_\alpha$ .  $(\mathbb{R}_\alpha, \dot{+}, \dot{\times})$  is complete field. In particular, the identity function  $I$  generates classical arithmetic and the exponential function generates geometric arithmetic. The numbers  $x \dot{>} \dot{0}$  are  $\alpha$ -positive numbers and the numbers  $x \dot{<} \dot{0}$  are  $\alpha$ -negative numbers in  $\mathbb{R}_\alpha$ .  $\alpha$ -zero and  $\alpha$ -one numbers are denoted by  $\alpha(0) = \dot{0}$  and  $\alpha(1) = \dot{1}$ , respectively.  $\alpha$ -integers are obtained by successive  $\alpha$ -addition of  $\dot{1}$  to  $\dot{0}$  and successive  $\alpha$ -subtraction of  $\dot{1}$  from  $\dot{0}$ . Hence the  $\alpha$ -integers are as follows:

$$\dots, \alpha(-2), \alpha(-1), \alpha(0), \alpha(1), \alpha(2), \dots$$

For each integer  $n$ , we set  $\dot{n} = \alpha(n)$ . If  $\dot{n}$  is an  $\alpha$ -positive integer, then it is  $n$  times sum of  $\dot{1}$  (Grossman and Katz, 1972).

**Definition 1.** The  $\alpha$ -absolute value of  $x \in \mathbb{R}_\alpha$  determined by

$$|x|_\alpha = \begin{cases} x & , x > \dot{0} \\ \dot{0} & , x = \dot{0} \\ \dot{0} - x & , x < \dot{0} \end{cases}$$

and this value is equivalent to  $\alpha(|\alpha^{-1}(x)|)$ . For  $x \in \mathbb{R}_\alpha$ ,  $x^{p_\alpha} = \alpha\left\{\left[\alpha^{-1}(x)\right]^p\right\}$  and  $\sqrt[p]{x}^\alpha = \alpha\left(\sqrt[p]{\alpha^{-1}(x)}\right)$  (Grossman and Katz, 1972).

**Definition 2.** An open  $\alpha$ -interval on  $\mathbb{R}_\alpha$  expressed with

$$\dot{(r, s)} = \{x \in \mathbb{R}_\alpha : r \dot{<} x \dot{<} s\} = \{x \in \mathbb{R}_\alpha : \alpha^{-1}(r) < \alpha^{-1}(x) < \alpha^{-1}(s)\} = \alpha\left(\left(\alpha^{-1}(r), \alpha^{-1}(s)\right)\right)$$

Similarly, a closed  $\alpha$ -interval on  $\mathbb{R}_\alpha$  can be expressed (Grossman and Katz, 1972).

**Definition 3.** A point  $a$  is said to be an interior point of the subset  $A \subset \mathbb{R}_\alpha$  if there is an open  $\alpha$ -interval, contained entirely in the set  $A$  which contains this point :

$$a \in \dot{(r, s)} \subset A \Leftrightarrow \alpha^{-1}(a) \in \alpha^{-1}(\dot{(r, s)}) = \left(\alpha^{-1}(r), \alpha^{-1}(s)\right) \subset \alpha^{-1}(A).$$

According to this definition,  $a$  is an interior point of the subset  $A \subset \mathbb{R}_\alpha$  iff  $\alpha^{-1}(a)$  is an interior point of the subset  $\alpha^{-1}(A) \subset \mathbb{R}$ . If a subset  $A \subset \mathbb{R}_\alpha$  whose all points are interior points, it is called  $\alpha$ -open (Duyar and Oğur, 2017).

**Definition 4.** Let  $(\mathbb{R}_\alpha, |\cdot|_\alpha)$  be non-Newtonian metric space and  $a \in \mathbb{R}_\alpha$ . If  $(\dot{(a - \varepsilon, a + \varepsilon)} - \{a\}) \cap S \neq \emptyset$  for every  $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$  where  $S \subset \mathbb{R}_\alpha$ , then the point  $a$  is called  $\alpha$ -accumulation point of the set  $S$ . The set of all  $\alpha$ -accumulation points of  $S$  is indicated by  $S'^\alpha$ . (Sağır and Erdoğan, 2019).

**Definition 5.** Let  $(x_n)$  be sequence and  $x$  be a point in the non-Newtonian metric space  $(\mathbb{R}_\alpha, |\cdot|_\alpha)$ . If for every  $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$ , there exists  $n_0 = n_0(\varepsilon) \in \mathbb{N}$  such that  $|x_n \dot{-} x|_\alpha \dot{<} \varepsilon$  for all  $n \geq n_0$ , then it is said that the sequence  $(x_n)$   $\alpha$ -convergent and denoted by  ${}_\alpha \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = x$  (Grossman and Katz, 1972; Çakmak and Başar, 2012).

Grossman and Katz described the \*-calculus with the help of two arbitrary selected generators. Let  $\alpha$  and  $\beta$  are arbitrarily choosed generators and  $*$  is the ordered pair of arithmetic ( $\alpha$ -arithmetic,  $\beta$ -arithmetic). The following notions are used.

	$\alpha$ -arithmetic	$\beta$ -arithmetic
Realm	$A (\subseteq \mathbb{R}_\alpha)$	$B (\subseteq \mathbb{R}_\beta)$
Summation	$\dot{+}$	$\ddot{+}$
Subtraction	$\dot{-}$	$\ddot{-}$
Multiplication	$\dot{\times}$	$\ddot{\times}$
Division	$\dot{/}$ (or $-_\alpha$ )	$\ddot{/}$ (or $-_\beta$ )
Order	$\dot{<}$	$\ddot{<}$

If the generators  $\alpha$  and  $\beta$  are choosen as one of  $I$  and  $\exp$ , the following special calculus are obtained.

Calculus	$\alpha$	$\beta$
Classic	$I$	$I$
Geometric	$I$	$\exp$
Anageometric	$\exp$	$I$
Bigeometric	$\exp$	$\exp$ .



The  $\iota$  (iota) which is an isomorphism from  $\alpha$ -arithmetic to  $\beta$ -arithmetic uniquely satisfying the following three properties:

- (1)  $\iota$  is one to one,
- (2)  $\iota$  is on  $A$  and onto  $B$ ,
- (3) For any numbers  $u$  and  $v$  in  $A$ ,
  - $\iota(u \dot{+} v) = \iota(u) \dot{+} \iota(v)$ ,
  - $\iota(u \dot{-} v) = \iota(u) \dot{-} \iota(v)$ ,
  - $\iota(u \dot{\times} v) = \iota(u) \dot{\times} \iota(v)$ ,
  - $\iota(u \dot{/} v) = \iota(u) \dot{/} \iota(v)$ ,  $v \neq \dot{0}$ ,
  - $u \dot{<} v \Leftrightarrow \iota(u) \dot{<} \iota(v)$ .

It turns out that  $\iota(u) = \beta\{\alpha^{-1}(u)\}$  for every  $u$  in  $A$ . (Grossman and Katz, 1972).

### 2. Bigeometric Calculus

Throughout this study, we interest Bigeometric calculus that is the one of the family of non-Newtonian calculus. As mentioned above, the bigeometric calculus is the  $*$ -calculus for which  $\alpha = \beta = \exp$ . That is to say, one uses geometric arithmetic on function arguments and values in the bigeometric calculus. Therefore, we begin with presenting the geometric arithmetic and its necessary properties.

If the function  $\exp$  from  $\mathbb{R}$  to  $\mathbb{R}^+$  which gives  $\alpha^{-1}(x) = \ln x$  is selected as a generator, that is to say that  $\alpha$ -arithmetic turns into geometric arithmetic. The range of generator  $\exp$  is denoted by  $\mathbb{R}_{\exp} = \{e^x : x \in \mathbb{R}\}$ .

geometric addition  $x \oplus y = \alpha[\alpha^{-1}(x) + \alpha^{-1}(y)] = e^{(\ln x + \ln y)} = x \cdot y$

geometric subtraction  $x \ominus y = \alpha[\alpha^{-1}(x) - \alpha^{-1}(y)] = e^{(\ln x - \ln y)} = x / y, y \neq 0$

geometric multiplication  $x \odot y = \alpha[\alpha^{-1}(x) \times \alpha^{-1}(y)] = e^{(\ln x \times \ln y)} = x^{\ln y}$

geometric division  $x \oslash y = \alpha[\alpha^{-1}(x) / \alpha^{-1}(y)] = e^{(\ln x / \ln y)} = x^{\frac{1}{\ln y}}, y \neq 1$

geometric order  $x <_{\exp} y \Leftrightarrow \alpha^{-1}(x) = \ln x < \alpha^{-1}(y) = \ln y$

$(\mathbb{R}_{\exp}, \oplus, \odot)$  is a field with geometric zero 1 and geometric identity  $e$ . The geometric positive real numbers

and geometric negative real numbers are denoted by  $\mathbb{R}_{\exp}^+ = \{x \in \mathbb{R}_{\exp} : x > 1\}$  and  $\mathbb{R}_{\exp}^- = \{x \in \mathbb{R}_{\exp} : x < 1\}$ ,

respectively. Now, we will give some useful and necessary relations between geometric and classical arithmetic operations. The geometric absolute valued of  $x \in \mathbb{R}_{\exp}$  defined by

$$|x|_{\exp} = \begin{cases} x & , x > 1 \\ 1 & , x = 1 \\ 1/x & , x < 1 \end{cases}$$

Thus  $|x|_{\exp} \geq 1$ . For all  $x, y \in \mathbb{R}_{\exp}$ , the following relations hold:

$x \oplus y = x \cdot y$	$x^{-1_{\exp}} = e^{\frac{1}{\ln x}}$	$ e^x _{\exp} = e^{ x }$
$x \ominus y = x / y$	$x^{p_{\exp}} = x^{\ln^{p-1} x}$	$ x \odot y _{\exp} =  x _{\exp} \odot  y _{\exp}$
$x \odot y = x^{\ln y} = y^{\ln x}$	$\sqrt{x}^{\exp} = e^{(\ln x)^{1/2}}$	$ x \oplus y _{\exp} \leq_{\exp}  x _{\exp} \oplus  y _{\exp}$
$x \oslash y$ or $\frac{x}{y}_{\exp} = x^{\frac{1}{\ln y}}$	$e^n \odot x = x^n$	$ x \oslash y _{\exp} =  x _{\exp} \oslash  y _{\exp}$
$x^{2_{\exp}} = x \odot x = x^{\ln x}$	$\sqrt{x^{2_{\exp}}} =  x _{\exp}$	$ x \ominus y _{\exp} \geq_{\exp}  x _{\exp} \ominus  y _{\exp}$
$x \odot e = x, x \oplus 1 = x$	$1 \ominus e \odot (x \ominus y) = y \ominus x$	

(Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Türkmen and Başar, 2012a,b; Boruah and Hazarika, 2018a,b). The geometric factorial notation  $!_{\text{exp}}$  denoted by  $n!_{\text{exp}} = e^n \odot e^{n-1} \odot \dots \odot e^2 \odot e = e^{n!}$  (Boruah and Hazarika, 2018a). For example,

$$\begin{aligned} 0!_{\text{exp}} &= e^{0!} = 1 \\ 1!_{\text{exp}} &= e^{1!} = e \\ 2!_{\text{exp}} &= e^{2!} = e^2 \\ &\dots \end{aligned}$$

**Definition 6.** Let  $f : X \subset \mathbb{R}_{\text{exp}} \rightarrow \mathbb{R}_{\text{exp}}$  be a function and  $a \in X^{\text{exp}}, b \in \mathbb{R}_{\text{exp}}$ . If for every  $\varepsilon >_{\text{exp}} 1$  there is a number  $\delta = \delta(\varepsilon) >_{\text{exp}} 1$  such that  $|f(x) \ominus b|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \varepsilon$  for all  $x \in X$  whenever  $1 <_{\text{exp}} |x \ominus a|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \delta$ , then it is said that the  $BG$ -limit function  $f$  at the point  $a$  is  $b$  and it is indicate by  ${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$  or  $f(x) \xrightarrow{BG} b$ . Here  $1 <_{\text{exp}} |x \ominus a|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \delta \Rightarrow \frac{a}{\delta} < x < a\delta$  and  $|f(x) \ominus b|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \varepsilon \Rightarrow \frac{b}{\varepsilon} < f(x) < b\varepsilon$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018a).

**Definition 7.** If the sequence  $(f(x_n))$   $\text{exp}$ -converges to the number  $b$  for all sequences which  $\text{exp}$ -converges to point  $a$ , then it is said that  $BG$ -limit of the function  $f$  at the point  $a$  is  $b$  and is denoted by  ${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983).

**Definition 8.** Let  $a \in X$  and  $f : X \subset \mathbb{R}_{\text{exp}} \rightarrow \mathbb{R}_{\text{exp}}$  be a function. If for every  $\varepsilon >_{\text{exp}} 1$  there is a number  $\delta = \delta(\varepsilon) >_{\text{exp}} 1$  such that  $|f(x) \ominus f(a)|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \varepsilon$  for all  $x \in X$  whenever  $1 <_{\text{exp}} |x \ominus a|_{\text{exp}} <_{\text{exp}} \delta$ , then it is said that  $f$  is  $BG$ -continuous at point  $a \in X$ . The function  $f$  is  $BG$ -continuous at the point  $a \in X$  iff this point  $a$  is an element of domain of the function  $f$  and  ${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} f(x) = f(a)$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018a).

**Remark 1.**  ${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} f(x)$  and  $\lim_{t \rightarrow \ln a} \ln f(t)$  coexist, and if they do exist  ${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} f(x) = \exp \left\{ \lim_{t \rightarrow \ln a} \ln f(e^t) \right\}$ . Furthermore,  $f$  is  $BG$ -continuous at  $a$  iff  $\ln f$  is continuous at  $\ln a$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983).

**Definition 9.** Let  $f : (r, s) \subset \mathbb{R}_{\text{exp}} \rightarrow \mathbb{R}_{\text{exp}}$  be a function and  $a \in (r, s)$ . If the following limit

$${}_{BG} \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x) \ominus f(a)}{x \ominus a}{}_{\text{exp}} = \lim_{x \rightarrow a} \left[ \frac{f(x)}{f(a)} \right]^{\frac{1}{\ln x - \ln a}}$$

exists, it is indicated by  $f^{BG}(a)$  and called the  $BG$ -derivative of  $f$  at  $a$  and say that  $f$  is  $BG$ -differentiable. If the function  $f$  is  $BG$ -differentiable at all points of the  $\text{exp}$ -open interval  $(r, s)$ , then  $f$  is  $BG$ -differentiable on  $(r, s)$  and  $BG$ -derivative of  $f$  identified as

$${}_{BG} \lim_{h \rightarrow 1} \frac{f(x \oplus h) \ominus f(x)}{h}{}_{\text{exp}} = \lim_{h \rightarrow 1} \left[ \frac{f(hx)}{f(x)} \right]^{\frac{1}{\ln h}}$$

for  $h \in \mathbb{R}_{\text{exp}}$  and denoted by  $f^{BG}$  or  $\frac{d^{BG} f}{dx^{BG}}$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018a,b).

**Remark 2.** The derivatives  $f^{BG}(a)$  and  $(\ln f(\ln a))'$  coexist, and if they do exist

$$f^{BG}(a) = \exp \left[ \left( \ln f(e^{\ln a}) \right)' \right] = e^{a \frac{f'(a)}{f(a)}}.$$

Therefore the relation between the  $BG$ -derivatives and classical derivatives can be written as follows:

$$f^{BG}(x) = e^{\frac{xf'(x)}{f(x)}} = e^{x(\ln f(x))'}$$

(Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018a,b).

The second  $BG$ -derivative of  $f(x)$  is defined as

$$\begin{aligned} \frac{d^{2BG} f}{dx^{2BG}} &= f^{(2BG)}(x) = {}_{BG} \lim_{h \rightarrow 1} \frac{f^{BG}(x \oplus h) \ominus f^{BG}(x)}{h} \exp = \lim_{h \rightarrow 1} \left[ \frac{f^{BG}(hx)}{f^{BG}(x)} \right]^{\frac{1}{\ln h}} = \lim_{h \rightarrow 1} \left[ \frac{e^{hx(\ln f(hx))'}}{e^{x(\ln f(x))'}} \right]^{\frac{1}{\ln h}} \\ &= \lim_{h \rightarrow 1} \left( e^{x \left[ h(\ln f(hx))' - (\ln f(x))' \right]} \right)^{\frac{1}{\ln h}} = \lim_{h \rightarrow 1} \left( e^{x \frac{1}{\ln h} \left[ \left( \ln \frac{f(hx)}{f(x)} \right)' \right]} \right) = e^{x \lim_{h \rightarrow 1} \left[ \ln \left( \frac{f(hx)}{f(x)} \right)^{\frac{1}{\ln h}} \right]'} \\ &= e^{x \left[ (\ln f^{BG}(x))' \right]} = e^{x \left[ \ln e^{x(\ln f(x))'} \right]'} = e^{x^2 (\ln f(x))' + x (\ln f(x))'}. \end{aligned}$$

Similarly, the  $n^{th}$  order derivative is

$$\frac{d^{nBG} f}{dx^{nBG}} = f^{(nBG)}(x) = {}_{BG} \lim_{h \rightarrow 1} \frac{f^{(n-1)BG}(x \oplus h) \ominus f^{(n-1)BG}(x)}{h} \exp = e^{x \left[ (\ln f^{(n-1)BG}(x))' \right]} = e^{x^n (\ln f(x))^{(n)} + \dots + x (\ln f(x))'}.$$

**Theorem 1.** If  $f, g : (r, s) \subset \mathbb{R}_{\exp} \rightarrow \mathbb{R}_{\exp}$  are  $BG$ -differentiable functions and  $c$  is an arbitrary constant, then

- (1)  $(f(x) \oplus g(x))^{BG} = f(x)^{BG} \oplus g(x)^{BG}$
- (2)  $(f(x) \ominus g(x))^{BG} = f(x)^{BG} \ominus g(x)^{BG}$
- (3)  $(f(x)^c)^{BG} = (f(x)^{BG})^c$

(Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018a,b).

Now, we will give some standart  $BG$ -derivatives:

$$\begin{array}{lll} \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(c) = 1 & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\sin x) = e^{x \cot x} & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\cot x) = e^{-x \sec x \csc x} \\ \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(cf(x)) = f^{BG}(x) & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\cos x) = e^{-x \tan x} & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\sec x) = e^{x \tan x} \\ \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(x^n) = e^n & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\tan x) = e^{x \sec x \csc x} & \frac{d^{BG}}{dx^{BG}}(\csc x) = e^{-x \cot x} \end{array}$$

(Boruah and Hazarika, 2018a,b).

**Theorem 2. (Mean Value Theorem of  $BG$ -Calculus)** If  $f$  is  $BG$ -continuous function on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$  and  $BG$ -differentiable on  $(r, s)$ , there is  $r <_{\exp} c <_{\exp} s$  such that  $f^{BG}(c) = \frac{f(s) \ominus f(r)}{s \ominus r} \exp$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Kadak and Özlük, 2014).

**Definition 10.** The  $BG$ -average of a  $BG$ -continuous positive function  $f$  on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$  is defined as the  $\exp$ -limit of the  $\exp$ -convergent sequence whose  $n^{th}$  term is geometric average of  $f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_n)$

where  $a_1, a_2, \dots, a_n$  is the  $n$ -fold exp-partition of  $[r, s]$  and denoted by  $M_r^s f$ . The  $BG$ -integral of a  $BG$ -continuous function  $f$  on  $[r, s]$  is the positive number  $\left[ M_r^s f \right]^{[\ln(s)-\ln(r)]}$  and is denoted by  $\int_r^s f(x) dx^{BG}$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983).

**Remark 3.** If  $f$  is  $BG$ -continuous on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$ , then  $\int_r^s f(x) dx^{BG} = \exp\left(\int_{\ln(r)}^{\ln(s)} \ln f(e^t) dt\right)$ , i.e., the  $BG$ -integral of the function  $f$  is a  $BG$ -continuous positive function on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$  is defined by

$$\int_r^s f(x) dx^{BG} = e^{\int_r^s \frac{\ln f(x)}{x} dx}$$

(Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018b).

