



# 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 : 2

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: 2 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 SİPAHİ*

*Doç. 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 / 04 / 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 Ashryalyev-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdon ATANGANA-Free State University  
Prof. Dr. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. 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 ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Candan GÖKÇEYOĞLU-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 Sütcü İmam Üni.  
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Şükri 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-Neveşehir 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-İğdır 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

Kemal HACİEFENDİOĞLU	<b>Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Trafik Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Tarihi Yapıların Stokastik Dinamik Analizi</b> <i>Stochastic Dynamic Analysis of Historical Structures subjected to Traffic-induced Ground Motion using Non-destructive Methods</i>	<b>298</b>
Meltem SAPLIOĞLU Abdullah Ridha FAISAL	<b>Sinyal Kontrollü ve Kontrolsüz Kesimlerde Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Davranışlarının Değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation of Parameters Affecting the Crossing Behavior of Pedestrians on the Main Arterials and Signalized Intersections</i>	<b>309</b>
Gülşen KILINÇ	<b>On A New Almost Convergent Sequence Space Defined By The Matrix <math>\Delta_u^\lambda</math></b> <i><math>\Delta_u^\lambda</math> Matrisi Yardımıyla Tanımlanan Yeni Bir Hemen Hemen Yakınsak Dizi Uzayı Üzerine</i>	<b>321</b>
Meltem TAN	<b>Yeni 2,5-Disubstitüe 1,3,4-Oksadiazol Bileşiklerinin Sentezi</b> <i>Synthesis Of Novel 2,5-Disubstitue 1,3,4-Oxadiazol Compounds</i>	<b>330</b>
Mustafa SÜRME Tamer YAVUZ Burak SÜRME Ali İMAMOĞLU	<b>Gümüşhane İli Meralarına Ait Vejetasyon ve Bazı Çevresel Özelliklerin Jeostatistiksel Analizi</b> <i>Geostatistical Analysis of Gümüşhane Grasslands According to Vegetation and Some Environmental Features</i>	<b>339</b>
Kübra ÇINAR DEMİR	<b>Elektrodepozisyon Yapılan ZnO İnce Filmlerinin Korozyon Davranışı</b> <i>Corrosion Behaviour of Electrodeposited ZnO Thin Films</i>	<b>355</b>
Selim KARAHAN	<b>En Az Beş Yıllık Olan Depolanmış Atık Ofis Kâğıtlarının Geri Dönüşüm Olanaklarının Araştırılması</b> <i>Investigation of Recycling Possibilities of Stacked Waste Office Paper for at Least Five Years</i>	<b>366</b>
Selim KARAHAN Arif KARADEMİR	<b>Lazer Baskılı Ofis Kâğıtları Üzerinde Yapılan Mürekkep Giderme İşleminin Süzüntü Suyu Üzerine Etkileri</b> <i>The Effects on Waste Water of Deinking Process Made on Laser Printed Office Papers</i>	<b>374</b>
Mustafa ÖZKAN İsmail Çağrı GÖRKEM	<b>Muğla Mermerinin Esnek Üstyapılı Yol Kaplamalarında Kullanımının Performansa Etkisinin Değerlendirilmesi, Suya Bağlı Bozulmalara Karşı Direncinin İncelenmesi</b> <i>Evaluation of the Effect on Performance of Muğla Marble Usage in Flexible Pavements, Investigation of the Resistance of Water Induced Damages</i>	<b>385</b>
Muharrem TAŞDEMİR Fatih ŞENASLAN Ayhan ÇELİK	<b>Ti45Nb Alaşımının Aşınma Davranışına Anodizasyon Potansiyelinin Etkisi</b> <i>The Effect of Anodization Potential on Wear Behaviour of Ti45Nb Alloy</i>	<b>395</b>
Mustafa Ergin ŞAHİN	<b>Energy Management and Measurement of Computer Controlled Solar House Model for Rize City</b> <i>Rize İli için Bilgisayar Kontrollü Güneş Evi Modelinin Enerji Yönetimi ve Ölçümü</i>	<b>404</b>
Ataç BAŞÇETİN Hasan EKER Deniz ADIGÜZEL Serkan TÜYLÜ	<b>Çimentolu Macun Dolgu Yönteminin Uygulanmasında Bazı Katkı Malzemelerinin Pozolanik Özelliklerinin Araştırılması</b> <i>Investigation of Pozzolanic Properties of Some Additive Materials in Cemented Paste Backfill</i>	<b>415</b>
Çiğdem BAKIR Mehmet GÜÇLÜ Veli HAKKOYMAZ Banu DİRİ	<b>Dağıtık Veritabanlarında Saldırı Önleme Metotları</b> <i>Intrusion Prevention Methods in Distributed Databases</i>	<b>425</b>
Yelda FIRAT	<b>Application of the Air Quality Forecasting Analysis Using NARX Models</b> <i>NARX Modellerini Kullanarak Hava Kalitesi Tahmin Analizinin Uygulanması</i>	<b>442</b>