**Theorem 3.** If  $f$  and  $g$  are  $BG$ -continuous positive functions on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$  and  $c$  is an arbitrary constant, then

- (1)  $\int_r^s (f(x) \oplus g(x)) dx^{BG} = \int_r^s f(x) dx^{BG} \oplus \int_r^s g(x) dx^{BG}$
- (2)  $\int_r^s (f(x) \ominus g(x)) dx^{BG} = \int_r^s f(x) dx^{BG} \ominus \int_r^s g(x) dx^{BG}$
- (3)  $\int_r^s (f(x))^c dx^{BG} = \left( \int_r^s f(x) dx^{BG} \right)^c$
- (4)  $\int_r^s f(x) dx^{BG} = \int_r^t f(x) dx^{BG} \oplus \int_t^s f(x) dx^{BG}$  where  $r <_{\exp} t <_{\exp} s$

(Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983; Boruah and Hazarika, 2018b).

Now, we will give some standart  $BG$ -integrations:

$\int 1 dx^{BG} = c$	$\int e^{x \cot x} dx^{BG} = \sin x$	$\int e^{-x \sec x \csc x} dx^{BG} = \cot x$
$\int e^n dx^{BG} = x^n$	$\int e^{-x \tan x} dx^{BG} = \cos x$	$\int e^{x \tan x} dx^{BG} = \sec x$
$\int e^x dx^{BG} = e^x$	$\int e^{x \sec x \csc x} dx^{BG} = \tan x$	$\int e^{-x \cot x} dx^{BG} = \csc x$
$\int x^n dx^{BG} = e^{\frac{\ln^2 x}{2}}$		

(Boruah and Hazarika, 2018b).

**Theorem 4.** (First Fundamental Theorem of  $BG$ -calculus) If  $f$  is  $BG$ -continuous function on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$  and  $g(x) = \int_r^x f(t) dt^{BG}$  for every  $x \in [r, s]$ , then  $g^{BG} = f$  on  $[r, s]$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983).

**Theorem 5.** (Second Fundamental Theorem of  $BG$ -calculus) If  $f^{BG}$  is  $BG$ -continuous function on  $[r, s] \subset \mathbb{R}_{\exp}$ , then  $\int_r^s [f^{BG}](x) dx^{BG} = f(s) \ominus f(r)$  (Grossman and Katz, 1972; Grossman 1983).

**Definition 11.** An equation involving  $BG$ -differential coefficient is called a  $BG$ - differential equation, i.e, the  $n^{th}$  order  $BG$ -differential equation is defined as  $G\left(x, y, y^{BG}, \dots, y^{(n-1)BG}, y^{nBG}(x)\right) = 1, (x, y) \in \mathbb{R}_{exp} \times \mathbb{R}_{exp}$  (Boruah et al., 2018).

### 3. $BG$ -Volterra Integral Equations

The equation is called  $BG$ -integral equation where an unknown function appears under the  $BG$ -integral sign. The equation

$$u(x) = f(x) \oplus \left( \lambda \odot_{BG} \int_a^x K(x,t) \odot u(t) dt^{BG} \right)$$

where  $f(x)$  and  $K(x,t)$  are known functions,  $u(x)$  is unknown function and  $\lambda \in \mathbb{R}_{exp}$ , is said to be  $BG$ -Volterra linear integral equation of the second kind. The function  $K(x,t)$  is the kernel of  $BG$ -Volterra equation. If  $f(x) = 1$  then the equation is reduced to the following form

$$u(x) = \lambda \odot_{BG} \int_a^x K(x,t) \odot u(t) dt^{BG}$$

and it is called homogeneous  $BG$ -Volterra linear integral equation of the second kind. The equation

$$\lambda \odot_{BG} \int_a^x K(x,t) \odot u(t) dt^{BG} = f(x)$$

where  $u(x)$  is unknown function is called  $BG$ -Volterra linear integral equation of the first kind.

**Example 1.** Demonstrate that  $u(x) = e^x$  is a solution of the  $BG$ -Volterra integral equation

$$u(x) = (x \oplus e) \oplus_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot u(t) dt^{BG} .$$

**Solution.** Substituting the function  $e^x$  in place of  $u(x)$  into the right side of the equation, then

$$(x \oplus e) \oplus_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot u(t) dt^{BG} = (x \oplus e) \oplus_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot e^t dt^{BG} = xe \cdot e^{\int_1^x \frac{\ln(\frac{x}{t}) \ln e^t}{t} dt} = xe \cdot e^{-\ln x + x - 1} = e^x = u(x).$$

#### 3.1. The Relationship with $BG$ -Differential Equations

##### 3.1.1. The Conversion of the $BG$ -Volterra Integral Equations to $BG$ -Diferential Equations

In this section, we demonstrate the method of converting  $BG$ -Volterra integral equations into  $BG$ -differential equations. For this, we need Leibniz formula in Bigeometric calculus. Firstly, we will give some necessary definition and theorems.

**Definition 12.** Let  $f$  be a bipositive function with two variables. Then, we define its  $BG$ -partial derivatives as

$$f_x^{BG}(x, y) = \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x, y) = {}_{BG} \lim_{h \rightarrow 1} \frac{f(x \oplus h, y) \ominus f(x, y)}{h} \text{exp}$$

and

$$f_y^{BG}(x, y) = \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x, y) = {}_{BG} \lim_{h \rightarrow 1} \frac{f(x, y \oplus h) \ominus f(x, y)}{h} \text{exp} .$$

From the definition of  $BG$ -partial derivative, we find its relation with classical partial derivative, as follows:

$$\begin{aligned} {}_{BG}\lim_{h \rightarrow 1} \frac{f(x \oplus h, y) \ominus f(x, y)}{h} &= \lim_{h \rightarrow 1} \exp \left[ \frac{f(hx, y)}{f(x, y)} \right]^{\frac{1}{\ln h}} = \lim_{h \rightarrow 1} e^{\ln \left[ \frac{f(hx, y)}{f(x, y)} \right]^{\frac{1}{\ln h}}} = \lim_{h \rightarrow 1} e^{\frac{\ln f(hx, y) - \ln f(x, y)}{\ln h}} \\ &= e^{\lim_{h \rightarrow 1} \frac{\ln f(hx, y) - \ln f(x, y)}{\ln h}} = e^{\lim_{h \rightarrow 1} \frac{hx f'(hx, y)}{f(hx, y)}} = e^{x \frac{f'_x(x, y)}{f(x, y)}} = e^{x \frac{\partial}{\partial x} \ln f(x, y)}. \end{aligned}$$

Therefore, we can also write the definition of *BG*-partial derivative as

$$f_x^{BG}(x, y) = \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x, y) = e^{x \frac{\partial}{\partial x} \ln f(x, y)} \quad \text{and} \quad f_y^{BG}(x, y) = \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x, y) = e^{y \frac{\partial}{\partial y} \ln f(x, y)}.$$

**Theorem 6. (BG-Chain Rule)** Suppose that  $f$  has *BG*-partial derivatives of  $y$  and  $z$  with *BG*-continuous where  $y = y(x)$  and  $z = z(x)$  are *BG*-differentiable functions of  $x$ . Then  $f(y(x), z(x))$  is *BG*-differentiable function of  $x$  and

$$\frac{d^{BG} f(y(x), z(x))}{dx^{BG}} = (f_y^{BG}(y(x), z(x)) \ominus y^{BG}) \oplus (f_z^{BG}(y(x), z(x)) \ominus z^{BG}).$$

**Proof.** By using the definition of *BG*-derivative, we get

$$\begin{aligned} \frac{d^{BG} f(y(x), z(x))}{dx^{BG}} &= {}_{BG}\lim_{h \rightarrow 1} \frac{f(y(x \oplus h), z(x \oplus h)) \ominus f(y(x), z(x))}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 1} e^{\ln \left[ \frac{f(y(xh), z(xh))}{f(y(x), z(x))} \right]^{\frac{1}{\ln h}}} \\ &= e^{\lim_{h \rightarrow 1} \frac{\ln \left[ \frac{f(y(xh), z(xh))}{f(y(x), z(x))} \right]}{\ln h}} \\ &= e^{x \frac{f'_x(y(x), z(x))}{f(y(x), z(x))}} \\ &= (f_y^{BG}(y(x), z(x)))^{\ln e^{x \frac{y'(x)}{y(x)}}} \oplus (f_z^{BG}(y(x), z(x)))^{\ln e^{x \frac{z'(x)}{z(x)}}} \\ &= (f_y^{BG}(y(x), z(x))) \ominus y^{BG} \oplus f_z^{BG}(y(x), z(x)) \ominus z^{BG}. \end{aligned}$$

**Theorem 7.** Let  $\Omega$  be an *exp*-open set in  $\mathbb{R}_{\exp} \times \mathbb{R}_{\exp}$ . Assume that  $f : \Omega \rightarrow \mathbb{R}_{\exp}$  be a function such that the *BG*-partial derivative  $f_{xy}^{2BG}(x, y)$ ,  $f_{yx}^{2BG}(x, y)$  exists in  $\Omega$  and are *BG*-continuous, then

$$\frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \left( \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x, y) \right) = \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \left( \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x, y) \right).$$

**Proof.** Fix  $x$  and  $y$  and we define  $F(h, k)$  as

$$F(h, k) = \frac{1}{h} \ominus_{\exp} \frac{1}{k} \ominus_{\exp} \left[ f(x \oplus h, y \oplus k) \ominus f(x \oplus h, y) \ominus f(x, y \oplus k) \oplus f(x, y) \right].$$

By using the mean value theorem in the sense of *BG*-calculus, we obtain that



$$\begin{aligned}
 F(h, k) &= \frac{1}{h} \exp \odot \frac{1}{k} \exp \odot \left[ \left( f(x \oplus h, y \oplus k) \odot f(x, y \oplus k) \right) \odot \left( f(x \oplus h, y) \odot f(x, y) \right) \right] \\
 &= \frac{1}{h} \exp \odot \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \left( f(x \oplus h, y \oplus \lambda_1 \odot k) \odot f(x, y \oplus \lambda_1 \odot k) \right) \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \left( \frac{f(x \oplus h, y \oplus \lambda_1 \odot k) \odot f(x, y \oplus \lambda_1 \odot k)}{h} \right)_{\exp} \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \left( \frac{f(x \oplus \lambda_2 \odot h, y \oplus \lambda_1 \odot k) \odot f(x \oplus \lambda_2 \odot h, y \oplus \lambda_1 \odot k)}{h} \right)_{\exp} \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x \oplus \lambda_2 \odot h, y \oplus \lambda_1 \odot k)
 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
 F(h, k) &= \frac{1}{k} \exp \odot \frac{1}{h} \exp \odot \left[ \left( f(x \oplus h, y \oplus k) \odot f(x \oplus h, y) \right) \odot \left( f(x, y \oplus k) \odot f(x, y) \right) \right] \\
 &= \frac{1}{k} \exp \odot \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \left( f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus k) \odot f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y) \right) \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \left( \frac{f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus k) \odot f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y)}{k} \right)_{\exp} \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \left( \frac{f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus \lambda_4 \odot k) \odot f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus \lambda_4 \odot k)}{k} \right)_{\exp} \\
 &= \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus \lambda_4 \odot k)
 \end{aligned}$$

for some  $1 <_{\exp} \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 <_{\exp} e$  which all of them depend on  $x, y, h, k$ . Therefore,

$$\frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x \oplus \lambda_2 \odot h, y \oplus \lambda_1 \odot k) = \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x \oplus \lambda_3 \odot h, y \oplus \lambda_4 \odot k)$$

for all  $h$  and  $k$ . Taking the  $BG$ -limit  $h \rightarrow 1$  and  $k \rightarrow 1$  and using the assumed  $BG$ -continuity of both

partial derivatives, it gives  $\frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} f(x, y) = \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \frac{\partial^{BG}}{\partial y^{BG}} f(x, y)$ .

**Theorem 8.** (*BG-Leibniz Formula*) Let  $A, I$  be  $\exp$ -open set and  $f$  be a  $BG$ -continuous function on  $A \times I$  into  $\mathbb{R}_{\exp}$ . If  $f_x^{BG}$  exists and is  $BG$ -continuous on  $A \times I$ ,  $u(x), v(x)$  are  $BG$ -continuously differentiable functions of  $A$  into  $I$ , then

$$\frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( \int_{u(x)}^{v(x)} f(x, t) dt^{BG} \right) = \int_{u(x)}^{v(x)} (f_x^{BG}(x, t)) dt^{BG} \oplus [f(x, v(x)) \odot v_x^{BG}] \ominus [f(x, u(x)) \odot u_x^{BG}].$$

**Proof.** Take  $f(x, t) = \frac{\partial^{BG}}{\partial t^{BG}} F(x, t) = F_t^{BG}(x, t)$ . Hence we find

$$\int_{u(x)}^{v(x)} f(x, t) dt^{BG} = \int_{u(x)}^{v(x)} \frac{\partial^{BG}}{\partial t^{BG}} F(x, t) dt^{BG} = F(x, v(x)) \ominus F(x, u(x)).$$

Therefore, we obtain

$$\frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( \int_{u(x)}^{v(x)} f(x, t) dt^{BG} \right) = \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} (F(x, v(x)) \ominus F(x, u(x))) = \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} F(x, v(x)) \ominus \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} F(x, u(x)) \tag{1}$$

by using the properties of  $BG$ - derivative. We can write as

$$\frac{d^{BG}}{dx^{BG}} F(x, u(x)) = F_x^{BG}(x, u(x)) \oplus F_{u(x)}^{BG}(x, u(x)) \odot u_x^{BG} \tag{2}$$

and

$$\frac{d^{BG}}{dx^{BG}} F(x, v(x)) = F_x^{BG}(x, v(x)) \oplus F_{v(x)}^{BG}(x, v(x)) \odot v_x^{BG} \tag{3}$$

from *BG*-chain rule. Hence by using Theorem 7, we get

$$\begin{aligned} \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( \int_{u(x)}^{v(x)} f(x, t) dt^{BG} \right) &= F_x^{BG}(x, v(x)) \odot F_x^{BG}(x, u(x)) \oplus [F_{v(x)}^{BG}(x, v(x)) \odot v_x^{BG}] \odot [F_{u(x)}^{BG}(x, u(x)) \odot u_x^{BG}] \\ &= \int_{u(x)}^{v(x)} \left( \frac{\partial^{BG}}{\partial t^{BG}} F_x^{BG}(x, t) \right) dt^{BG} \oplus [f(x, v(x)) \odot v_x^{BG}] \odot [f(x, u(x)) \odot u_x^{BG}] \\ &= \int_{u(x)}^{v(x)} \left( \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} F_t^{BG}(x, t) \right) dt^{BG} \oplus [f(x, v(x)) \odot v_x^{BG}] \odot [f(x, u(x)) \odot u_x^{BG}] \\ &= \int_{u(x)}^{v(x)} (f_x^{BG}(x, t)) dt^{BG} \oplus [f(x, v(x)) \odot v_x^{BG}] \odot [f(x, u(x)) \odot u_x^{BG}] \end{aligned}$$

from the expressions (1), (2) and (3).

**Example 2.** Show that the *BG*-Volterra integral equation  $u(x) = \sin x \oplus \int_1^x e^x \odot u(t) dt^{BG}$  can be transformed to *BG*-differential equation.

**Solution.** If we consider the equation and differentiate it by using *BG*-Leibniz formula, we obtain

$$\begin{aligned} \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} u(x) &= \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \sin x \oplus \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( \int_1^x u(t) \odot e^x dt^{BG} \right) \\ u^{BG}(x) &= e^{x \cot x} \oplus \int_1^x \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} (u(t) \odot e^x) dt^{BG} \oplus (u(x) \odot e^x \odot x_x^{BG}) \odot (u(1) \odot e^x \odot 1_x^{BG}) \\ u^{BG}(x) &= e^{x \cot x} \oplus \int_1^x e dt^{BG} \oplus (u(x) \odot e^x) \\ u^{BG}(x) &= e^{x \cot x} \oplus x \oplus (u(x) \odot e^x). \end{aligned}$$

Thus the *BG*-Volterra integral equation is equivalent to the *BG*-differential equation  $u^{BG}(x) \odot (u(x) \odot e^x) = e^{x \cot x} \oplus x$ .

### 3.1.2. The Conversion of the *BG*-Linear Differential Equations to *BG*-Volterra Integral Equations

In this part, we prove that it is converted to *BG*-Volterra integral equations by defining *BG*-linear differential equation with constant coefficients and variable.

**Definition 12.** The equation of the form

$$y^{n_{BG}} \oplus a_1(x) \odot y^{(n-1)_{BG}} \oplus \dots \oplus a_{n-1}(x) \odot y^{BG} \oplus a_n(x) \odot y = f(x)$$

where  $f$  is a bipositive function, is called  $n^{th}$  order *BG*-linear differential equation. If the coefficients  $a_n(x)$  are constants, then the equation is called as *BG*-linear differential equation with constant coefficients; if not it is called *BG*-linear differential equation with variable coefficients.

**Theorem 9.** If  $n$  is a positive integer and  $a \in \mathbb{R}_{exp}$  with  $x \geq_{exp} a$ , then we have

$$\int_a^x \dots \int_a^x (n) \dots \int_a^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG} = \frac{e}{(n-1)!_{exp}} \exp \odot \int_a^x (x \ominus t)^{(n-1)_{exp}} \odot u(t) dt^{BG}$$

**Proof.** Take

$$I_n = {}_{BG} \int_a^x (x \ominus t)^{(n-1)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} . \tag{4}$$

If it is taken  $F(x, t) = (x \ominus t)^{(n-1)_{\exp}} \odot u(t)$ , we write

$$\begin{aligned} \frac{d^{BG} I_n}{dx^{BG}} &= \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( {}_{BG} \int_a^x F(x, t) dt^{BG} \right) \\ &= {}_{BG} \int_a^x \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} (F(x, t)) dt^{BG} \oplus (F(x, x) \odot x_x^{BG}) \ominus (F(x, a) \odot a_x^{BG}) \\ &= {}_{BG} \int_a^x e^{\frac{F'_x(x,t)}{F(x,t)}} dt^{BG} \end{aligned} \tag{5}$$

by using *BG*-Leibniz rule. Since  $F(x, t) = (x \ominus t)^{(n-1)_{\exp}} \odot u(t) = \left[ \left( \frac{x}{t} \right)^{\ln\left(\frac{x}{t}\right)^{(n-2)} \right]^{\ln u(t)} = \left( \frac{x}{t} \right)^{\ln\left(\frac{x}{t}\right)^{(n-2)} \ln u(t)}$ ,

$F'_x(x, t) = \frac{1}{x} (n-1) F(x, t) \ln u(t) \left( \ln\left(\frac{x}{t}\right) \right)^{(n-2)}$ . Therefore we find

$$\begin{aligned} \frac{d^{BG} I_n}{dx^{BG}} &= {}_{BG} \int_a^x e^{\frac{F'_x(x,t)}{F(x,t)}} dt^{BG} = {}_{BG} \int_a^x e^{(n-1) \ln u(t) \left( \ln\left(\frac{x}{t}\right) \right)^{(n-2)}} dt^{BG} = {}_{BG} \int_a^x \left( e^{\ln\left(\frac{x}{t}\right)^{(n-2)} \ln u(t)^{(n-1)}} \right) dt^{BG} = {}_{BG} \int_a^x e^{\left( \ln\left(\frac{x}{t}\right) \right)^{(n-2)} \ln u(t)^{(n-1)}} \odot u(t)^{(n-1)} dt^{BG} \\ &= {}_{BG} \int_a^x e^{\left( \ln\left(\frac{x}{t}\right) \right)^{(n-2)} \ln u(t)^{(n-1)}} \odot e^{(n-1)} \odot u(t) dt^{BG} = {}_{BG} \int_a^x \left( e^{\ln\left(\frac{x}{t}\right)^{(n-3)} \ln u(t)^{(n-1)}} \right) \odot e^{(n-1)} \odot u(t) dt^{BG} \\ &= {}_{BG} \int_a^x e^{(n-1)} \odot (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} = \left( {}_{BG} \int_a^x (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} \right)^{(n-1)} \\ &= (I_{n-1})^{(n-1)} = e^{n-1} \odot I_{n-1} \end{aligned}$$

from the equation (5). Hence we get

$$\frac{d^{BG} I_n}{dx^{BG}} = \left( {}_{BG} \int_a^x (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} \right)^{(n-1)} = e^{n-1} \odot I_{n-1} \tag{6}$$

for  $n > 1$ . Since  $I_1 = {}_{BG} \int_a^x u(t) dt^{BG}$  for  $n = 1$ , then we write

$$\frac{d^{BG} I_1}{dx^{BG}} = \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( {}_{BG} \int_a^x u(t) dt^{BG} \right) = u(x). \tag{7}$$

If it is taken *BG*-derivative of the equation (6) by using *BG*-Leibniz formula, then

$$\begin{aligned} \frac{d^{2BG} I_n}{dx^{2BG}} &= \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} \left( {}_{BG} \int_a^x e^{(n-1)} \odot (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} \right) = {}_{BG} \int_a^x \frac{\partial^{BG}}{\partial x^{BG}} \left( e^{(n-1)} \odot (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) \right) dt^{BG} \\ &= {}_{BG} \int_a^x e^{(n-1)(n-2) \ln\left(\frac{x}{t}\right)^{(n-3)} \ln u(t)} dt^{BG} = {}_{BG} \int_a^x e^{(n-1)} \odot e^{(n-2)} \odot (x \ominus t)^{(n-3)_{\exp}} \odot u(t) dt^{BG} = e^{(n-1)} \odot e^{(n-2)} \odot I_{n-2}. \end{aligned}$$

By proceeding similarly, we get

$$\frac{d^{(n-1)BG} I_n}{dx^{(n-1)BG}} = e^{(n-1)} \odot e^{(n-2)} \odot \dots \odot e^1 \odot I_1 = e^{(n-1)!} \odot I_1 = (n-1)!_{\exp} \odot I_1.$$

Hence we write

$$\frac{d^{nBG} I_n}{dx^{nBG}} = (n-1)!_{\exp} \odot u(x)$$

from the equation (7). Now, we will take  $BG$ -integral by considering the above relations. From the equation

$$(7), I_1(x) = {}_{BG} \int_a^x u(x_1) dx_1^{BG}. \text{ Also, we have}$$

$$I_2(x) = e^1 \odot {}_{BG} \int_a^x I_1(x_1) dx_1^{BG} = e \odot {}_{BG} \int_a^x {}_{BG} \int_a^{x_1} u(x_1) dx_1^{BG} dx_2^{BG}$$

where  $x_1$  and  $x_2$  are parameters. By proceeding likewise, we get

$$\begin{aligned} I_n(x) &= e^{(n-1)!} \odot {}_{BG} \int_a^x {}_{BG} \int_a^{x_n} \dots {}_{BG} \int_a^{x_3} {}_{BG} \int_a^{x_2} u(x_1) dx_1^{BG} dx_2^{BG} \dots dx_{n-1}^{BG} dx_n^{BG} \\ &= (n-1)!_{\text{exp}} \odot {}_{BG} \int_a^x {}_{BG} \int_a^{x_n} \dots {}_{BG} \int_a^{x_3} {}_{BG} \int_a^{x_2} u(x_1) dx_1^{BG} dx_2^{BG} \dots dx_{n-1}^{BG} dx_n^{BG} \end{aligned}$$

where  $x_1, x_2, \dots, x_n$  are parameters. If we write the equation (4) instead of the statement  $I_n$ , then we find

$${}_{BG} \int_a^x (x \odot t)^{(n-1)_{\text{exp}}} \odot u(t) dt^{BG} = (n-1)!_{\text{exp}} \odot {}_{BG} \int_a^x {}_{BG} \int_a^{x_n} \dots {}_{BG} \int_a^{x_3} {}_{BG} \int_a^{x_2} u(x_1) dx_1^{BG} dx_2^{BG} \dots dx_{n-1}^{BG} dx_n^{BG}.$$

If it is taken  $x = x_1 = x_2 = \dots = x_n$ , then we obtain

$${}_{BG} \int_a^x (x \odot t)^{(n-1)_{\text{exp}}} \odot u(t) dt^{BG} = (n-1)!_{\text{exp}} \odot {}_{BG} \int_a^x \dots (n) \dots {}_{BG} \int_a^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG}.$$

Therefore, we get

$${}_{BG} \int_a^x \dots (n) \dots {}_{BG} \int_a^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG} = \frac{e}{(n-1)!_{\text{exp}}} \exp \odot {}_{BG} \int_a^x (x \odot t)^{(n-1)_{\text{exp}}} \odot u(t) dt^{BG}$$

and this completes the proof.

Let  $n^{\text{th}}$  order  $BG$ -linear differential equation

$$y^{n_{BG}} \oplus a_1(x) \odot y^{(n-1)_{BG}} \oplus \dots \oplus a_{n-1}(x) \odot y^{BG} \oplus a_n(x) \odot y = f(x) \tag{8}$$

given with the initial conditions

$$y(1) = c_0, y^{BG}(1) = c_1, \dots, y^{(n-1)_{BG}}(1) = c_{n-1} \tag{9}$$

This  $n^{\text{th}}$  order  $BG$ -linear differential equation can be reduced to a  $BG$ -Volterra integral equation. Hence the solution of (8)-(9) may be reduced to a solution of some  $BG$ -Volterra integral equation.

Taking  $y^{n_{BG}} = u(x)$ , we can write  $\frac{d^{BG}}{dx^{BG}} y^{(n-1)_{BG}}(x) = u(x)$ . By  $BG$ -integrating both sides of this equality,

$${}_{BG} \int_1^x d^{BG} \left( y^{(n-1)_{BG}} \right) = {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

$$y^{(n-1)_{BG}}(x) \odot y^{(n-1)_{BG}}(1) = {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

$$y^{(n-1)_{BG}}(x) = c_{n-1} \oplus {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

By proceeding similarly, we find

$$\begin{aligned}
 {}_{BG}\int_1^x d^{BG} \left( y^{(n-2)_{BG}} \right) &= {}_{BG}\int_1^x \left( c_{n-1} \oplus {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \right) dt^{BG} \\
 y^{(n-2)_{BG}}(x) \ominus y^{(n-2)_{BG}}(1) &= {}_{BG}\int_1^x c_{n-1} dt^{BG} \oplus {}_{BG}\int_1^x {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG} \\
 y^{(n-2)_{BG}}(x) &= c_{n-2} \oplus c_{n-1} \odot x \oplus {}_{BG}\int_1^x {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG} \\
 &\vdots \\
 y^{BG} &= c_1 \oplus c_2 \odot x \oplus \dots \oplus c_{n-1} \odot x^{(n-2)_{exp}} \oplus {}_{BG}\int_1^x \dots (n-1) \dots {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG}.
 \end{aligned}$$

Therefore, we obtain,

$$y = c_0 \oplus c_1 \odot x \oplus c_2 \odot x^{2_{exp}} \oplus \dots \oplus c_{n-1} \odot x^{(n-1)_{exp}} \oplus {}_{BG}\int_1^x \dots (n) \dots {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG}.$$

If we take into account the above expressions, the  $BG$ -linear differential equation is written as follows

$$\begin{aligned}
 &u(x) \oplus a_1(x) \odot \left( c_{n-1} \oplus {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \right) \oplus a_2(x) \odot \left( c_{n-2} \oplus c_{n-1} \odot x \oplus {}_{BG}\int_1^x {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG} \right) \oplus \dots \\
 &\oplus a_n(x) \odot \left( c_0 \oplus c_1 \odot x \oplus c_2 \odot x^{2_{exp}} \oplus \dots \oplus c_{n-1} \odot x^{(n-1)_{exp}} \oplus {}_{BG}\int_1^x \dots (n) \dots {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG} \right) = f(x) \\
 &u(x) \oplus a_1(x) \odot {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \oplus a_2(x) \odot {}_{BG}\int_1^x {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG} \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot {}_{BG}\int_1^x \dots (n) \dots {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG} = \\
 &f(x) \odot \left[ \left( a_1(x) \oplus a_2(x) \odot x \dots \oplus a_n(x) \odot x^{(n-1)_{exp}} \right) \odot c_{n-1} \oplus \left( a_2(x) \oplus a_3(x) \odot x \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot x^{(n-2)_{exp}} \right) \odot c_{n-2} \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot c_0 \right] \tag{10}
 \end{aligned}$$

If we set

$$\begin{aligned}
 a_1(x) \oplus a_2(x) \odot x \dots \oplus a_n(x) \odot x^{(n-1)_{exp}} &= f_{n-1}(x) \\
 a_2(x) \oplus a_3(x) \odot x \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot x^{(n-2)_{exp}} &= f_{n-2}(x) \\
 &\vdots \\
 a_n(x) &= f_0(x)
 \end{aligned}$$

and

$$F(x) = f(x) \odot f_{n-1}(x) \odot c_{n-1} \odot f_{n-2}(x) \odot c_{n-2} \odot \dots \odot f_0(x) \odot c_0$$

Then, one can see that the equation (10) is in the following form:

$$\begin{aligned}
 &u(x) \oplus a_1(x) \odot {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \oplus a_2(x) \odot {}_{BG}\int_1^x {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG} \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot {}_{BG}\int_1^x \dots (n) \dots {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \dots dt^{BG} \\
 &= F(x).
 \end{aligned}$$

By using Theorem 9, we get

$$\begin{aligned}
 &u(x) \oplus a_1(x) \odot {}_{BG}\int_1^x u(t) dt^{BG} \oplus a_2(x) \odot \frac{e}{1!_{exp}} \exp \odot {}_{BG}\int_a^x (x \ominus t)^{1_{exp}} \odot u(t) dt^{BG} \oplus \dots \oplus a_n(x) \odot \frac{e}{(n-1)!_{exp}} \exp \odot {}_{BG}\int_a^x (x \ominus t)^{(n-1)_{exp}} \odot u(t) dt^{BG} \\
 &= F(x).
 \end{aligned}$$

If we edit this equation as

$$u(x) \oplus {}_{BG}\int_1^x u(t) \odot \left[ a_1(x) \oplus \frac{e}{1!_{exp}} \exp \odot a_2(x) \odot (x \ominus t)^{1_{exp}} \oplus \dots \oplus \frac{e}{(n-1)!_{exp}} \exp \odot (x \ominus t)^{(n-1)_{exp}} \odot a_n(x) \right] dt^{BG} = F(x)$$

and set

$$K(x, t) = a_1(x) \oplus \frac{e}{1!_{exp}} \exp \odot a_2(x) \odot (x \ominus t)^{1_{exp}} \oplus \dots \oplus \frac{e}{(n-1)!_{exp}} \exp \odot (x \ominus t)^{(n-1)_{exp}} \odot a_n(x)$$

as the kernel function, then the equation (8) is turned into

$$u(x) \oplus_{BG} \int_1^x u(t) \odot K(x,t) dt^{BG} = F(x)$$

which is a  $BG$ -Volterra integral equation of the second kind.

**Example 3.** Find  $BG$ -Volterra integral equation corresponding to the  $BG$ -differential  $y^{2BG} \oplus x \odot y^{BG} \oplus y = e^2$  with the initial conditions  $y(1) = e$ ,  $y^{BG}(1) = 1$ .

**Solution.** Let  $\frac{d^{2BG}}{dx^{2BG}} y = y^{2BG} = u(x)$ . Since  $\frac{d^{2BG}}{dx^{2BG}} = \frac{d^{BG}}{dx^{BG}} y^{BG} = u(x)$ , then we write

$${}_{BG} \int_1^x d^{BG} (y^{BG}) = {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

$$y^{BG}(x) \ominus y^{BG}(1) = {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

$$y^{BG}(x) = {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG}$$

Therefore, we find

$${}_{BG} \int_1^x d^{BG} y = {}_{BG} \int_1^x {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG} dt^{BG}$$

$$y(x) \ominus y(1) = \frac{e}{1!_{\text{exp}}} \exp \odot {}_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot u(t) dt^{BG}$$

$$y(x) = e \oplus \left( e \odot {}_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot u(t) dt^{BG} \right)$$

If we replace the findings above into the given  $BG$ -differential equation, we obtain

$$u(x) \oplus x \odot {}_{BG} \int_1^x u(t) dt^{BG} \oplus e \oplus \left( e \odot {}_{BG} \int_1^x (x \ominus t) \odot u(t) dt^{BG} \right) = e^2$$

From this, we get  $BG$ -Volterra integral equation as  $u(x) = e \oplus {}_{BG} \int_1^x (x^2 \ominus t) \odot u(t) dt^{BG}$ .

#### 4. Conclusion

In this paper, the Volterra integral equations are defined in the sense of bigeometric calculus by using the concept of bigeometric integral. The Leibniz formula is proved in bigeometric calculus and aid of this the bigeometric Volterra integral equations are converted to bigeometric differential equations. By defining the bigeometric linear differential equations with constant coefficients and variable coefficients, they are converted to bigeometric Volterra equations is proved.

#### References

Aniszewska, D. and Rybaczuk, M., 2005. Analysis of the Multiplicative Lorenz System. *Chaos Solitons Fractals*, 25, 79–90.

Boruah, K. and Hazarika, B., 2018a.  $G$ -Calculus. *TWMS J. Pure Appl. Math.*, 8(1), 94-105.

Boruah, K. and Hazarika, B., 2018b. Bigeometric Integral Calculus. *TWMS J. Pure Appl. Math.*, 8(2), 374-385.

Boruah, K., Hazarika, B. and Bashirov, A.E., 2018. Solvability of Bigeometric Differential Equations by Numerical Methods. *Bol. Soc. Parana. Mat.*, doi: 10.5269/bspm.39444.

Brunner, H., 2017. *Volterra Integral Equations: An Introduction to Theory and Applications*, Cambridge University Press, 387p.

Córdova-Lepe, F. 2015. The Multiplicative Derivative as a Measure of Elasticity in Economics. *TEMAT-Theateto Antheniensi Mathematica*, 2(3), online.

Çakmak, A.F. and Başar, F., 2012. Some New Results on Sequence Spaces with respect to Non-Newtonian Calculus. *J. Inequal. Appl.*, 228(1).



- Çakmak, A.F. and Başar, F., 2014a. On Line and Double Integrals in the Non-Newtonian Sense. AIP Conference Proceedings, 1611, 415-423.
- Çakmak, A.F. and Başar, F., 2014b. Certain Spaces of Functions over the Field of Non-Newtonian Complex Numbers. Abstr. Appl. Anal., Article ID 236124, 12 pages, doi:10.1155/2014/236124.
- Çakmak, A.F. and Başar, F., 2015. Some Sequence Spaces and Matrix Transformations in Multiplicative sense. TWMS J. Pure Appl. Math., 6 (1), 27-37.
- Duyar, C. and Oğur, O., 2017. A Note on Topology of Non-Newtonian Real Numbers. IOSR Journal of Mathematics, 13(6), 11-14.
- Duyar, C. and Sağır, B., 2017. Non-Newtonian Comment of Lebesgue Measure in Real Numbers. J. Math, Article ID 6507013.
- Erdoğan, M. and Duyar, C., 2018. Non-Newtonian Improper Integrals. Journal of Science and Arts, 1(42), 49-74.
- Güngör, N., 2020. Some Geometric of The Non-Newtonian Sequence Spaces  $l_p(N)$ . Math. Slovaca, 70 (3), 689-696.
- Grosmann, M. and Katz R., 1972. Non-Newtonian Calculus, Lee Press, Pigeon Cove Massachussets, 94p.
- Grosmann, M. 1979. An Introduction to Non-Newtonian Calculus. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 10(4), 525-528.
- Grosmann, M., 1983. Bigeometric Calculus: A system with a Scale Free Derivative, 1st ed., Archimedes Foundation, Rockport Massachussets, 100p.
- Kadak, U. and Özlük, M., 2014. Generalized Runge-Kutta Methods with Respect to Non-Newtonian Calculus. Abstr. Appl. Anal., Article ID 594685.
- Krasnov, M., Kiselev, K. and Makarenko, G., 1971. Problems and Exercises in Integral Equation, Mir Publishers, Moscow, 214p.
- Maturi, D.A., 2019. The Successive Approximation Method for Solving Nonlinear Fredholm Integral Equation of the Second Kind Using Maple. Advances in Pure Mathematics, 9, 832-843.
- Rybczuk, M. and Stoppel, P., 2000. The fractal growth of fatigue defects in materials. International Journal of Fracture, 103, 71-94.
- Sağır, B. and Erdoğan, F., 2019. On the Function Sequences and Series in the Non-Newtonian Calculus. Journal of Science and Arts, 4(49), 915-936.
- Smithies, F., 1958. Integral Equations, Cambridge University Press, London, 172p.
- Tekin, S. and Başar, F., 2013. Certain Sequence Spaces over the Non-Newtonian Complex Field. Abstr. Appl. Anal. 2013, Article ID 739319, 11 pages, doi: 10.1155/2013/739319.
- Türkmen, C. and Başar, F., 2012a. Some Basic Results on the Sets of Sequences with Geometric Calculus. AIP Conference Proceedings, 1470, 95-98.
- Türkmen, C. and Başar, F., 2012b. Some Results on the Sets of Sequences with Geometric Calculus. Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Sér. A1 Math. Stat., 61(2), 17-34.
- Volterra, V. and Hostinsky, B. 1938. Opérations Infinitésimales linéaires, Herman, Paris.
- Zarnan, J.A., 2016. Numerical Solution of Volterra Integral Equations of Second Kind, Int. J. Comput. Sci. Mobile Comput., 5(7), 509-517.

## Gümüşhane İklim Şartlarında Farklı Malzemeler İçin Yalıtım Kalınlıklarının TS 825 Kapsamında Değerlendirilmesi

*Evaluation of Insulation Thicknesses For Different Materials Under Climatic Conditions of Gümüşhane Within the Scope TS 825*

Faruk YEŞİLDAL<sup>1,a</sup>, Kadir GELİŞ<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>2</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

• Geliş tarihi / Received: 10.04.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 17.06.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 23.06.2020

### Öz

Bu çalışmada Gümüşhane iklim şartları ve meteorolojik değerleri göz önünde bulundurularak farklı yalıtım malzemeleri (XPS, EPS ve Taş yünü) için yalıtım kalınlığının (4-5-6 ve 8 cm) değişimi ile toplam ısı transfer katsayısının değişimi incelenmiştir. Değiştirilen bu parametreler ile yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yalıtımsız ve kısmi yalıtımlı duruma (taban ve tavan yalıtımlı) göre hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalar ısı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneğinin (İzoder) TS 825 standartları kapsamında oluşturdukları "İzoder TS 825 Hesap Programı" ile yapılmıştır. Mimarilerde kullanılan duvar elemanlarına göre uygulanması gereken yalıtım kalınlığının değişiklik gösterebileceğini belirterek, örnek mimarinin duvar kesit özellikleri dikkate alındığında Gümüşhane ili için uygulanması gereken minimum yalıtım kalınlığının 4 cm olduğu hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı yalıtım malzemesinin değişimi ile yıllık enerji ihtiyacının değiştiği görülmüştür. Tamamen yalıtımsız duruma kıyasla çatının yalıtılmasının % 27.6 enerji tasarrufu, toprağa temas eden taban ve duvarların yalıtılmasının ise %16.9 enerji tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır. Havayla temas eden düşey duvarda ise kullanılan malzemeye göre bu değer %10.5-%17 arasında değişmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji Tasarrufu, Isı Yalıtımı, TS 825

### Abstract

In this study, considering the climatic and meteorological conditions of Gümüşhane, the change of the insulation thickness (4-5-6 and 8 cm) and the total heat transfer coefficient for different insulation materials (XPS, EPS and Rock wool) are investigated. With these changing parameters, the annual energy need for heating is calculated based on the uninsulated and partially insulated condition (floor and ceiling insulated) and evaluated comparatively. Calculations are made with "TS 825 Calculation Program" created by the heat, water, sound and fire insulators association (İzoder) within the scope of TS 825 standards. Insulation thickness that should be applied in accordance with the wall elements which used in architectures can vary, thus the minimum insulation thickness to be applied for Gümüşhane province is calculated as 4 cm considering the wall cross-sectional properties of the sample architecture. As a result of the calculations, it has been observed that the annual energy need changes with the insulation material. It has been calculated that the insulation of the roof provides 27.6% energy saving compared to the completely uninsulated condition, and insulation of the floor and walls contacting the soil provides 16.9% energy saving. On the vertical wall contacting with air, this value varies between 10.5%-17% depending on the insulation material

**Keywords:** Energy Saving, Thermal Insulation, TS 825

\*b Kadir GELİŞ, kadirgelis@ibu.edu.tr, Tel: (0374) 254 10 00, orcid.org/0000-0001-8612-2233

a orcid.org/0000-0002-7307-3556

## 1. Giriş

İnsan nüfusunun ve sanayileşmenin hızlı bir şekilde artışı ile birlikte Türkiye’de enerji tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Bununla birlikte sera gazı etkilerinin yanı sıra, ülkemiz için dış ticaret açığı da oluşturan fosil yakıtların birincil enerjideki payı da % 80’leri geçmiştir. Türkiye’de enerjinin %35’i konutlarda tüketilmektedir. Bu enerjinin ise %65’i de ısıtma, soğutma ve havalandırma amacıyla harcanmaktadır (Yaman ve Şengül, 2015). Bu sebeple enerji tasarrufu, tüketilen enerjinin çoğunu ithal eden ülkemiz için hayati öneme sahiptir. Enerjide dışa bağımlı olan ülkemiz için enerji tüketimini azaltacak ısı yalıtım önlemlerinin alınması zorunludur. Bu da bizi enerji tasarruf potansiyeli yüksek olan konutlara yönlendirmektedir. Konutlarda enerji tasarrufu açısından en etkili yöntemlerden biri olan yalıtım; hem tüketilen enerjinin çevresel etkileri, hem de enerjinin yüksek maliyeti açısından özellikle ele alınması gereken bir konudur. Isı yalıtımı kısa vadeli (enerji tasarrufu, ek yatırım maliyeti), uzun vadeli (yaşam döngüsü maliyet tasarrufu) ve bütünsel etkileriyle (geri ödeme süresi, karbon ayak izi) birlikte değerlendirilmelidir.