Gülşad USLU ŞENEL Selin YILMAZ DURDU	<b>Organofosforlu Pestisidlerden Phosmet'in <i>Pseudomonas fluorescens</i> ile Biyodegradasyonunun Dolgulu Kolon Reaktörde Araştırılması</b> <i>Organophosphorus Pesticides Phosmet's Investigation of Biodegradation with Pseudomonas fluorescens in Filled Column Reactor</i>	<b>456</b>
Kemal KÖSEOĞLU Hakan CENGİZLER Lina İSRAEL İSRAİL	<b>Production of Wall Tiles Containing Ulexite Waste at Different Sintering Temperatures</b> <i>Üleksit Atığı İçeren Duvar Karolarının Farklı Sinterleşme Sıcaklıklarında Üretimi</i>	<b>463</b>
Murat GÜNEY Salih KAFKAS Gökçen YAKUPOĞLU M. Ali GÜNDEŞLİ	<b>Bağrıbtütün Kavununda Polimorfik Olan Bazı SSR Markörlerinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Some Polymorphic SSR Markers in Bağrıbtütün Melon</i>	<b>474</b>
Ömer SEÇGİN	<b>Torna Tezgâhı ile Delikli Flanş Üretiminde Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu</b> <i>Surface Roughness Optimization of Hole Flange Production with CNC Lathe</i>	<b>480</b>
Serap ÖZCAN	<b>Hermite-Hadamard Type Inequalities for Multiplicatively P-Functions</b> <i>Çarpımsal P-Fonksiyonlar İçin Hermite-Hadamard Tipli Eşitsizlikler</i>	<b>486</b>
Kübra Nur BEYLİ Murat YEŞİL	<b>Ordu Kenti Parklarının Yeterlik ve Ulaşılabilirliği Üzerine Bir Araştırma</b> <i>An Investigation of the Sufficiency and Accessibility of Parks in the City of Ordu</i>	<b>492</b>
Senem AKKOÇ	<b>HeLa ve Beas-2B Hücre Hatlarına Karşı Benzimidazolyum Tuzlarının in Vitro Sitotoksik Aktivite Çalışmaları</b> <i>In Vitro Cytotoxic Activity Studies of Benzimidazolium Salts against HeLa and Beas-2B Cell Lines</i>	<b>505</b>
Murat KARAHAN Hakan ERSOY Tuğçe ANILAN	<b>İtki Dalgalarının Oluşumunda Ölçek Etkisi, Hareket Süresi ve Çarpma Hızının Model Deneyler ve 3 Boyutlu Nümerik Simülasyonlarla Değerlendirilmesi</b> <i>Assessment of Scale Effect, Travel Time, Impact Velocity on Forming of Impulse Waves using Model Tests, 3D Numerical Simulations</i>	<b>514</b>

---

## Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Trafik Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Tarihi Yapıların Stokastik Dinamik Analizi

*Stochastic Dynamic Analysis of Historical Structures subjected to Traffic-induced Ground Motion using Non-destructive Methods*

**Kemal HACIEFENDİOĞLU\***

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon*

• Geliş tarihi / Received: 17.05.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 01.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 07.01.2020