Literatürde binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri, duvar tipleri, optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süresi analizi, TS-825 standardına uygunluk, çevresel etkiler, yoğunlaşma, yalıtımın uygulama şekli ve yurtdışındaki uygulamalar konularında yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Araştırmacı (Bolattürk, 2006) Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden 16 şehir için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplamış ve yaşam döngüsü maliyet analizini esas alarak optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Bunun için beş farklı yakıt (kömür, doğal gaz, fuel oil, LPG ve elektrik) ve yalıtım malzemesi olarak da polistiren kullanmıştır. Sonuç olarak incelenen bölge ve yakıt tipine bağlı olarak %22 - %79 arasında enerji tasarrufu, 1.3 ile 4.5 yıl arasında geri ödeme süresi ve 2- 17 cm gibi geniş bir aralıkta yalıtım kalınlığı elde etmiştir. Çomaklı ve arkadaşları (Çomaklı and Yüksel, 2003) çalışmalarında 4. bölgede bulunan ve ülkemizin en soğuk bölgesinden Erzurum, Kars ve Ardahan illeri için yaptıkları yaşam döngüsü maliyet analizi ile optimum yalıtım kalınlıklarını araştırarak Erzurum gibi soğuk iklimlere sahip şehirlerde tasarrufun 10 yıl boyunca 12.13718 \$ / m<sup>2</sup> kadar olabileceğini belirttiler. Araştırmacı (Özel, 2019) 4. bölgede ve ülkemizin en soğuk bölgesinde yer alan Kars ili için yaptığı bu

çalışmada bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi (taş, tuğla, beton ve gaz beton) ve yalıtım malzemesi olarak da EPS kullanarak ısıtma yüklerini yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için karşılaştırmıştır. Artan yalıtım kalınlıklarına göre ısı kayıplarını çok katmanlı duvarlar için bir boyutlu ısı iletim denklemini sonlu farklar yöntemi ile analiz etmiştir. Araştırmacılar (Şahin ve Çarkacı, 2019) 4. bölgede olan Gümüşhane ili için örnek bir kamu lojman binasında TS 825’e göre dıştan mantolama yaptılar. Binayı yalıtım yapılmadan önce ve yalıtımdan sonra aldıkları termal kamera görüntüleri üzerinden incelediler. Sonuç olarak yaptıkları 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 sağlanacağını belirttiler. Geri ödeme süreleri değerlendirildiğinde TS 825 e göre yapılan yalıtım için amortisman süresinin biraz arttığı, ancak yıllık yakıt tüketiminin azaldığını gördüler. Bu çalışmada (Dikmen, 2019) 1995 Dinar Depremi’nden sonra inşa edilmiş olan afet konutu projesinin TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’na uygunluğunu İzoder TS 825 hesap programını kullanarak inceledi. Öncelikle projenin mevcut durumunun TS 825 standardına uygunluğunu incelemiş, daha sonra projeyi 3 farklı aşamada standarda uygun hale getirmiştir. Sonuç olarak çatıda kullanılmış olan cam yünü 5 cm’den 12 cm’ye çıkarmış; duvarlarda 8 cm EPS ve toprağa oturan döşemede 7 cm XPS kullanmıştır. Araştırmacı (Fertelli, 2013) Türkiye’de yaygın olarak kullanılan farklı duvar tiplerinin (taş, tuğla, beton ve bims) optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri üzerindeki etkisini altı farklı yakıt türü (LPG, elektrik, akaryakıt, kömür, doğal gaz ve jeotermal enerji) için değerlendirmiştir. Farklı iklim bölgelerinden dört şehir (Aydın, Trabzon, Malatya ve Sivas) seçerek, iki farklı yalıtım malzemesiyle (XPS ve Taş yünü) analiz yaptılar. Sonuçları, yalıtım kalınlıklarının 0 - 0.179 m aralığında enerji tasarrufu için çeşitli yakıt ve duvar tiplerine bağlı olarak 0 - 235.053 \$ / m<sup>2</sup> ve geri ödeme süresini ise 0 - 11.53 yıl olarak elde etmişlerdir. Bir başka çalışmada TS 825’e uygun olarak çeşitli duvar tiplerinin termal etkinlikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırmacılar yapıların enerji etkin özelliklere sahip olmasını amaçlamışlardır. Örnek olarak 3. derece gün bölgesinde betonarme iskelet bir yapıyı ele alarak farklı yapı bileşenleriyle mevcut ısı iletkenlik değerleri için TS 825 kapsamında uygun kalınlıkları belirlemişlerdir. Ayrıca yoğunlaşma açısından da inceleme yaparak yoğunlaşma

bölgelerini analiz etmişlerdir (Yüksek ve Sivacılar, 2017).

Bitlis ili için yürütülen başka bir yalıtım uygulamasında yoğuşma riski de dikkate alınarak aylara göre gerekli minimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yapı elemanındaki ısı ve kütle transferi hesaplamalarını, farklı iç ortam sıcaklıkları ve bağıl nem koşulları için yaparak DG4 bölgesinde bulunan Bitlis ili için şubat ayında yapılarda görülen yoğuşma riskinin diğer aylara göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca şubat ayı için gerekli minimum yalıtım kalınlığını yaklaşık 0.104 m olarak önermiştir. (Bademlioğlu vd., 2018). Araştırmacı bu çalışmada EPS, MW (mineral yün) ve GC (gaz beton) yalıtım malzemelerini kullanılarak TS 825 standardına uygun olarak yoğuşma analizi yapmıştır. Farklı iç ortam sıcaklıkları için duvar içerisindeki basınç değişimlerini göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda basınç değerlerinin yüksek ve yüksek iç ortam sıcaklıklarında ise basınç değerlerinin düşük olduğunu görmüştür. İç ortam sıcaklığının artmasıyla yapı bileşenleri arasında yoğuşmaların olabileceğini belirtmiştir (Uzun, 2020). Türkiye'nin 81 il merkezi için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlendiği bu çalışmada hesaplamalar, 4 farklı yakıt (doğal gaz, kömür, fuel oil ve LPG) ve 5 farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) için yapılmıştır. Çalışmada ısıtılan fakat soğutulmayan, soğutulan ancak ısıtılmayan ve hem ısıtılan hem de soğutulan durumlar için; her bir duruma göre gerekli optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Yakıtlara ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıklarını, toplam net tasarruf miktarı, geri ödeme süresi değişimi ve derece / gün değerlerine göre seçilen 5 farklı il merkezi için (İzmir, İstanbul, Ankara, Sivas ve Erzurum) hesaplamıştır. Sonuçta doğal gaz için hem olumsuz çevresel etkilerinin, hem de optimum yalıtım kalınlığının diğer yakıtlara göre daha düşük olduğunu ve ilk yatırım maliyetinin de daha düşük olacağını belirtmiştir (Kürekçi, 2016). Altun ve arkadaşları yürüttükleri çalışmada binaların erken tasarım aşamasında planlanan ilave kabuk yalıtımı yatırımlarının, Türkiye'deki 81 il için yıllık ve yaşam döngüsü perspektiflerinden ısıtma ihtiyacı, maliyet ve karbon ayak izi açısından etkinliğini araştırmışlardır. Binanın yıllık ısıtma alanı ihtiyacını TS 825 standardı metodolojisine göre hesaplamışlardır. Isı yalıtım analizi için Türkiye'de 81 ilde bir vaka çalışması binası için yalıtılmamış bina, TS 825 2008 versiyonunun asgari şartlarına göre yalıtılmış bina ve TS 825-

2013 versiyonunun minimum gereksinimlerine göre yalıtımlı üç farklı yalıtım tasarımı alternatifi oluşturarak yalıtımsız bir binanın TS 825'e göre yalıtım etkinliğini kısa dönem (yıllık ısıtma enerji ihtiyacında sağlanan tasarruf, ek yalıtım maliyeti ve ek sera gazı salımı) ve yaşam döngüsü (yaşam döngüsü maliyeti ve sera gazı salımı) olmak üzere iki farklı süreçte incelemişlerdir. Analizler, standarda dayalı yalıtımların, yalıtımsız binaya göre yıllık ısıtma enerjisi için %75'e, yaşam döngüsü maliyetinde %70'e ve yaşam döngüsü sera gazı emisyonları için %73'e varan iyileştirmeler sağladığını göstermiştir. Ayrıca, geri ödeme sürelerini maliyet için 7 yılın altında ve sera gazı emisyonları için 2 yılın altında elde etmişlerdir (Altun vd., 2020). Altun ve arkadaşları başka bir uygulamada ise, bir binanın enerji ihtiyacını bina kabuk elemanlarının geometrik verilerine ve termal özelliklerine göre hesaplamışlardır. Çalışmalarında model tabanlı TS 825 analizi için bir uygulama geliştirmişlerdir. Çalışmayı denetim, analiz ve kontrol olarak üç modda tanımlayarak TS 825 standardının hesaplama gereksinimlerine göre bir örnek binada test etmiş ve sonucu, doğruluk analizi için manuel hesaplamalarla karşılaştırmışlardır. Sonuçta TS 825 analizinin tutarlı olduğunu doğrulamışlardır (Altun ve Akçamete Güngör, 2019). Araştırmacılar Erzurum ilinde yürüttükleri bu deneysel çalışmada günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak en çok kullanılan EPS ile geliştirilmiş perlitin ısı yalıtım performanslarının ısı dirençler açısından karşılaştırılmasını yapmışlardır. Sonuç olarak 6 cm'lik EPS ile 8 cm'lik geliştirilmiş perlitin ısı yalıtım kapasitelerinin denk olduğunu elde etmişlerdir (Kotan vd., 2018). DG3 bölgesinde bulunan Malatya ilinde yürütülen bu çalışmada, iki farklı yalıtımlı duvar (dıştan yalıtımlı ve sandviç), iki farklı yalıtım malzemesi (XPS ve EPS) ve iki farklı yakıt türü (doğalgaz ve kömür) kullanarak yalıtım malzemesinin optimum kalınlıklarını, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma için ayrı ayrı hesaplamışlardır (Uçar ve Dumrul, 2019). İmal ve çalışma arkadaşı Kahramanmaraş ilindeki bazı örnek binalara uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulandığı yerler ve yalıtımın yıllık yakıt giderlerine etkisini maliyet açısından araştırmışlardır. Üç farklı ısı yalıtım malzemesinin (XPS, EPS ve Poliüretan) incelendiği çalışmada İzoder TS825 standartlarından yararlanarak ısı yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için yaptıkları karşılaştırmada yalıtımlı durumda enerji tasarrufunun yaklaşık %80'e kadar vardığını belirtmişlerdir (İmal ve Karayigit, 2014).

Dünyanın farklı bölgelerinde yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve kullanılan yapı malzemeleri açısından birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin bu çalışmada İran'ın tüm iklim bölgelerinde dış duvarın ideal yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve yatırım geri ödeme süresini belirlemeyi amaçlamışlardır. Klasik bir gri tuğla duvar ve üç modern duvar (İçi boş kil blok, LECA blok ve AAC blok) için çalışmayı yürüttüler. Tüm iklim bölgelerinden sekiz şehir seçerek, iletim yükünü belirlemek için sayısal bir çözümle birlikte yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemini kullanarak optimizasyon yapmışlardır. Sonuçların İran'da kullanılan modern duvarlardan biri olan AAC blok duvarında ısı yalıtımı uygulamasının bazı şehirlerde ekonomik olmadığını belirtmişlerdir. İran'daki maksimum yalıtım kalınlığının 4 cm'den fazla olmadığını ve bunun da diğer ülkeler için bildirilen değerlerden çok daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır (Rosti vd., 2020). Cezayir için yapılan çalışmada araştırmacılar enerji performansını incelemek ve klasik bir ev ile karşılaştırmak için bir prototip yapının deneysel ve sayısal çalışmasını yürütmüşlerdir. Yıllık soğutma ve ısıtma iletim yüklerini, üç farklı yapı malzemesi için (delikli tuğla, yığma taş, beton) EPS'nin yalıtım kalınlığının artışına göre hesaplamışlardır. Ayrıca cam tipinin ve duvardaki cam yüzdesinin etkisini, yalıtımın optimum kalınlığını belirlemek için incelemişlerdir (Derradji vd., 2017). İtalya'da yapılan bir çalışmada araştırmacılar ısı yalıtımı ile ilgili somutlaştırılmış enerji etkisini değerlendirmiş ve verimlilik önlemleri olarak enerji ve karbon geri ödemesini belirlemişlerdir. On İtalyan şehrini analiz etmiş ve sonuçların iklim bölgesine bağımlılığını göstermişlerdir. Daha soğuk iklim bölgelerinde olan Kuzey İtalya şehirlerinde, enerji ve karbon geri ödeme sürelerini 3 yıl, güneyle Palermo şehri için 84 yıl olarak elde etmişlerdir. Optimum kalınlığı, binanın tipi, yalıtım malzemeleri ve enerji geri ödemesi sürelerini dikkate alarak Milano şehri için tahmin etmişlerdir (Abd Alla vd., 2020). Başka bir çalışmada araştırmacılar, Polonya'da bulunan beş iklim bölgesinde iki farklı bina için dış duvarların ısı yalıtımını içeren bir yatırım için bir yöntem ve ekolojik maliyet etkinliği analizi önermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarını yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) tekniğine dayandırmışlardır. Analizde, ısı kaynakları, ısı yalıtımı ve inşaat malzemeleri ile analiz edilen binaların kullanılabilir alanları gibi farklı bileşenlerini dikkate almışlardır. Ekolojik maliyet etkinliğinin en elverişli değerlerini, inceledikleri ekolojik ısı yalıtım malzemelerinden eko-fiber için Polonya'daki en soğuk iklim bölgesinde ekolojik

geri ödeme süresini 0-6 yaş aralığında elde etmişlerdir (Dylewski ve Adamczyk, 2016).

Yapılan literatür taraması ışığında konutlarda ısı yalıtım tedbirlerinin enerji tasarrufu açısından hayati öneme sahip olduğu, bölgesel olarak farklı ısı yalıtım malzemelerinin ve kalınlıklarının uygulanabileceği anlaşılmıştır. Ülke olarak enerji tüketiminin büyük yüzdesini oluşturan konutlardaki ısınma ihtiyacının verimli bir hale getirilmesi önemli bir konudur.

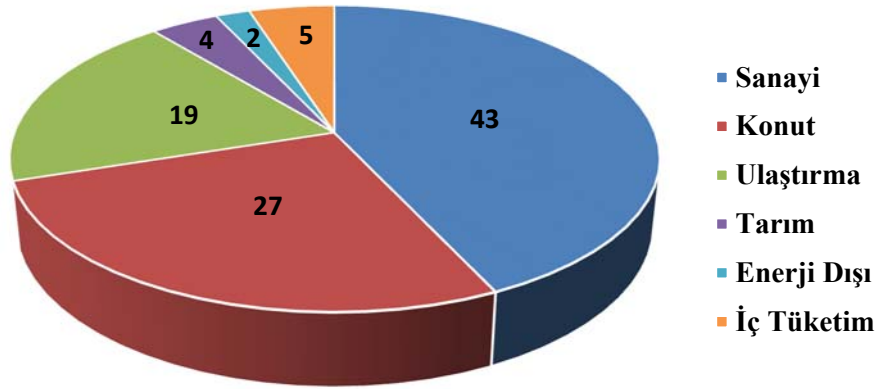
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın açıkladığı verilere göre ülkemizde elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2.2 artmış ve 304.2 milyar kWh olarak hesaplanmıştır. Elektrik tüketiminin 2023 yılına kadar yıllık ortalama %4.8 artışla 375.8 TWh değerine ulaşması beklenmektedir. Elektrik üretimimiz ise 2018 yılı itibarıyla, %37.3 kömürden, %29.8 doğal gazdan, %19.8 hidrolik enerjiden, %6.6 rüzgârdan, %2.6 güneşten, %2.5 jeotermal enerjiden ve %1.4 diğer kaynaklardan sağlanmıştır (URL-1). Buna göre, arzının giderek artması, genellikle fosil veya dışa bağımlı kaynaklardan elektrik üretilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının düşük olması gibi nedenlerden dolayı enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılması gerektiği açıktır. Ülkemizde sektörel bazda enerji tüketimi verilerine göre konutlar %27'lik oranla büyük bir pay sahibidir. Enerji tüketim oranları (Şekil 1) ve bunun binalarda dağılımı (Şekil 2) görülmektedir. Bunun için binaların optimum şekilde yalıtılması gerekmektedir.

Konut sektörü, endüstri sektörü ile birlikte küresel enerji talebinin en fazla olduğu yerlerdir. Binalarda enerji tüketiminin % 65'i de ısıtma amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 2). Isı yalıtımının ciddi bir enerji tasarrufu sağlayacağı açıktır. Ulusal hedeflerimiz doğrultusunda yürürlükteki TS 825 standardında binaların yalıtımı konusunda hem farkındalık yaratmak hem de teşvik etmek oldukça önemlidir. Ülkemizde yalıtım yapılmayan birçok bina mevcuttur. Yapılacak uygun yalıtım uygulamalarıyla tüketilen enerjinin % 50' den daha fazlasının tasarrufu mümkündür. Ekonomik avantajının yanında ısı yalıtımı uygulaması, ısı konfor etkileri, ekoloji ve çevre açısından uzun vadeli kazanımlarıyla birlikte ele alınmalıdır.

Bu çalışmada uygulamada yaygın olarak kullanılan 3 farklı yalıtım malzemesinin (XPS-EPS ve taş yünü) farklı yalıtım kalınlıkları (4-5-6 ve 8 cm) için toplam ısı transfer katsayıları (U) ve yıllık ısıtma enerjilerinin DG4 bölgesindeki Gümüşhane ilindeki örnek bir bina için analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Analizler İzoder TS 825 Hesap Programı kullanılarak yapılmıştır.

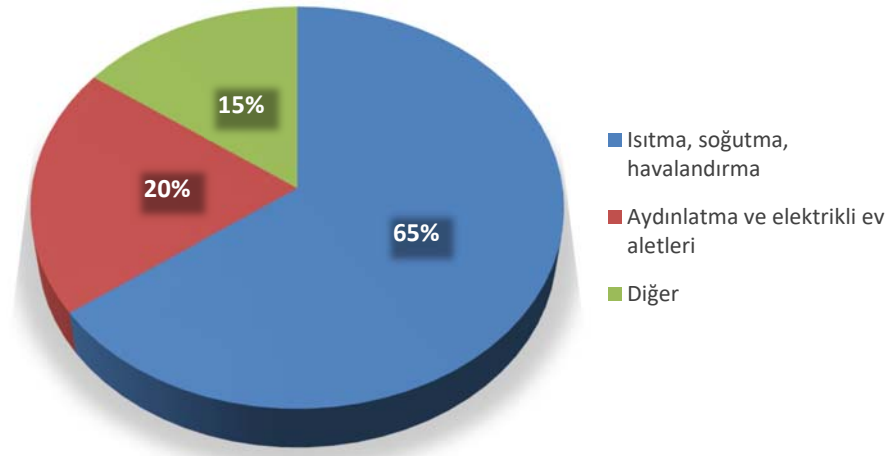


## Enerji Tüketimi



Şekil 1. Türkiye’de sektörel bazda enerji kullanımı (URL-2)

## Enerji dağılımı



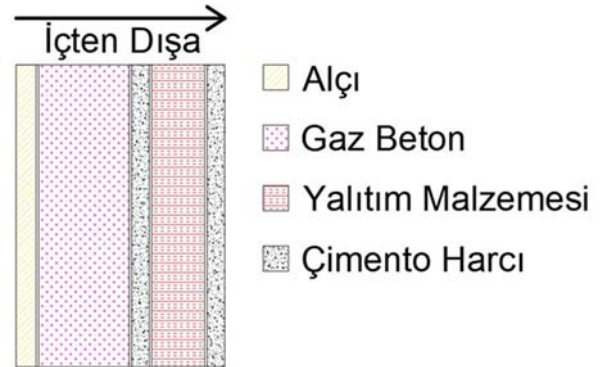
Şekil 2. Binalarda enerji tüketimi (URL-3)

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada örnek alınan mimari Bodrum+Zemin+3 kattan oluşan 8 dairelik bir apartmandır. Örnek mimari binanın projesinde duvar kesiti içten dışa doğru alçı-gaz beton-çimento harcı-yalıtım malzemesi-çimento harcı sıralamasıyla sunulmuştur. Mimariyi oluşturan duvar kesiti Şekil 3’de ve duvar kesitinin oluşturan yapı elemanlarının kalınlıkları Tablo 1’de verilmiştir. Duvar yapısında bütün elemanlar aynı özellik ve kalınlıklarda kalırken; sadece cephe kaplamasında kullanılan yalıtım malzemesi EPS, XPS ve taş yünü olarak seçilmiş ve kalınlığın (4-5-6-8 cm) toplam ısı transfer

katsayısı (U) ve yıllık ısıtma enerjisini nasıl değiştirdiği hesaplanmıştır.



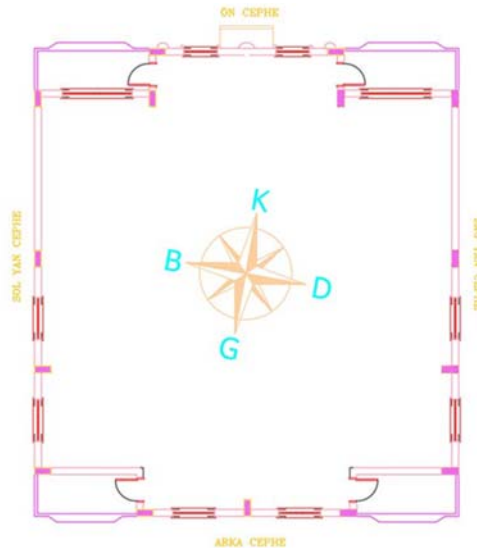
Şekil 3. İçten dışa doğru duvar kesitini oluşturan malzemeler



**Tablo 1.** Duvar kesitini oluşturan malzemelerin kalınlıkları

Malzeme Cinsi	Kalınlık (cm)
Alçı	2
Gaz Beton	17.5
Yalıtım Malzemesi (XPS-EPS-Taş Yünü)	4-5-6-8
Çimento Harcı (Toplam)	1.5

İzoder TS 825 Hesap programı kullanılarak ısı yalıtım hesabı yapılan örnek mimarinin teknik resim görünüşleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur.

**Şekil 4.** Örnek binanın ön ve arka görünüşleri**Şekil 5.** Örnek mimarinin sağ ve sol yan görünüşleri**Şekil 6.** Örnek mimarinin yönleri

Örnek mimari proje üzerinden İzoder TS 825 hesap programının talep ettiği bilgiler doğrultusunda yapılan yüzey alanı hesapları Tablo 2’de sunulmuştur.

Örnek binanın kat yüksekliği 2.7 m ve toplam brüt hacmi 3382.7 m<sup>3</sup> tür. Güneş Enerjisi Kazancı hesabı yapılırken yönlere bağlı toplam pencere alanları Tablo 3’te verilmiştir.

Çalışmada 8 daire olarak tasarlanmış örnek mimarinin duvar yapı elemanları sabit tutularak yalıtım malzemesinin cinsi (EPS, XPS, taş yünü) ve yalıtım malzemesi kalınlığı (4-5-6-8 cm)

değiştirilmiştir. Piyasada kullanılan, XPS, EPS ve taş yününün görselleri Şekil 7’de verilmiştir. TS 825 standartlarında yer alan malzeme özelliklerine göre XPS yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerleri 0.030-0.040 W/mK aralığında, EPS yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerleri 0.035-0.040 W/mK aralığında ve taş yünü yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerleri 0.035-0.050 W/mK aralığında değişmektedir. Bu örnek mimari üzerine uygulanan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik seçimleri piyasada sıkça kullanılan katalog değerleri de göz önünde bulundurularak uygulamaya en yakın olan değerlerden seçilmiş ve teknik özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 2.** Proje Hesabında kullanılan yüzeyler ve alanları

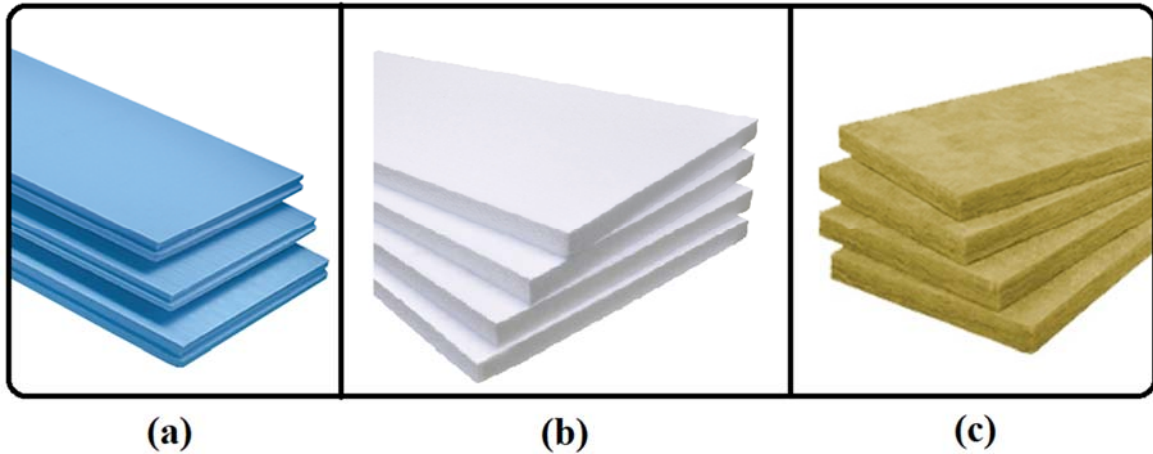
Yüzey Adı	Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )
Dış Havaya Açık Duvar	636.5
Toprağa Temas Eden Duvar	69
Kırma Çatı	255.3
Toprağa Temas Eden Taban	255.3
Dış Ortama Bakan Kapı ve Pencere	105.1
Dış Kapı-Metal (Isı Yalıtımlı)	3.3

**Tablo 3.** Güneş enerjisi kazancı hesabında kullanılan yön bazlı pencere alanları

Yön	Pencere Alanı (m <sup>2</sup> )
Doğu	27.6
Batı	27.6
Kuzey	14.4
Güney	35.5

**Tablo 4.** Kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri

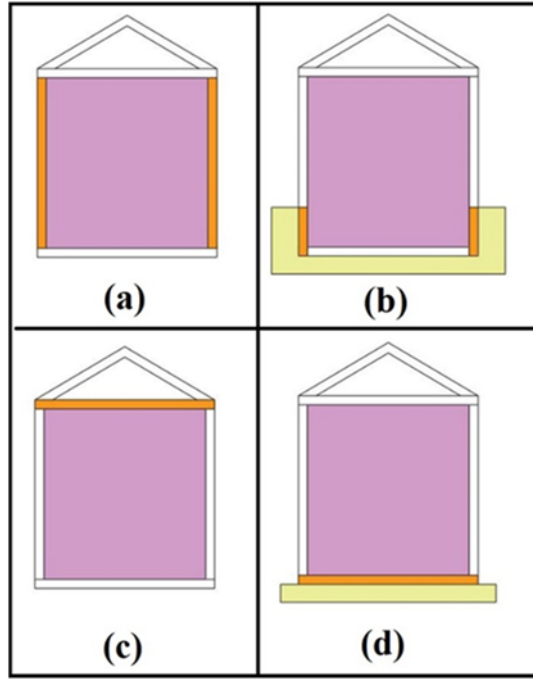
Malzeme Adı	Birim Hacim Kütlesi (kg/m <sup>3</sup> )	Isıl İletkenlik (W/mK)
XPS	25	0.030
EPS	20	0.035
Taş Yünü	150	0.040



**Şekil 7.** Örnek mimaride kullanılan ısı yalıtım malzemeleri, (a) XPS, (b) EPS, (c) Taş yünü

Örnek mimari yapıda 4 farklı duvar tipi ile karşılaşmaktadır. Bu farklı duvar tipleri için TS 825 farklı U değerleri öngörmektedir. Bu sebeple

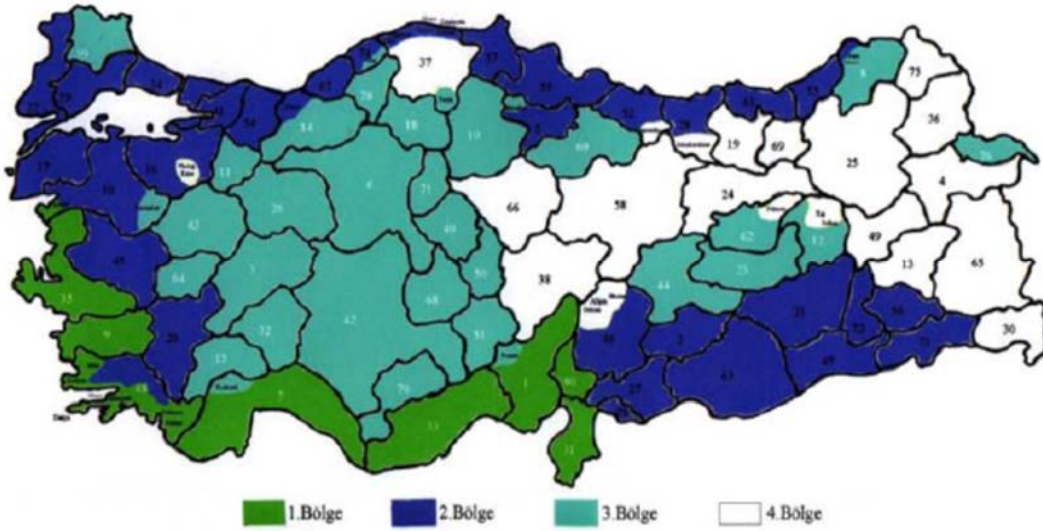
hesaplamaya dâhil edilen duvar tiplerinin daha anlaşılır olabilmesi için Şekil 8’deki görsel sunulmuştur.



Şekil 8. Dış havaya açık duvar (a), Toprağa temas eden duvar (b), Kıрма çatı (c), Toprağa temas eden taban (d)

TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları standartlarında Türkiye 4 farklı derece gün olarak değerlendirilmektedir. 1. Derece gün Türkiye’de en sıcak iller iken 4. Derece gün illeri Türkiye’nin

en soğuk illeridir. TS 825 standardında yer alan derece gün bölgelerine göre illerimiz Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Derece gün bölgelerine göre illerimiz (URL-4)

TS 825 standartlarına göre ısıtması yapılan herhangi bir mahallin bina tipine göre iç ortam sıcaklığı sabitken, projelendirilmenin yapıldığı ilin hangi derece gün bölgesinde bulunduğu göre dış ortam sıcaklıkları aylık olarak değişmektedir. Gümüşhane 4. Derece gün bölgesinde bulunan bir il olup ve Türkiye’nin en soğuk illerinden biridir. Dolayısıyla burada yapılacak olan yalıtım hesabı diğer gün derece bölgelerinde bulunan illerimize

göre daha önemlidir. TS 825 Standardına göre farklı derece gün bölgeleri için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Tablo 5’te sunulmuştur. Tablo 5’te sunulan sınır değerlerinin üzerinde hesaplanan herhangi bir yıllık enerji ihtiyacı durumunda yapılan yalıtımın yetersiz olduğu anlaşılır.

**Tablo 5.** Farklı derece gün (DG) bölgeleri için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri (URL-4)

	h (m)	$A/V \leq 0.2$ için	$0.2 < A/V < 1.05$ için	$A/V \geq 1.05$ için	Birim
Q'1.DG	$h \leq 2.6m$ $A_N$ ile ilişkili $h > 2.6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	19.2 6.2	$44.1 A/V + 10.4$ $14.1 A/V$	56.7 18.2	$kWh/m^2$ $kWh/m^3$
Q'2.DG	$h \leq 2.6m$ $A_N$ ile ilişkili $h > 2.6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	38.4 12.3	$70A/V + 24.4$ $22.4A/V + 7.8$	97.9 31.3	$kWh/m^2$ $kWh/m^3$
Q'3.DG	$h \leq 2.6m$ $A_N$ ile ilişkili $h > 2.6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	51.7 16.6	$76.3A/V + 36.4$ $24.4A/V + 11.7$	116.5 37.3	$kWh/m^2$ $kWh/m^3$
Q'4.DG	$h \leq 2.6m$ $A_N$ ile ilişkili $h > 2.6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	67.3 21.6	$82.8A/V + 50.7$ $26.5A/V + 16.3$	137.6 44.1	$kWh/m^2$ $kWh/m^3$

Enerji tasarrufunun artmasıyla geri ödeme sürelerinin kısaldığı bilinmektedir. En düşük geri ödeme süreleri soğuk iklime sahip DG4 bölgesinde hesaplanmıştır (Aydın and Bıyıkoğlu, 2019). Geri ödeme süreleri açısından karşılaştırma yapıldığında, geri ödeme süresindeki 6 aylık bir artışa karşılık yıllık yakıt tasarrufunda %8 artış sağlandığı hesaplanmıştır. Dolayısıyla, soğuk

iklim bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığının artması sonucu yalıtım maliyeti yükselmekte ve geri ödeme süreleri kısalmaktadır. Bu bilgiler ışığında çalışmada incelenen örnek bina DG4 bölgesinde olan Gümüşhane ilinde seçilmiştir. Derece / Gün bölgelerine göre ısı transfer katsayısı (U) değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Derece / Gün bölgelerine göre tavsiye edilen maksimum U değerleri (URL-4)

BÖLGE	$U_{duvar}$	$U_{tavan}$	$U_{taban}$	$U_{pencere}$
DG1	0.7	0.45	0.7	2.4
DG2	0.6	0.4	0.6	2.4
DG3	0.5	0.3	0.45	2.4
DG4	0.4	0.25	0.4	2.4

## 2.2. Hesap Yöntemi

TS 825 standartlarında verilen toplam ısı transfer katsayısı, yapı elemanından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabı, doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabı ve yıllık

ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı denklemleri aşağıda sunulmuştur. Aşağıda sunulan denklemler ışığında hesaplanan veriler bulgular başlığı altında verilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışma ve sonuç başlığında irdelenmiştir.

### Toplam Isı Transfer Katsayısı Hesaplama

Bir odanın iletim ve taşınım ile ısı kaybı;

$$Q_0 = \sum UA(T_{iç} - T_{dış}) \quad (1)$$

biçiminde hesaplanabilir. Burada; U: yapı bileşenlerinin toplam ısı geçiş katsayısı ( $W/m^2K$ ), A: Yapı yüzeylerinin alanı ( $m^2$ ),  $T_{iç}$  ve  $T_{dış}$ : İç ve dış ortam sıcaklıklarıdır ( $^{\circ}C$ ).

a) Toplam ısı geçiş katsayısı (U)

$$R'_{top} = R'_{iç} + \sum R'_{ilet} + R'_{dış} \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{R'_{top}} \quad (3)$$

$$Q = UA_d(T_{iç} - T_{dış}) \quad (4)$$

### Yapı Elemanından İletim Yolu ile gerçekleşen Isı Kaybı Hesaplama

$$H = H_T + H_V \quad (5)$$

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (6)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (7)$$

### Doğal Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesaplanması

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V' \quad (8)$$

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V' = \rho \cdot c \cdot n_h V_h = 0.33 n_h V_h \quad (9)$$

### Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması

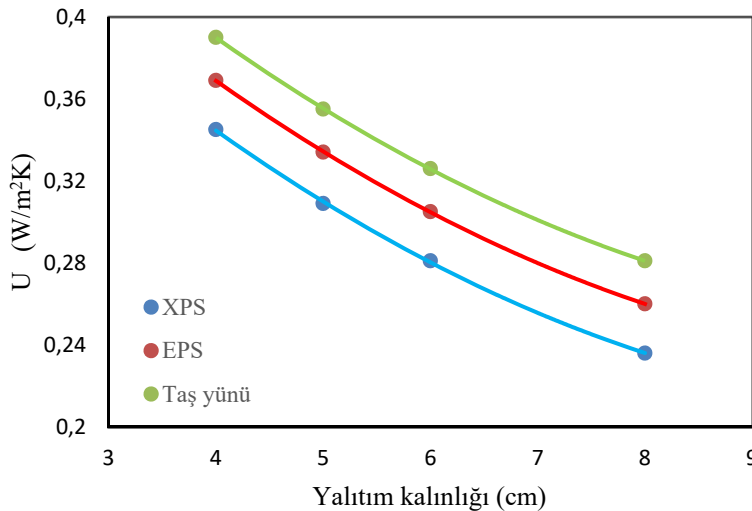
$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (10)$$

$$Q_{ay} = \left[ \underbrace{H(\theta_i - \theta_e)}_{\text{Isı kayıpları}} - \underbrace{\eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})}_{\text{Isı kazançları}} \right] \cdot t \quad (11)$$

### 3. Bulgular

Yalıtım, binalarda enerji tasarrufu için en etkili yollardan biridir. Bu çalışmada TS 825 standartları kapsamında karşılaştırmalı olarak yalıtımsız, kısmi yalıtımlı ve tam yalıtımlı durumlar için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. Bulgular, incelenen yalıtım malzemeleri ve yalıtım kalınlıklarına göre toplam ısı transfer katsayısı, yıllık enerji ihtiyacı ve yüzde ısıl iyileşme grafikleri halinde sunulmuştur.

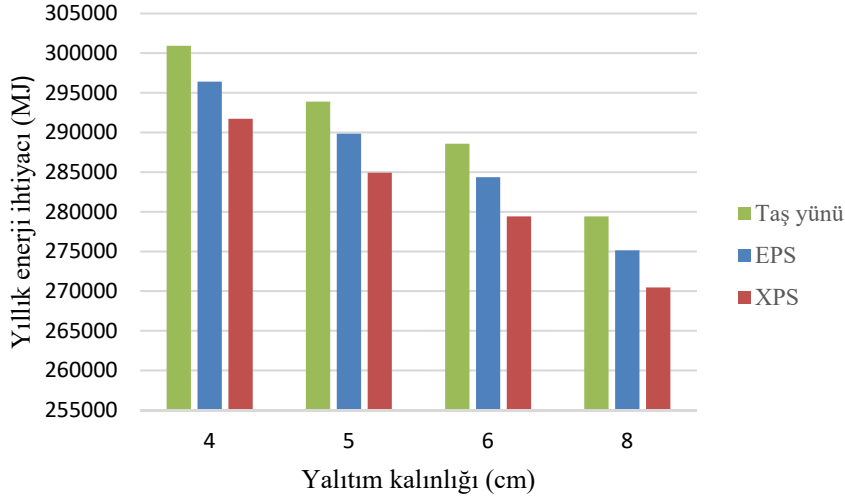
Şekil 10'dan da anlaşılacağı üzere hesaplamalarda kullanılan bütün yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığının artışı ile dış hava ile temas halinde olan duvar için toplam ısı transfer katsayısı azalmıştır. 4. Derece gün bölgesinde bulunan bir il için tavsiye edilen maksimum ısı transfer katsayısı değeri (duvar için) 0.4 W/m<sup>2</sup>K olarak verilmiştir (Tablo 6). Hesaplamalar sonucunda tercih edilen her malzemenin ve malzeme kalınlığının bu kriteri sağladığı görülmüştür. Yalıtım kalınlığının artması ile U değeri düşmüş, dolayısıyla daha iyi bir yalıtım sağlanmıştır.