### Öz

Bu çalışmada, trafik geçişleri sebebiyle zeminde meydana gelen yatay mikro titreşim yer hareketi etkisi altındaki tarihi bir yığma yapının stokastik dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, yerinde tahribatsız yöntemler uygulanarak yapıda kullanılan malzeme özelliklerini tespit edilmeye çalışılmıştır. Yerinde tahribatsız yöntem olarak ultrasonik hız testi uygulanmış ve taş duvar, tuğla kemer ve taş kolonlar için belirlenen noktalardan ölçümler alınmıştır. Yerinde yapılan ölçümler ile elde edilen veriler kullanılarak yapı analizlerinde kullanılan taş kolon, taş duvar ve tuğla kemer için malzeme özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada, yapının trafik etkisi altındaki stokastik dinamik analizlerinin elde edilmesi için trafik kaynaklı yer hareketi modeli elde edilmiştir. Stokastik dinamik analizler yapının hasarsız (çatlaksız) ve hasarlı (çatlaklı) halleri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çatlak, Stokastik Dinamik Analiz, Tahribatsız Test, Tarihi Yığma Yapı, Ultrasonik Hız Testi

### Abstract

*In this study, it is aimed to perform stochastic dynamic analysis of a historical masonry structure subjected to horizontal micro vibration ground motion occurring on the ground due to traffic transitions. For this purpose, non-destructive methods were applied to determine the material properties used in the historic building. Ultrasonic velocity test was applied as a non-destructive method and measurements were taken from the points determined for stone walls, brick arches and stone columns. The material properties of the stone columns, stone walls and brick arches used in the structural analyzes were determined by using the data obtained from the on-site measurements. In this study, to obtain the stochastic dynamic analysis of the structure under the influence of traffic, a traffic induced ground motion model was obtained. The stochastic dynamic analysis was performed for undamaged (non-cracked) and damaged (cracked) structure and the results were compared.*

**Keywords:** Crack, Stochastic Dynamic Analysis, Non-destructive Testing, Historical Masonry Structure, Ultrasonic Speed Test

\*Kemal HACIEFENDİOĞLU, kemalhaciefendioglu@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 2669, orcid.org/ 0000-0002-5791-8053

## 1. Giriş

Tarihi yapıların bir ülkenin tarihi mirası olması sebebiyle deprem, yerel titreşim, trafik, rüzgâr v.b. gibi dış yükler etkisi altındaki dinamik davranışlarının tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu yapıların dış yükler etkisi altındaki davranışlarının tahmin edilmesi amacıyla öncelikle malzeme özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Yapıda malzeme özelliklerinin tespiti, mümkünse tahribatsız yöntemlerle, bu mümkün olmazsa az tahribatlı yöntemlerle, bu da mümkün değilse tahribatlı deneyler yapılarak belirlenir. Yapı elemanları ve malzemelerinde yüzey sıcaklığı ve nemi, yüzey sertliği ve ultrases (hız) ölçümü gibi işlemlerde magnometri, infrared/termografi, georadar/radar tarama gibi tahribatsız deneyler uygulanmaktadır.

Tarihi yapıların yıllar boyu dış yükler etkisinde kalması sebebiyle, yapılan ölçüm ve analizler sonucunda genellikle onarım ve güçlendirme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Tarihi yığma yapıların tahribatsız ya da tahribatlı yöntemlerle incelenmesi amacıyla geçmişten günümüze kadar çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Betonarme yapılardaki betonun ya da tarihi yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan taşların mekanik özelliklerini belirlemek için, Ultrasonik testler (Moropoulou vd., 2003; Uyanık vd., 2011, 2012, 2013, 2019; Faella vd., 2012; Başaran vd., 2016; Vasanelli vd., 2016; Öziçer ve Uyanık, 2017, Sabbağ ve Uyanık, 2017, Zielińska ve Rucka, 2018; Mesquita vd., 2018), Schmidt testi (Başaran vd., 2016; Vasanelli vd., 2016; Öziçer and Uyanık, 2017), tek eksenli basınç ya da brazilian testleri (Başaran vd., 2016; Öziçer ve Uyanık, 2017; Sabbağ ve Uyanık, 2017; Uyanık vd., 2019) birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Ayrıca yapı malzemeleri içerisindeki kırık, boşluk ya da donatı gibi farklılıkları belirleyebilmek için yapı radar testleri (Faella vd., 2012) kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak yapı malzemesi içerisindeki nemliliği ya da korozyon durumu için elektrik özdirenç (Sabbağ ve Uyanık, 2018) yöntemi etkin bir biçimde uygulanmaktadır. Ultrasonik tomografi yönteminin tuğla kolonların iç yapısının rekonstrüksiyonunda etkili bir teknik olduğu görülmüştür. Sunulan yaklaşımda özellikle güçlendirilmiş uygulamaların teşhisinde ve donatı malzemelerinin tuğla yapılara uygunluğunun değerlendirilmesinde faydalı olduğu kanıtlanmıştır.