Şekil 10. Dış havaya açık duvarın farklı malzemeler ve kalınlıklar için U değerleri (W/m<sup>2</sup>K)

Şekil 11'den de anlaşılacağı üzere yalıtım kalınlığının artışı ile yıllık enerji ihtiyacı azalmaktadır. Çalışmada incelenen malzemelerden aynı yalıtım kalınlığında en az yıllık enerji ihtiyacı XPS için tespit edilmiştir. Aşağıda verilen grafikte hesaplanan yalıtım malzemesi kalınlıkları her bir malzemenin ilgili kalınlıkta yaygın kullanımı ve piyasada bulunabilirliği de düşünülerek tercih edilmiştir. Örnek olarak seçilen mimari yapının duvar kesitinde kullanılan yapı elemanlarının değişmesi

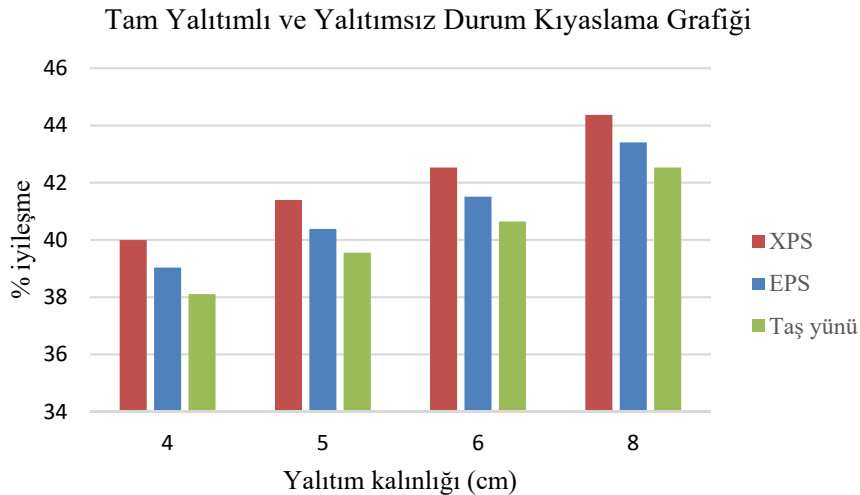
ile yıllık enerji ihtiyacının da değişeceği unutulmamalıdır. Yapılan bu örneklem dikkate alınarak aşağıda MJ cinsinden verilen yıllık enerji miktarı herhangi bir yakıt cinsinin ısı değerine bölünerek yıllık yakıt miktarı hesaplanabilir ya da farklı kalınlıklardaki her bir malzemenin birim fiyatları üzerinden geri ödeme süreleri hesaplanabilir. Elde edilen bu veri seti benzer bir çalışma yapmak isteyen araştırmacılar için yol gösterici olacaktır.



Şekil 11. Yalıtımlı durum için farklı yalıtım kalınlıkları ve farklı malzemelerin yıllık enerji ihtiyaçları

Şekil 12'de tam yalıtımlı ve yalıtımsız durumu karşılaştırmak için iyileşme grafiği verilmiştir. Burada tam yalıtımlı olarak kastedilen durum binanın taban, tavan, dış hava ile temaslı duvar ve toprak ile temaslı duvarlarının tamamının TS 825 standartlarına göre yalıtıldığı durumu, yalıtımsız durum ise hiçbir yüzeyin yalıtılmadığı durumu

temsil etmektedir. Grafiğe göre aynı yalıtım kalınlığında yüzde iyileşme XPS için en yüksek değerdedir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla yüzde iyileşme miktarı da artmıştır. Tam yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarda farklı kriterler göz önünde bulundurularak sırasıyla %38 ile %44,5 arasında yüzde iyileşme sağlanmıştır.

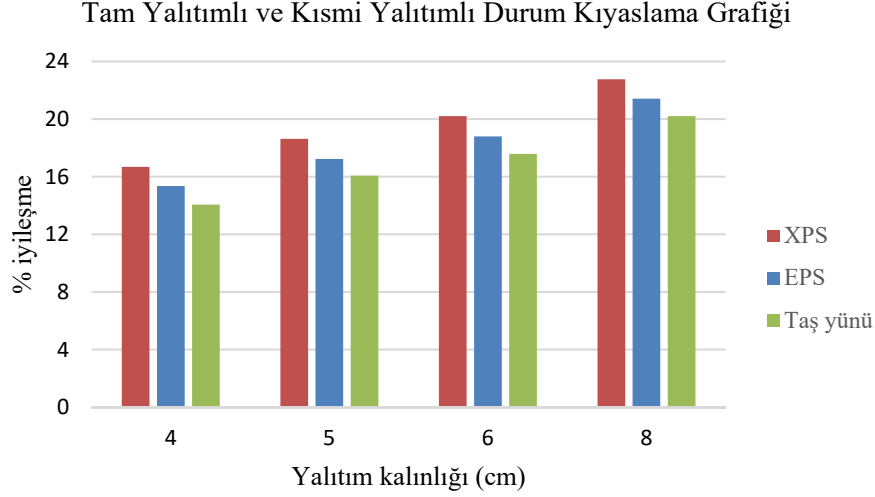


Şekil 12. Tam yalıtımlı durumun yalıtımsız durumla kıyaslanması



Şekil 13’de tam yalıtımlı ve kısmi yalıtımlı durum (taban ve tavan yalıtımlı durum) için iyileşme grafiği verilmiştir. Burada tam yalıtımlı olarak kast edilen durum binanın taban, tavan, dış hava ile temaslı duvar ve toprak ile temaslı duvarlarının tamamının TS 825 standartlarına göre yalıtıldığı

durumu, kısmi yalıtımlı durum ise taban ve toprağa temas eden duvarların yalıtımlı olduğu durumu temsil etmektedir. Bu iki durum kıyaslandığında farklı durumlar göz önünde bulundurularak %13 ile %23 arasında iyileşme sağlandığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 13.** Tam yalıtımlı durumun kısmi yalıtımlı durumla kıyaslanması

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Türkiye'nin enerji kaynaklarının sınırlı ve dışa bağımlı olmasından dolayı, özellikle enerji tüketiminin yoğun olduğu ve yüksek ısı kaybına maruz kalan konut sektörü özelinde ve özellikle kaybın nispeten daha fazla olduğu 4. bölgede enerjinin verimli kullanımı her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Enerji kaybı bütünsel etkileriyle birlikte değerlendirildiğinde ısı kaybına yönelik çözümlerden en önemlisi olan yalıtımla ilgili önerilerin, 2023 vizyonu enerji hedeflerini yakalamak için oldukça önemlidir. Bunun en etkili yolu ısıtma yükünü azaltmaktır. Bu çalışmada, Gümüşhane iklim şartları ve meteorolojik değerleri göz önünde bulundurularak farklı yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığının toplam ısı transfer katsayısına etkisi, farklı parametrelerin yalıtımsız ve kısmi yalıtımlı duruma (tavan ve taban yalıtımlı) göre iyileşme yüzdeleri kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Hesaplamalar ısı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneğinin (izoder) TS 825 standartları kapsamında oluşturdukları “İzoder TS 825 Hesap Programı” ile yapılmıştır. Mimarilerde kullanılan duvar elemanlarına göre uygulanması gereken yalıtım kalınlığının değişiklik gösterebileceğini belirterek, örnek

mimarinin duvar kesit özellikleri dikkate alındığında Gümüşhane ili için uygulanması gereken minimum yalıtım kalınlığının 4 cm olduğu hesaplanmıştır.

- Çalışmada incelenen malzemelerden aynı yalıtım kalınlığında en az yıllık enerji ihtiyacı XPS için tespit edilmiştir. Bu değerler kısmi yalıtımlı durum (taban ve tavan yalıtımlı durum) için artan yalıtım kalınlığı yönünde %16-22 aralığında hesaplanmıştır. Tam yalıtımlı durumla kıyaslandığında bu değerler yine XPS için %40-44 aralığında, EPS için % 39-43.4 aralığında ve taş yünü için % 38.1-42.5 aralığında elde edilmiştir. Bu değerler binada kullanılan yapı malzemelerine, binanın cephesine ve pencere alanlarına göre değişiklik gösterebilir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan malzemenin cinsinin değişimi ile yıllık enerji ihtiyacının değiştiği, tamamen yalıtımsız duruma kıyasla çatının yalıtılması %27.6 enerji tasarrufu, toprağa temas eden taban ve duvarların yalıtılması ile %16.9 enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanırken, dış ortama açık olan düşey duvarda ise kullanılan malzeme cinsine göre %10.5-% 17 arasında enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

- Kullanılan yakıtta, yalıtım malzemesine ve kalınlığına göre değişken olmasına rağmen, binalara uygulanan yalıtımların geri ödeme süreleri genellikle çok kısadır. Bu da ülkemizin enerji kaynakları konusundaki bağımlılığını azaltmaya katkıda bulunmaktadır. Bu durum hayati önem arz etmektedir.
- Grafiklerde verilen yıllık enerji ihtiyacı verileriyle farklı tip ısıtma kaynakları ile (kömür, odun, doğalgaz, elektrik vs.) ne kadar yakıt tüketilmesi gerektiği ya da farklı yalıtım malzemelerinin birim fiyatları dikkate alınarak geri ödeme sürelerine ilişkin çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmanın ilgi alanı içerisinde olmayan bu öneriler farklı çalışma gruplarının dikkatini çekebilir ve makalede sunulan veri seti kaynak olarak kullanılabilir.

## Kaynaklar

- Abd Alla, S., Bianco, V., Tagliafico, L.A. ve Scarpa, F., 2020. Life-Cycle Approach to The Estimation of Energy Efficiency Measures in The Buildings Sector. *Applied Energy*, 264, 114745.
- Altun, M. ve Akçamete, A., Application of TS 825 Turkish Thermal Insulation Standard Using BIM, International Civil Engineering Architecture Conference, April 2019, Trabzon, Türkiye, 314-323.
- Altun, M., Akgül, Ç.M. ve Akçamete, A., 2020. Kabuk Yalıtımının Bina Isıtma Enerjisi İhtiyacına, Maliyetine ve Karbon Ayak İzine Etkisinin Yaşam Döngüsü Bakış Açısıyla Değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 147-164 (in Turkish).
- Aydın, N. ve Bıyıkoglu, A., 2019. Türkiye’de Konut Tipi Binaların Isıtma Yükü Altında Ömür Maliyet Analizi Yöntemi ile Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 901-911 (in Turkish).
- Bademlioğlu, A.H., Canbolat, A.S. ve Kaynaklı, Ö., 2018. Bina Dış Duvarlarında Yoğuşma Dikkate Alınarak Gerekli Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi: Bitlis İli İçin Örnek Çalışma. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(3), 333-340 (in Turkish).
- Bolattürk, A., 2006. Determination of Optimum Insulation Thickness For Building Walls with Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26(11-12), 1301-1309.
- Çomaklı, K. ve Yüksel B., 2003. Optimum Insulation Thickness of External Walls For Energy Saving. *Applied Thermal Engineering*, 23(4), 473-479.
- Derradji, L., Imessad, K., Amara, M. ve Errebai, F. B., 2017. A Study on Residential Energy Requirement and The Effect of The Glazing on The Optimum Insulation Thickness. *Applied Thermal Engineering*, 112, 975-985.
- Dikmen, N., 2019. 1995 Depremi Sonrası Dinar’da Kurulmuş Olan Afet Konutlarının TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’na Uygunluğu Açısından İncelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(2), 50-59 (in Turkish).
- Dylewski, R. ve Adamczyk, J., 2016. Study On Ecological Cost-Effectiveness For The Thermal Insulation of Building External Vertical Walls in Poland. *Journal of Cleaner Production*, 133, 467-478.
- Fertelli, A., 2013. Determination of Optimum Insulation Thickness For Different Building Walls in Turkey. *Transactions of FAMENA*, 37(2), 103-113.
- İmal, M. ve Karayığit, S., 2014. Enerji Yönetmeliğine Göre Konutların Farklı Isı Yalıtım Malzemeleri ile Yalıtılmasının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 1-9 (in Turkish).
- Kotan, T., Fırat, İ., Kaya, M. ve Ulusu, İ., 2018. Binalarda Kullanılan Farklı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenlik Katsayılarının Erzincan İli Şartlarında Termokupl ve Termal Kamera ile İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2), 367-382 (in Turkish).
- Kurekci, N. A., 2016. Determination of Optimum Insulation Thickness For Building Walls By Using Heating and Cooling Degree-Day Values of All Turkey’s Provincial Centers. *Energy and Buildings*, 118, 197-213.
- Meral, Ö., 2019. Soğuk İklim Bölgesinde Farklı Dış Duvar Yapı Malzemelerinin Isıtma Yüküne Etkilerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 105-113 (In Turkish).
- Rosti, B., Omidvar, A. ve Monghasemi, N., 2020. Optimal Insulation Thickness of Common Classic and Modern Exterior Walls in Different Climate Zones of Iran. *Journal of Building Engineering*, 27, 100954.
- Şahin, B. ve Çarkacı, C., 2019. Gümüşhane İli Kamu Binalarındaki Isı Yalıtımı Uygulamalarının İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen*

- Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3), 526-535 (in Turkish).
- Uçar, A. ve Dumrul, M. U. ,2019. Bir Konutun Dış Duvarları İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti ve Enerji Tasarrufu Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 740-749 (in Turkish).
- URL-1, [www.Enerji.Gov.Tr/Tr-TR/Sayfalar/Elektrik](http://www.Enerji.Gov.Tr/Tr-TR/Sayfalar/Elektrik). 6 Nisan 2020.
- URL-2, <https://www.enerji.gov.tr>. 7 Nisan 2020.
- URL-3, [http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182\\_44\\_51.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182_44_51.pdf). 7 Nisan 2020.
- URL-4, [www.İzoder.Org.Tr/Sayfa/30/Ts-825-Hesap-Programi](http://www.İzoder.Org.Tr/Sayfa/30/Ts-825-Hesap-Programi). 8 Nisan 2020.
- Uzun, İ., 2020. Isıtılan Mekanlarda İç ve Dış Ortam Sıcaklıklarına Bağlı Mevsimsel Yoğuşma Analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(1), 292-299 (in Turkish).
- Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalıkuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş. ve Özgür, D., 2015. Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH) 487(4), 62-75 (in Turkish).
- Yüksek, İ. ve Sivacılar, S., 2017. Türkiye Şartlarında TS 825 Kapsamında Farklı Duvar Tiplerinin Isıl Etkinlikleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma. Politeknik Dergisi, 20(2), 291-302 (in Turkish).

## A Performance Comparison of Java Cache Memory Implementations

### *Java Ön Bellek Gerçekleştirmelerinin Bir Performans Karşılaştırması*

**Abdullah Talha KABAKUŞ\***

*Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce, Türkiye*

• Geliş tarihi / Received: 24.10.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 23.06.2020

#### **Abstract**

Nowadays the information systems are substantially data-intensive and the data is going to be more critical than before. For these systems, which are intolerant in terms of time latency, the way of accessing data becomes more critical. In these situations, an additional data layer named cache memory is used. There are various both open-source and commercial Java cache memory implementations based on the specifications defined by Java Community Process. In this study, the most widely used Java cache memory implementations are evaluated in order to compare their performances in terms of elapsed time and memory consumption. The experimental results imply that the architectural design of cache memory has a great effect on performance and there is no winner that provides the best performance for all data operations.

**Keywords:** Cache, Cache Memory, Caching, Data, Java

#### **Öz**

Günümüzde bilgi sistemleri ciddi miktarda veri ağırlıklıdır ve bu veri gitgide daha kritik hale gelmektedir. Bu tip veriye erişimde gecikmeye toleransı olmayan sistemlerde, veriye ulaşım yöntemi çok daha kritik hale gelmektedir. Bu tip durumlarda, ön bellek hafızası ismi verilen ek bir veri katmanı kullanılmaktadır. Java Community Process tarafından tanımlanan şartlara uyan gerek açık kaynak kodlu gerekse ticari çeşitli Java ön bellek gerçekleştirmeleri mevcuttur. Bu çalışmada, en çok kullanılan Java ön bellek gerçekleştirmeleri ihtiyaç duyduğu zaman ve bellek tüketim açısından performans karşılaştırması yapmak üzere değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar ön bellek mimari tasarımının performans üzerine ciddi etkisi olduğunu ve tüm veri işlemleri için en iyi performansı gösteren tek bir kazananın olmadığını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ön Bellek, Ön Bellek Hafızası, Ön Bellekleme, Veri, Java

\*Abdullah Talha KABAKUŞ; talhakabakus@duzce.edu.tr; Tel: (0380) 542 10 36; orcid.org/0000-0003-2181-4292

## 1. Introduction

With the investment of Web 2.0, the data generated by the online resources has increased enormously since Web 2.0 harnesses the Web in a more interactive, responsive and collaborative way, emphasizing peers' social interaction and collective intelligence, and presents new opportunities for leveraging the Web and engaging its users more effectively (Murugesan, 2007). As a result of this interaction, a huge amount of data is being generated daily by the Web 2.0 services such as social networks and financial markets (Jose et al., 2011). According to a recent report, while *Facebook* stores, accesses, and analyzes 30 + Petabytes of user-generated data with the increase of 100 terabytes of data uploaded daily, *YouTube* users upload 48 hours of new video every minute of the day (Mark Mulcahy, 2017). A requirement of the interaction between the browser and the end-user, which is introduced by Web 2.0, is processing the data quickly in order to provide lower latency response times (Carra and Michiardi, 2014). The traditional data-intensive information systems tend to use a database management system in order to store their data on persistent storage such as hard disks. The idea of using cache memories comes from that an additional layer, which stores the most frequently/recently used data on a memory area which is much faster than random access memory (RAM), could only improve the speed to access the data and bridge the performance gap between processor and RAM (Swain et al., 2018). For this reason, fetching data from cache plays an important role in increasing system performance (Akbari Bengar et al., 2020). Therefore, modern information systems, which are data-intensive in terms of their business model, tend to use cache memories alongside the persistent storage. In a similar fashion, processing in memory (PIM) has been used with in-memory computing for processing large data-intensive applications such as machine learning, graph processing, social network analysis, and image processing (Ahn et al., 2015; Chi et al., 2016; Fattahi et al., 2019; Martins et al., 2017; Nai et al., 2017). In addition to providing faster access to the data, cache memory also plays a critical role in power reduction (Panda et al., 2016). There exist various both open-source or commercial cache memory implementations. In this study, the most widely used Java cache memory implementations are evaluated in order to shed light on their performances in terms of both (1) the amount of memory used to complete data operations, and (2) the elapsed time to complete each operation. The

operations were determined as (1) querying the cache for entry of a given key, (2) adding a new entry into the cache, (3) removing an entry from the cache through the given key, and (4) getting whole available data from the cache. The rest of the paper is structured as follows: Section 2 introduces the cache memory implementations used in this study. Section 3 presents the experimental results and discussion. Finally, Section 4 concludes the paper by summarizing the findings with directions for future work.

## 2. Java Cache Implementations

*Java Specification Request (JSR)-107*, also referred to as *JCache*, is a specification that defines *javax.cache* API and semantics for temporary, in-memory caching of Java objects (URL-1, 2017). There are some both open-source and commercial implementations of *JSR-107*. These implementations use different eviction algorithms that are used when the cache is full in terms of storage and a new entry is needed to be inserted into the cache. In the following subsections, the most widely used Java cache memory implementations based on *JSR-107*, which are also used in this study, are briefly introduced.

### 2.1. EhCache

*Ehcache* is an open-source implementation of the *JSR-107*, which is reported to be the most used Java-based cache (URL-2, 2020). *Ehcache* uses the least recently used (LRU) algorithm to insert a new entry when the cache is full in terms of storage. While the LRU eviction algorithm removes the least recently used entities from the cache, the least frequently used (LFU) algorithm removes the least frequently used entities from the cache when the cache is full in terms of storage. The LRU algorithm assumes the cache line, which is used least in the recent past, is used in the near future with the least probability (Yeung and Ng, 1997).

### 2.2. Guava

*Guava* is the Java cache implementation provided by *Google*. Similar to *Ehcache*, *Guava* also uses LRU as the eviction algorithm. *Guava* provides various collection types, a graph library, functional types, APIs for concurrency, input/output, hashing alongside in-memory cache (URL-3, 2020).

### 2.3. Cache2K

*Cache2K* is a high-performance Java cache that serves inside Java virtual machine (JVM). *Cache2K* uses a modern eviction algorithm, that utilizes both the recency and frequency aspects, which is also referred to as Least Recently Frequently Used (LRFU) (Alghazo et al., 2004). The LRFU algorithm associates each block in the cache with a value called Combined Recency and Frequency (CRF) which is used to exploit temporal locality and reference popularity (Bahn and Noh, 2003). Then it replaces the block in the cache with the minimum CRF value (Donghee Lee et al., 2001; Hennessy and Patterson, 1998; Jinhuk Yoon et al., 2002; Lee et al., 1999; Wang et al., 2002; Wong and Baer, 2000). According to the various performance experiments, *Cache2K* is reported as one of the fastest caches available for Java (URL-4, 2020). *Cache2K* utilizes the LFU eviction algorithm, which uses the history of accesses to predict the probability of a subsequent reference (Yeung and Ng, 1997) alongside the LRU eviction algorithm.

### 2.4. Memcached

*Memcached* is an open-source, high-performance, distributed memory object cache. Similar to *Ehcache* and *Guava*, *Memcached* uses LRU as the eviction algorithm. *Memcached* is commonly used to speed up dynamic web applications by alleviating the database load (Fitzpatrick, 2004). *Facebook* is one of the most popular users of *Memcached* as it was reported in 2008 that *Facebook* had 800 *Memcached* servers with up to 28 Terabytes of data in their cache (Hoff, 2009). One of the biggest advantages of *Memcached* is that it is platform-independent and scalable since

the clients connect to the cache via sockets (Petrovič, 2008). Thanks to this architectural design, *Memcached* is able to combine the performance of message-passing systems and the simplicity of distributed shared memory.

### 2.5. Ignite

*Ignite* is the in-memory computing platform provided by *Apache* which is durable, strongly consistent, and highly available. *Ignite* uses both LRU and FIFO (First In, First Out) as the eviction algorithms. Despite serving from the memory, *Ignite* contains some differences from NoSQL (Not Only SQL) databases such as (1) *Ignite* supports SQL (Structured Query Language), (2) *Ignite* supports collocated processing, and (3) *Ignite* provides strong consistency while NoSQL databases provide eventual consistency (URL-5, 2020).

### 2.6. Hazelcast

*Hazelcast* is an open-source, in-memory distributed data grid based on Java. *Hazelcast* should not be considered as purely a cache as it supports a number of distributed collections and features such as specialized collections, concurrency utilities, and listeners (Johns, 2015). *Hazelcast* can be configured to use both LRU and LFU as the eviction algorithm.

While *Cache2K*, *Ehcache*, *Guava*, and *Ignite* directly service from the source code, *Hazelcast*, and *Memcached* require an external process running on the operating system. The comparison of Java cache memory implementations which are introduced above is listed in Table 1.

**Table 1.** The comparison of Java cache memory implementations

Cache Memory	Eviction Algorithm	Supports Distributed Architecture?	Directly Service from Source Code
<i>Cache2K</i>	LRU, LFU	No	Yes
<i>Ehcache</i>	LRU	Yes	Yes
<i>Memcached</i>	LRU	Yes	No
<i>Guava</i>	LRU	No	Yes
<i>Ignite</i>	LRU, FIFO	Yes	Yes
<i>Hazelcast</i>	LRU, LFU	Yes	No

## 3. Experimental Results and Discussion

In order to reveal the performance of cache memories, each implementation was evaluated with four different experiments: (1) Querying the

cache for an entity through a given key, (2) inserting a new entry into the cache, (3) deleting an existing entry through a given key, and (4) getting the whole entries available in the cache. The whole experiments were carried out on the



same machine whose hardware and software details are listed in Table 2. The elapsed times to complete experiments were calculated by determining the time interval by retrieving the current time through the *java.lang.System.nanoTime* method, which returns the current time in the most precise way (in nanoseconds) just before and after each experiment. All cache memories were run in the single-node mode (*a.k.a.* standalone) since not all cache memories support the distributed architecture. Therefore, the effect of the distributed architecture on the performance of cache memory is out of the scope of this study. *The Stack Exchange Data Dump* (URL-6, 2009) was downloaded for the sake of performance

comparison of cache memories. Before conducting each designed experiment, the data, which is stored in an XML file, was read and stored in Java collections (e.g., *Maps*). Then, each designed experiment was conducted to reveal the performances of the cache memories for the different data operations. It is worth to mention that all experiments were run for 5 times and the average performance was regarded as the final performance of each cache memory in order to ensure that any other running processes on the CPU has not affected the performance. The block diagram of the proposed approach is presented in Fig. 1.

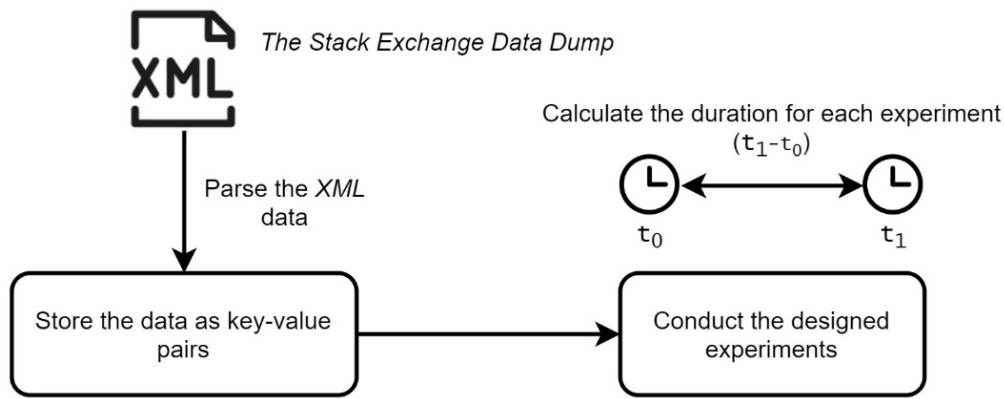


Figure 1. The block diagram of the proposed approach

Table 2. The hardware and software details of the machine which the experiments were carried out on

<b>Operating System</b>	Ubuntu 14.04 (64-bit)
<b>CPU</b>	Intel Core i7-4710MQ 4-Cores; 6 MB L3; 2.50 GHz>3.50 GHz
<b>Memory</b>	16 GB DDR3
<b>Disk</b>	7200 RPM SATA-3
<b>Java Virtual Machine</b>	Oracle Java 1.8.0 121

3.1. Experiment #1 – Querying for an entity through a given key

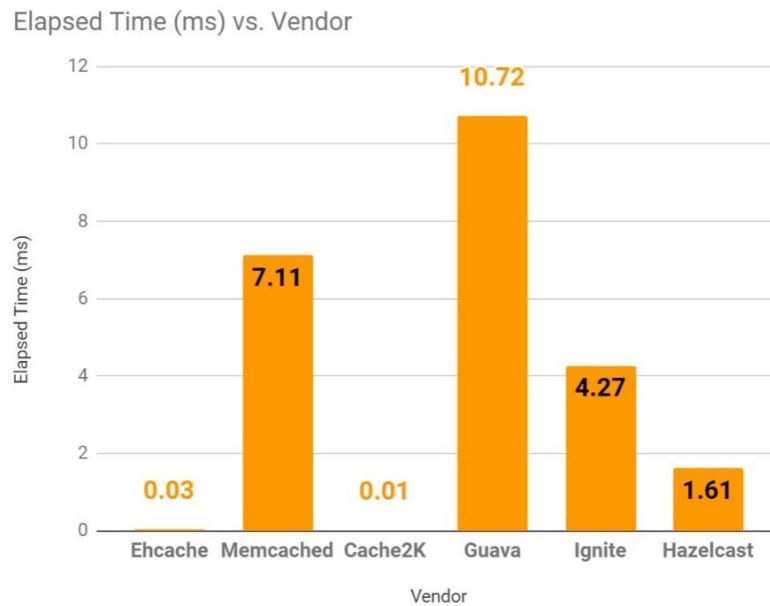
In order to compare the required time to retrieve an entity, all caches were queried for the same entity through a given key. Before evaluating this experiment, the whole data (see Section 3.2 for more detail) was inserted into the cache memories. For the sake of this experiment, a *user* was queried through his/her *Id*, which was randomly chosen from the available set of keys. As the experimental result is presented in Fig. 2, *Cache2K* and *Ehcache* provided the best performance in terms of the elapsed time. *Guava* was found as the worst cache memory as it was able to complete the query 1,000 times fold later than *Cache2K* and *Ehcache*.

3.2. Experiment #2 – Inserting bulk data into the caches

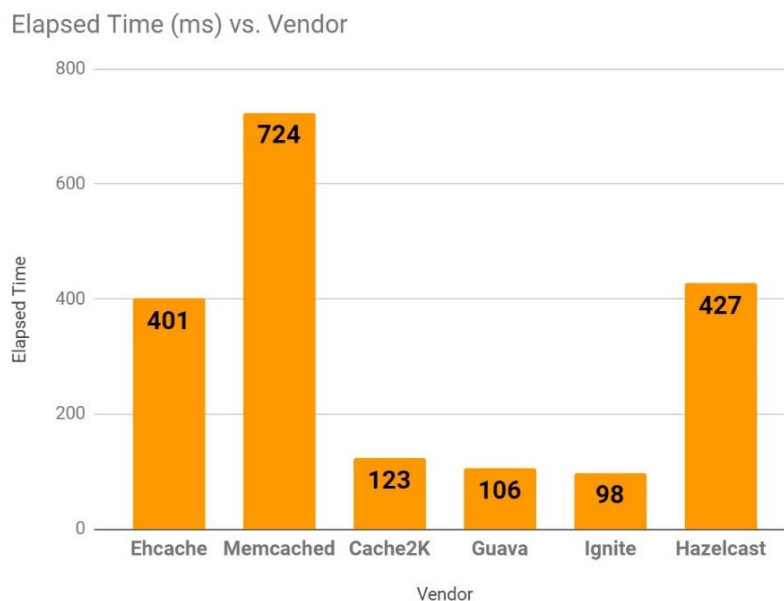
*The Stack Exchange Data Dump* contains several XML files that represent the data of the *Stack Exchange* platform and the part related to “users”, which contains 86,110 *users*, was stored in the caches. The size of the dump is 1.15 GB and it contains the profile data of the *users* of *Stack Exchange*. The attributes of *users* are *Id*, *Reputation*, *CreationDate*, *DisplayName*, *LastAccessDate*, *WebsiteUrl*, *Location*, *Age*, *AboutMe*, *Views*, *UpVotes*, and *DownVotes*. For the sake of experiments, the *Id*, and *DisplayName* attributes of each *user* were stored as “key-value” pairs in the cache memories. This operation is also known as the “put all”

operation. As the experimental result is presented in Fig. 3, *Ignite*, *Guava*, and *Cache2K* provided quite better performance in terms of elapsed time

to insert the bulk data compared to other caches. *Memcached* was found as the slowest cache memory in terms of writing data.



**Figure 2.** The elapsed times to query the cache through the provided key



**Figure 3.** The elapsed times to insert entries into the caches

**3.3. Experiment #3 – Deleting an entry from the cache through the given key**

In order to compare the entity deletion performances of caches, the same entry was deleted from each cache through its key, which was the *Id* of the *user*. Similar to *Experiment #1*, the key was randomly chosen from the available set of keys. As the experimental result is presented in Fig. 4, *Cache2K* and *Guava* provided quite better performance in terms of elapsed time

compared to the other caches. *Ignite* was found as the slowest cache memory in terms of elapsed time to delete an entry.

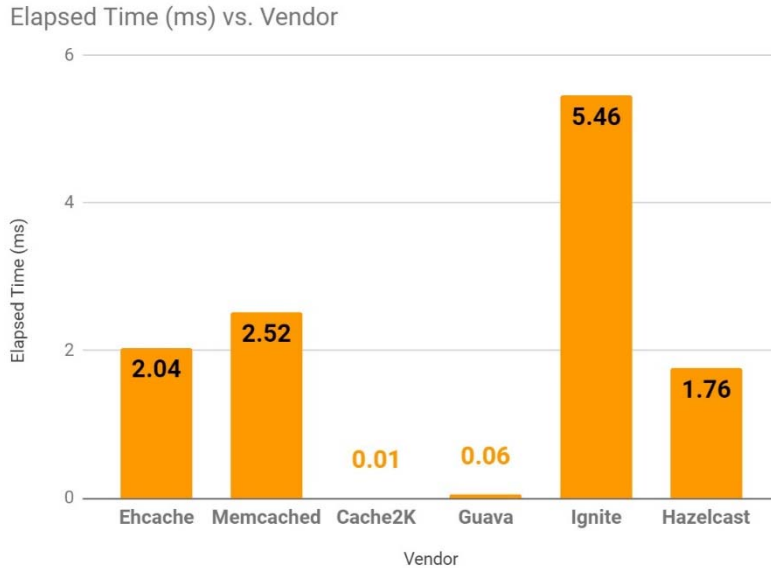
**3.4. Experiment #4 – Get the whole data from the cache**

Despite each cache contains the same data which was the previously inserted 86,110 entries, the elapsed times to get the whole data were calculated quite unusual as the experimental result

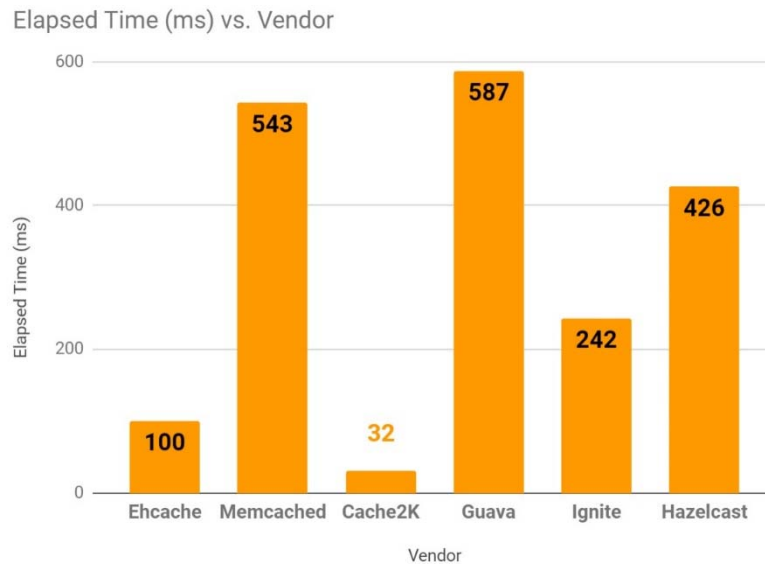
is presented in Fig. 5. *Cache2K* was found as the fastest cache memory in terms of reading bulk data from the cache.

The other aspect of the performance evaluation is the memory consumption of each cache memory implementation while storing or manipulating the data. Since all caches stored the same data, the amount of memory each cache consumes can be

used to compare the memory usage of caches. The consumed memory was monitored using an open-source tool, namely, *VisualVM* (Sedlacek and Hurka, 2020). As the memory consumptions of the caches are presented in Fig. 6, *Guava* and *Cache2K* were found as the two most efficient cache memories in terms of memory consumption.



**Figure 4.** The elapsed times to delete an entry from the cache through the given key



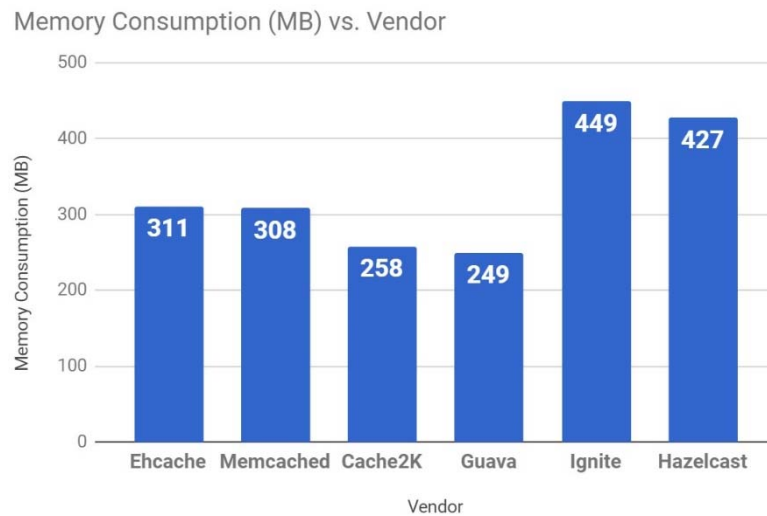
**Figure 5.** The elapsed times to get all the data available in caches

When all experimental results are reviewed, it is safe to make a conclusion like that *Cache2K* and *Guava* provide the best overall performance in terms of elapsed times to complete operations. The performance differences between the cache memories became more evident when the number of entries that are going to be operated was increased. A limitation of *Memcached* is that it

does not provide any methods to get the whole available data. For this operation, the whole data of the cache was retrieved through a loop, which means extra operations that eventually extend the duration of the operation. This limitation could be one of the reasons for *Memcached* for being much slower than most of the cache memories while reading the whole data in the cache. The

limitation of *Cache2K* and *Guava* is that they do not support service in a distributed architecture which could be necessary when the stored data is huge and intolerant in terms of loss. *Guava* and *Cache2K* provided better performance when it

comes to efficient memory management. *Ignite* was found as the worst cache memory by consuming 1.8 times more memory than *Guava*.



**Figure 6.** The memory consumptions of cache memories (in MB) to store 86,110 entries

#### 4. Conclusion

Cache memories are commonly used within the data-intensive systems in order to accelerate the speed of the queried data. In this study, several experiments were evaluated in order to reveal their performances in terms of elapsed time to complete each experiment and memory consumption since there are various cache memory implementations. According to the experimental results, the architecture of the cache memory has a great effect on the performance. Additionally, as the experimental result proved, there is no clear winner among the Java cache implementations when it comes to performance. A hybrid of Java cache memories may be used in order to provide the best performance through the different data operations. According to the experimental results, supporting distributed caching comes with an overhead in elapsed time. As future work, the cache memory implementations which are able to service in distributed mode may be evaluated in order to reveal the effect of the data distribution and the distribution strategy on the performance. Also, the architectural design of each evaluated cache memory is needed to be inspected in detail in order to reason the differences between the experimental results. Finally, the cache memories can be evaluated with different eviction scenarios to reveal the performances of cache memories for specific scenarios.