Trafik kaynaklı yer hareketleri sebebiyle oluşan yer titreşimleri mikro seviyelerde olmasına karşın bu yüklerin sürekli tekrarlanan ve yüksek

frekanslı bir yük olması sebebiyle tarihi yapılarda risk oluşturmaktadır (Kliukas vd., 2008). Tarihi yapıların yapımında kullanılan malzemelerin çekmeye karşı mukavemetleri çok yüksek olmaması sebebiyle yapılarda bu titreşimler altında zamanla harç sökülmesi, tuğla ya da blok ayrılmaları meydana gelebilmektedir. Bu gibi sebeplerle dayanımı zamanla azalabilen tarihi yapılar risk altında bulunmaktadır (Erkal, 2017). Tarihi yapıların trafik kaynaklı mikro-titreşim şeklindeki yer hareketi sebebiyle oluşan dinamik davranışları ile ilgili bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Crispino ve D'Apuzzo, 2001; Erkal vd., 2010; Bongiovanni vd., 2011; Ma vd., 2011; Erkal, 2017, 2018). Mikro-titreşim hissedilme eşiği genellikle 0.14-15 mm/s tane hızındadır. Bu çalışmaların amacı, tarihi yapının yakınında oluşan trafik kaynaklı titreşimlerin yapıya hasar verici nitelikte olup olmadığının araştırılması ve yapının korunmasına ihtiyaç duyulup duyulmadığıdır.

Bu çalışmada, trafik geçişleri sebebiyle zeminde meydana gelen yatay mikro titreşim yer hareketi etkisi altındaki tarihi yığma bir yapının (Samsun-İlkadım-Taşhan) stokastik dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla yerinde tahribatsız yöntemler uygulanarak yapıda kullanılan malzeme özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yerinde tahribatsız yöntem olarak ultrasonik hız testi uygulanmış ve taş duvar, tuğla kemer ve taş kolonlar için belirlenen noktalardan ölçümler alınmıştır. Yapının trafik etkisi altındaki stokastik dinamik analizlerinin elde edilmesi için trafik kaynaklı yer hareketi modeli elde edilmiştir. Stokastik dinamik analizler yapının hasarsız (çatlaksız) ve hasarlı (çatlaklı) halleri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. Yapı Bilgisi

### 2.1. Yapının Mevcut Durumu

1508 Yılında yapılan Taşhan kare planlı, iki katlı, avlulu olan Osmanlı dönemi şehir hanları plan özelliklerindedir. Dönem özelliklerini taşıyan, altta ahır ve servis mekânları, üstte yolcuların konaklaması için mekânların planlandığı iki katlı han grubundadır. Yapının zemin katında ahır ve depo mekânları oluşturulmuştur. Üst katında misafirler için planlanmış 24 oda vardır. Han yapısına cepheden kare planda ileri taşan yapı kütesinin ortasındaki kemerli bir kapıdan girilmektedir. Kapıdan bir koridorla avluya çıkılmaktadır. Hanın avlusu kare formludur ve her bir yönde üçer kemer boşluğu olan revak yapısıyla çevrilidir. Revak arkasında bir yönde ahır bölümü,