#### References

- Ahn, J., Yoo, S., Mutlu, O., and Choi, K. (2015). PIM-Enabled Instructions: A Low-Overhead, Locality-Aware Processing-in-Memory Architecture. *Proceedings of the 2015 ACM/IEEE 42nd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA 2015)*, 336–348. <https://doi.org/10.1145/2749469.2750385>
- Akbari Bengar, D., Ebrahimejad, A., Motameni, H., and Golsorkhtabaramiri, M. (2020). A Page Replacement Algorithm based on a Fuzzy Approach to Improve Cache Memory Performance. *Soft Computing*, 24, 955–963. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04624-w>
- Alghazo, J., Akaaboune, A., and Botros, N. (2004). SF-LRU Cache Replacement Algorithm. *Records of the IEEE International Workshop on Memory Technology, Design and Testing*, 19–24. <https://doi.org/10.1109/MTDT.2004.1327979>
- Bahn, H., and Noh, S. H. (2003). Characterization of Web Reference Behavior Revisited: Evidence for Dichotomized Cache Management. *Information Networking, Networking Technologies for Enhanced Internet Services International Conference 2003 (ICONN 2003)*, 1018–1027. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-45235-5\\_100](https://doi.org/10.1007/978-3-540-45235-5_100)
- Carra, D., and Michiardi, P. (2014). Memory Partitioning in Memcached: An Experimental Performance Analysis. *2014 IEEE International*

- Conference on Communications (ICC 2014), 1154–1159.  
<https://doi.org/10.1109/ICC.2014.6883477>
- Chi, P., Li, S., Xu, C., Zhang, T., Zhao, J., Liu, Y., Wang, Y., and Xie, Y. (2016). PRIME: A Novel Processing-In-Memory Architecture for Neural Network Computation in ReRAM-Based Main Memory. Proceedings of the 2016 43rd International Symposium on Computer Architecture (ISCA 2016), 27–39.  
<https://doi.org/10.1109/ISCA.2016.13>
- Donghee Lee, Jongmoo Choi, Jong-Hun Kim, Noh, S. H., Sang Lyul Min, Yookun Cho, and Chong Sang Kim. (2001). LRFU: A Spectrum of Policies that Subsumes the Least Recently Used and Least Frequently Used Policies. IEEE Transactions on Computers, 50(12), 1352–1361.  
<https://doi.org/10.1109/TC.2001.970573>
- Fattahi, S., Yazdani, R., and Vahidipour, S. M. (2019). Discovery of Society Structure in a Social Network Using Distributed Cache Memory. Proceedings of the 2019 5th International Conference on Web Research (ICWR 2019), 264–269.  
<https://doi.org/10.1109/ICWR.2019.8765289>
- Fitzpatrick, B. (2004). Distributed Caching with Memcached. Linux Journal, 2004(124), 5.
- Hennessy, J. L., and Patterson, D. A. (1998). Computer Organization & Design, The Hardware/Software Interface. Morgan Kaufmann Publishers.
- Hoff, T. (2009). Facebook’s Memcached Multiget Hole: More Machines != More Capacity. High Scalability.  
<http://highscalability.com/blog/2009/10/26/facebook-memcached-multiget-hole-more-machines-more-capacity.html>
- Jinhyuk Yoon, Sang Lyul Min, and Yookun Cho. (2002). Buffer Cache Management: Predicting the Future from the Past. Proceedings International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks 2002 (I-SPAN’02), 105–110.  
<https://doi.org/10.1109/ISPAN.2002.1004268>
- Johns, M. (2015). Getting Started with Hazelcast (2nd ed.). Packt Publishing.
- Jose, J., Subramoni, H., Luo, M., Zhang, M., Huang, J., Wasi-Ur-Rahman, M., Islam, N. S., Ouyang, X., Wang, H., Sur, S., and Panda, D. K. (2011). Memcached Design on High Performance RDMA Capable Interconnects. Proceedings of the 2011 International Conference on Parallel Processing (ICPP ’11), 743–752.  
<https://doi.org/10.1109/ICPP.2011.37>
- Lee, D., Choi, J., Kim, J.-H., Noh, S. H., Min, S. L., Cho, Y., and Kim, C. S. (1999). On the Existence of a Spectrum of Policies that Subsumes the Least Recently Used (LRU) and Least Frequently Used (LFU) Policies. Proceedings of the 1999 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS ’99), 134–143.  
<https://doi.org/10.1145/301453.301487>
- Mark Mulcahy. (2017). Big Data - Interesting Statistics, Facts & Figures.  
<https://www.waterfordtechnologies.com/big-data-interesting-facts/>
- Martins, A., Penny, W., Weber, M., Palomino, D., Mattos, J., Porto, M., Agostini, L., and Zatt, B. (2017). Cache Memory Energy Efficiency Exploration for the HEVC Motion Estimation. Proceedings of the 2017 VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC).  
<https://doi.org/10.1109/SBESC.2017.11>
- Murugesan, S. (2007). Understanding Web 2.0. IT Professional, 9(4), 34–41.  
<https://doi.org/10.1109/MITP.2007.78>
- Nai, L., Hadidi, R., Sim, J., Kim, H., Kumar, P., and Kim, H. (2017). GraphPIM: Enabling Instruction-Level PIM Offloading in Graph Computing Frameworks. Proceedings of the 2017 International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA 2017), 457–468.  
<https://doi.org/10.1109/HPCA.2017.54>
- Panda, P., Patil, G., and Raveendran, B. (2016). A Survey on Replacement Strategies in Cache Memory for Embedded Systems. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER 2016), 12–17.  
<https://doi.org/10.1109/DISCOVER.2016.7806218>
- Petrovič, J. (2008). Using Memcached for Data Distribution in Industrial Environment. 3rd International Conference on Systems (ICONS 2008), 368–372.  
<https://doi.org/10.1109/ICONS.2008.51>
- Sedlacek, J., and Hurka, T. (2020). VisualVM.  
<http://visualvm.github.io>
- Swain, D., Marar, S., Motwani, N., Hiwarkar, V., and Valakunde, N. D. (2018). CWRP: An Efficient and Classical Weight Ranking Policy for Enhancing Cache Performance. Proceedings of the 2017 4th International Conference on Image Information Processing (ICIIP 2017), 394–399.  
<https://doi.org/10.1109/ICIIP.2017.8313747>

- URL-1, The Java Community Process(SM) Program - JSRs: Java Specification Requests - detail JSR# 107. (2017). Java Community Process. <https://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=107>
- URL-2, Ehcache. (2020). <http://www.ehcache.org>
- URL-3, Guava: Google Core Libraries for Java. (2020). Google. <https://github.com/google/guava>
- URL-4, Benchmarks. (2020). Cache2k. <https://cache2k.org/benchmarks.html>
- URL-5, Open Source In-Memory Computing Platform - Apache Ignite. (2020). Apache. <https://ignite.apache.org>
- URL-6, May 2009 Stack Exchange Data Dump. (2009). Stack Exchange. <https://archive.org/details/stackexchange-ea45080eab61ab465f647e6366f775bf25f69a61>
- Wang, Z., McKinley, K. S., Rosenberg, A. L., and Weems, C. C. (2002). Using the Compiler to Improve Cache Replacement Decisions. Proceedings of the 2002 International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT '02), 199.
- Wong, W. A., and Baer, J.-L. (2000). Modified LRU Policies for Improving Second-Level Cache Behavior. Proceedings Sixth International Symposium on High-Performance Computer Architecture. HPCA-6 (Cat. No.PR00550), 49–60. <https://doi.org/10.1109/HPCA.2000.824338>
- Yeung, K. H., and Ng, K. W. (1997). An Optimal Cache Replacement Algorithm for Internet Systems. Proceedings of 22nd Annual Conference on Local Computer Networks, 189–194. <https://doi.org/10.1109/LCN.1997.630987>



# Yazım Kuralları

## 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi'nin 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 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/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 öninceleme aşamasında dergi konu ve kapsamına uygunluğu, bilimsel nitelik açısından uygunluğu ile ilgili görüşün alınması için alan editörüne yönlendirilir. Bu aşamada hakem değerlendirmesine gönderilmesinin uygun olup olmayacağı hususunda alan editörünün görüşü alınır. Daha sonra uygun görülen çalışmalar ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30 dan az olmalı ve 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 yayımlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayımlar 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 alan editörüne yönlendirilir. Alan 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. Düzeltme 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 alan 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 yayımlanan 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. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.**

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayımlanmış 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 “sürekli” 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 0nk olmalı ve satır aralık değeri tek (1) olarak yazılmalıdır. Noktalama işaretlerinden (nokta, virgül, noktalı virgül 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 virgül 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 virgül 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 virgül 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 “**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, **değınilen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hızasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır). Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hızasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

**Metin içerisindeki atıflar aşağıda verilen yönergelere göre oluşturulmalıdır:**

Atıflar aşağıda gösterilen mavi renkte verilmelidir. İngilizce hazırlanan makalelerde “ve” yerine “and”, “vd.” yerine “et al.” kullanılmalıdır.

Cümle içerisinde atıf verilen yazar ismine değınildiğı 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 ...”

Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değınılmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. “Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”.

Birden çok atf verilmiş ise iki atf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır. , “Doğu Pontidler, Kuzey Zon ve Güney Zon olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

İki ve daha fazla atf 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).”

Aynı yazarın birden fazla eserine atf 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)...”

Metin içerisinde yazarı belli olmayan internet kaynaklarına atf yapılırken, büyük harflerle URL-sıra numarası (.), yıl şeklinde yazılmalıdır. Örneğin: (URL-4, 2003), (URL 1 ve 2, 2003).

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, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vb.

#### **Kaynaklar listesi aşağıda verilen yönergelere göre oluşturulmalıdır:**

Eğer yazar yayını İngilizce dilinde hazırlamış ise kaynaklarda “ve” yerine “and” kullanılmalıdır.

#### **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.

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.

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.

Kaynak makalenin yayın dili İngilizceden farklı bir dilde verilmiş ise veya İngilizce çevirisi yazılmışsa, kaynağın sonuna parantez içerisinde orijinal dili verilmelidir.

Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize- Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Magmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontidler'deki Bölgesel Yayılımları. Geological Bulletin of Turkey, 35, 15-38 (in Turkish).

Sipahi, F., 2005. Mineralogy and Geochemistry of Hydrothermal Alterations in Zigana Mountain (Torul-Gümüşhane) Volcanics. PhD thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish with English Abstract).

Sipahi, F., 2017. Geochemistry and Petrogenesis of Kalınçam (Tonya-Trabzon, NE Turkey) Area Late Cretaceous Aged Volcanic Rock. Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute 7(2), 102-127 (in Turkish).

#### **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).

### **Kitaplar:**

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.

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 yayımları, 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.

### **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 Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

### **Raporlar:**

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., Devciler, 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.

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.

### **Editörlü Kitaplar:**

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: Erlar, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, 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. ve 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., Kaymakçı, 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.

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.

### **Bildiriler Kitabı:**

Sualtı Günleri-1999, Türkiye’de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, *Bildiriler Kitabı* (editörler: B. Akınoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

### **Bildiri Özeti:**

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.

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.

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.

### **Tam Metni Basılı Bildiriler:**

Hamarat, S., Ülkenli, H. ve Türe, G., 1998. Türkiye Kıyıları Aydınçık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, *Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı*, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

### **Aktüel Dergi ve Gazete Haberleri:**

Corliss, Richard, 1993. September 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).

### **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.Ipsl.jussieu.-fr/OCMIP>.

URL-1, [www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster](http://www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster). 05 Ağustos 2011.



- GÜNDOĞAN K, KÖKSAL ÖZTÜRK D;** Nanopartikül Takviyeli Polimer Matrisli r-PET Geri Dönüşüm İpliklerinin Mikroyapı, Termal, Mekanik ve Antistatik Özelliklerinin İncelenmesi / *Investigation of Microstructure, Thermal, Mechanical and Antistatic Properties of Nanoparticle Reinforced Polymer Matrix r-PET Fiber Yarns*.....526-534
- GÜZELÇOBAN MAYUK S;** Yeni Yapılacak Bina Temellerinde Gerekli Su Yalıtımı Önlemlerinin Belirlenmesi ve Denetimine Yönelik Bir Öneri / *A Proposal for the Determination and Control of the Required Waterproofing Measures in the Foundations of New Buildings*.....535-544
- ÇOLAK M;** OPTICast Yazılımı ile Döküm Endüstrisinde Kalıplama Tasarımı Optimizasyonu Uygulaması / *Application of Moulding Design Optimization in Casting Industry with OPTICast Software*.....545-551
- ÖZBEK Ö, KILIÇ A, BOZKURT Ö Y;** Development of Filament Winding Machine for Producing Round Shapes with Different Fiber Reinforcements / *Farklı Elyaf Takviyeleri ile İçi Oyuk Şekiller Üretmek İçin Elyaf Sarma Makinesi Geliştirilmesi*.....552-558
- KARS G, DEMİREL KARS M, OBALI İ, EMSEN A, GÜNDÜZ U;** Investigation of Antioxidant and Cytotoxic Effects of Biotechnologically Produced Carotenoids from *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001 / *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001'den Biyoteknolojik Olarak Üretilen Karotenoidlerin Antioksidan ve Sitotoksik Etkilerinin Araştırılması.....559-568
- ALEMDAĞ S, KANIK M;** Atık Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği / *Evaluation of Engineering Properties of Rock Masses in Waste Dam Site: The Example of Gumushane*.....569-580
- KURNAZ F S;** Some Regression Methods Based on Principal Components / *Temel Bileşenlere Dayalı Bazı Regresyon Yöntemleri*.....581-591
- UMAZ A, UMAZ K;** İki Farklı Lokasyona ait Altın Otu ( *Helichrysum arenarium* ) Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırılması / *Determination and Comparison of Volatile Compounds of Gold Grass (Helichrysum arenarium) from Two Different Locations*.....592-600
- GÖKTAŞ S;** Sınır Koşulunda Öz Parametre Bulduran Bir Sturm-Liouville Operatörü İçin Ters Nodal Problem / *Inverse Nodal Problem for A Sturm-Liouville Operator with Eigenparameter in the Boundary Condition*.....601-609
- EKŞİ O, YAVUZ N;** Kalıp Tasarımının Isıl Şekillendirilmiş Ambalajın Kalınlık Dağılımı Üzerine Etkisi / *The Effect of Plug Design on Thickness Distribution of Thermoformed Package*.....610-620
- TERZİOĞLU S, ERGÜL BOZKURT A;** The Weed Flora of Turkish Tea Plantations / *Türkiye'nin Çay Bahçelerindeki Yabancı Bitki Florası*.....621-630
- KAZAN S;** On the Characterizations of Convolution Manifolds Obtained by Helix Hypersurfaces / *Helis Hiperyüzeyleri Tarafından Elde Edilen Konvolüsyon Manifoldlarının Karakterizasyonları Üzerine*.....631-640
- ŞOLA ERDURAN F;** Sabit Fuzzy Nokta Teoremleri / *Fixed Fuzzy Point Theorems*.....641-650
- YENİAY KOÇER N, ÖZDEMİR Y A, GÖKPINAR F;** Sıralı Küme Örnekleme ile İki Yağın Ortalaması Farkı İçin Bootstrap Güven Aralıklarının İncelenmesi / *Examination of Bootstrap Confidence Intervals for The Difference Between Two Population Means with Ranked Set Sampling*.....651-661
- KOYUNCU M, TUNÇTÜRK Y;** Determination of Some Quality Parameters of White Cheeses Produced from Different Animal Milks During Storage / *Farklı Hayvan Sütlerinden Üretilen Beyaz Peynirlerin Depolama Süresince Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi*.....662-674
- TUNÇ M S, ÜNLÜ A;** Farklı Çamur Yaşlarında Anaerobik/Aerobik/Anoksik Ardaşık Kesikli Reaktörde Nutrient Giderimi / *Nutrient Removal in Anaerobic/Aerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactor at Different Sludge Ages*.....675-680
- ÜNLÜER D, ÜNVER Y, BEKTAŞ E, DİREKEL Ş, KARAMAN M, KARAMAN H S;** Synthesis, Biological Activities and Molecular Docking Studies of New Schiff Bases Derivatives / *Yeni Schiff Bazlı Bileşiklerin Sentezi, Biyolojik Aktivite ve Moleküler Docking Çalışmaları*.....681-694
- YALVAÇ S;** Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Kabuk Deformasyonu Belirleme Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması / *Investigating the Potential of Precise Point Positioning in Crustal Deformation Studies*.....695-701
- KONAKOĞLU B;** Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile Jeodezik Elipsoidal Koordinatların (  $\phi, \lambda, h$  ) 3 Boyutlu Global Kartezyen Koordinatlara ( X, Y, Z ) Dönüşümü / *Transformation of Geodetic Ellipsoidal Coordinates (  $\phi, \lambda, h$  ) to 3 Dimensional Global Cartesian Coordinates ( X, Y, Z ) with Multi-layer Perceptron Artificial Neural Network*.....702-710

<b>SUPÇİLLER A A, BULAK M E</b> ; Mobil Uygulamaların Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi / <i>Performance Evaluation of Mobile Applications with Data Envelopment Analysis</i> .....	<b>711-723</b>
<b>KOMUT O, SANTO S</b> ; Change of Income from Forest Products based on Geographical Location of Enterprises and some Marketing Variables / <i>Orman Ürünlerinden Sağlanan Gelirlerin İşletmelerin Coğrafi Konumu ve Bazı Pazar Değişkenlerine Göre Değişimi</i> .....	<b>724-732</b>
<b>KARABEY A, ÖZKAN Y, SAYINCI B, YEŞİLDAL F</b> ; Pestisit Uygulamaları İçin Optimize Edilmiş Koşullarda Sprey Karakteristiklerinin Belirlenmesi / <i>Determination of Spray Characteristics in Optimized Conditions for Pesticide Applications</i> .....	<b>733-741</b>
<b>CIHAN Ö, JAVADZADEHKALKHORAN M, KUTLAR O A</b> ; Improvement of the Electronic Control Unit for Ignition and Injection in a Wankel Engine / <i>Bir Wankel Motorda Ateşleme ve Püskürtme Üniteleri İçin Elektronik Kontrol Ünitesinin Geliştirilmesi</i> .....	<b>742-751</b>
<b>ÇELİK TEN G, SÜREK E</b> ; Genelleştirilmiş Burgers–Fisher Denkleminin Açık Logaritmik Sonlu Fark Yöntemi ile Sayısal Çözümü / <i>Numerical Solution of the Generalized Burgers – Fisher Equation with Explicit Logarithmic Finite Difference Method</i> .....	<b>752-761</b>
<b>KARAKAYA H, ÖZTÜRK F S, YILMAZTEKİN M</b> ; Taze ve Olgunlaştırılmış Taşköprü Sarımsağından ( <i>Allium sativum</i> L.) Farklı Çözücüler Kullanılarak Elde Edilen Ekstraktların Antimikrobiyal Aktivitelerinin Karşılaştırılması / <i>Comparison of Antimicrobial Activities of Taşköprü Raw and Aged Garlic (Allium sativum L.) Extracts Obtained by Using Different Solvents</i> .....	<b>762-770</b>
<b>ES H A</b> ; Gri Tahmin Modelleri ile Toplam Enerji Talep Tahmini: Türkiye Örneği / <i>Forecasting Total Energy Demand with Grey Prediction Models: The Case of Turkey</i> .....	<b>771-782</b>
<b>ŞENEL M C</b> ; Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen Saf Al ve Al-B <sub>4</sub> C, Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Karşılaştırılması / <i>Comparison of Mechanical and Microstructure Properties of Al-B<sub>4</sub>C and Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Fabricated by Powder Metallurgy Method</i> .....	<b>783-795</b>
<b>YANIKÖREN M, TEZGEL S, USANMAZ B, GÜNDOĞDU Ö</b> ; Taşıt Titreşimlerinin Sürücü Konforuna Etkisi: Yarım Araba ve Sürücü Modeli / <i>Effect of Vehicle Vibrations on the Driver Comfort: Half Car and Driver Model</i> .....	<b>796-803</b>
<b>BAYRAKTAR Ş, HEKİMOĞLU A P</b> ; Optimization of Thrust Force and Surface Roughness Using Response Surface Methodology (RSM) in Drilling of Al-30Zn Alloy / <i>Al-30Zn Alaşımının Delinmesinde Yüzey Cevap Metodu (YCM) Kullanarak İlerleme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu</i> .....	<b>804-813</b>
<b>GÜNGÖR N</b> ; BG-Volterra Integral Equations and Relationship with BG-Differential Equations / <i>BG-Volterra İntegral Denklemleri ve BG-Diferansiyel Denklemlerle İlişkisi</i> .....	<b>814-829</b>
<b>YEŞİLDAL F, GELİŞ K</b> ; Gümüşhane İklim Şartlarında Farklı Malzemeler İçin Yalıtım Kalınlıklarının TS 825 Kapsamında Değerlendirmesi / <i>Evaluation of Insulation Thicknesses For Different Materials Under Climatic Conditions of Gümüşhane Within the Scope TS 825</i> .....	<b>830-843</b>
<b>KABAKUŞ A T</b> ; A Performance Comparison of Java Cache Memory Implementations / <i>Java Ön Bellek Gerçekleştirmelerinin Bir Performans Karşılaştırması</i> .....	<b>844-852</b>