diğer yönde küçük hücrelerle bölünmüş depo yer almaktadır. Birçok benzeri şehir hanında olduğu gibi Taşhan'da da merdiven tek kollu olarak revak içinde planlanmıştır. Hanın üst katı da dört yönde üçer kemerli açıklıklı revak ile çevrilmiştir. Revakların kemerleri tam kemere yakın sivri kemerlidir. Odalar revak arkasında yer almaktadır. Üst katın köşelere denk gelen dört odasına pahlandırılarak yapılmış köşelerdeki kapılardan girilir. Handaki üst kat odalarının tümünde ocak vardır (bacalarıyla birlikte). Revak bölümüne açılan oda cephelerinde pencere bulunmaz. Kuzey-Batı köşesindeki yalnız tepe pencereleri bulunan oda dışında bütün odalarda pencere ve üstlerinde tepe penceresi vardır (Şekil 1-3).



(a)



(b)

**Şekil 1.** (a) Taşhan'ın yıkılan ve tamamlanacak kısmı, (b) batı cephesi



**Şekil 2.** Samsun Taşhan doğu (giriş) cephesi

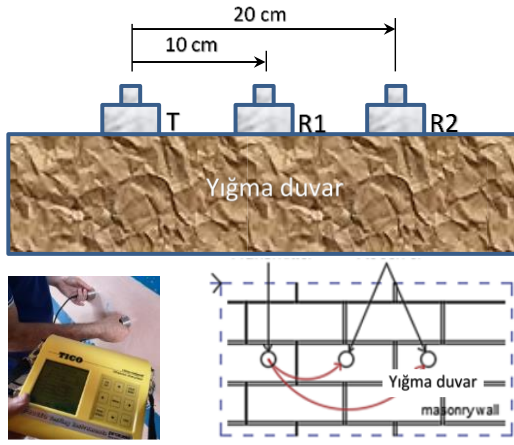
## 2.2. Ultrasonik Ölçümler

Ultrasonik hız deneyleri yapı üzerinde (taş duvar, taş kolon, tuğla kemer) ve yapıda kullanılan numuneler üzerinde laboratuvar ortamında yapılmıştır. Bu deneyde yüksek frekanslı ses dalgası üreten Ultrasonik cihazdan yararlanılmıştır. Ölçümler aynı yüzeyden dolaylı olarak yapılmıştır. Malzeme boşluklu, yoğunluğu düşük ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses geçiş hızı düşüktür. Ses geçiş hızı ile malzemelerin homojenliği karşılaştırılabilir, yüzey sertliği ve karot numunelerinin deney sonuçları ile birlikte değerlendirilerek, dayanımı tahmin edilir (Ercan, 2003; Uyanık vd., 2012, 2013).

Yığma duvarların malzeme özelliklerini elde etmek için en çok uygulanan tahribatsız test yöntemleri arasında sonik test yer almaktadır. Sonik testler, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal elemandaki boşluklar, çatlaklar veya diğer kusurlar gibi iç süreksizliklerin belirlenmesi gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Temel olarak, sonik testte, malzeme mukavemetinin veya iç süreksizliğin tanımlanması, baskın ultrasonik dalganın duvarda hareket süresiyle ilgilidir. Sonik testinde verici ve alıcı kullanılır ve hesaplar verici ve alıcı arasındaki mesafeye ilişkin formüller kullanılarak gerçekleştirilir. Yığma yapıların duvar kalınlıklarının büyük olması karşılıklı duvar boyunca dalga yayılımının elde edilememesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada yüzeyel dalga yayılımları dikkate alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Yapıda yerinde yapılan ultrasonik testler sonucu her bir kat için taş duvar, taş kolon ve tuğla kemerlerde elde edilen ultrasonik hız değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere taş duvar, tuğla kemer ve taş kolonlar için her kattan ayrı ayrı ölçümler alınmıştır. Elde edilen tüm veriler kullanılarak malzemelerin dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Yapının sonlu elemanlar yöntemi ile sismik analizinin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla ultrasonik ölçümlerin ortalama değerleri kullanılmıştır. Samsun Taşhan sonlu elemanlar modelinde kabul edilen malzeme özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Tablo 2'deki Poisson Oranları literatürde elde edilen ortalama değerlerdir.

Tablo 2'de,  $V_R$ ,  $V_P$  ve  $V_S$ , sırasıyla Rayleigh, Birincil ve İkincil dalgalardır. Pozitif Poisson oranına ( $\nu > 0$ ) sahip doğrusal elastik malzemeler için, Rayleigh dalga hızı, Birincil ve İkincil dalgalar arasındaki ilişki Denklem (1) (Richart vd., 1970; Freund, 1998) ve Denklem (2) (Uyanık, 2012) ile verilebilir.





Şekil 3. Ultrasonik test yüzeysel ölçümü sistematığı

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{0.862 + 1.14v}{1 + v} \quad (1)$$

$$\frac{V_P}{V_S} = \left\{ \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \right\}^{0.5} \quad (2)$$

Ayrıca, kayma dalga hızı kullanılarak Denklem (3) ile dinamik elastisite modülleri hesaplanabilir.

$$E_d = 2\rho(1 + \nu)V_S^2 \quad (3)$$

Burada,  $\rho$  ( $gr/cm^3$ ) yoğunluktur.

Bunlara ilave olarak ölçülen ve hesaplanan dalga hızlarına bağlı olarak yoğunluklar Denklem (4) (Gardner vd., 1974) ile hesaplanabilir.

$$\rho = 0.31V_P^{0.25} \quad (4)$$

Yukarıda belirtilen formüller kullanılarak öncelikle aynı bölgeden alınan ultrasonik ölçüm,  $V_r$ , değerlerinin ortalamaları elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak  $V_s$ ,  $V_p$ ,  $\rho$  ve Elastisite Modülü değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin hesaplanmasında Poisson oranı sabit alınmıştır.

Tablo 1. Yapıda taş duvar, taş kolon ve tuğla kemer için ultrasonik ölçüm, yoğunluk ve Elastisite Modülü değerleri

Eleman/ Yer isimleri	Yapı Elemanı ve Açıklama Duvar Numaraları	Ultrasonik Ölçümler			Hesaplamalar				
		$V_r$ (m/s)	Ortalama ( $V_r$ )	$V_s$ (m/s) (Denk.1)	$V_p$ (m/s) (Denk.2)	$\rho$ ( $gr/cm^3$ ) Denk.4)	Elastisite Modülü (MPa) (Denk.3)		
Taş Duvar (Poisson Oranı=0.30)	ZA 1-2 DV	2000	1290	600	1297	1398	2615	2.217	1026.06
	ZC 1-2 DV	2460	2240	1880	2193	2364	4423	2.528	2935.80
	ZD 1-2 DV	1920	-	-	1920	2070	3872	2.445	2249.67
	ZBC 8 DV	2010	-	-	2010	2167	4053	2.474	2465.52
	1 8 D-E TAŞ DUVAR	1110	-	-	1110	1197	2238	2.132	751.90
	1A 5-6 TAŞ DUVAR	1900	1100	-	1500	1617	3025	2.299	1373.09
	1D 7-8 TAŞ DUVAR	990	-	-	990	1067	1996	2.072	598.12
	1A 5-6 TAŞ DUVAR	1900	1100	-	1500	1617	3025	2.299	1373.09
	1F 1-2 DV	1850	2220	-	2035	2194	4104	2.481	2527.24
	<b>Taş duvar ortalama=</b>						<b>2.328</b>	<b>1700.05</b>	
Taş Kolon (Poisson Oranı=0.18)	E2 KOLON	1360	-	-	837	1079	1727	2.169	1069.15
	E3 KOLON	1820	1640	1420	1085	1791	2867	2.268	1529.53
	D6 KOLON	1210	1120	1210	1165	1299	2080	2.094	804.87
	1 E3 TAŞ KOLON	1530	1510	1170	1180	1545	2474	2.186	1138.37
	1 C4 TAŞ KOLON	1120	1740	-	1080	1575	2521	2.197	1182.05
	1 E6 TAŞ KOLON	2000	1050	-	837	1679	2688	2.232	1344.32
		<b>Taş kolon ortalama=</b>						<b>2.191</b>	<b>1178.05</b>
Tuğla Kemer (Poisson Oranı=0.30)	ZC6 TUĞLA KEMER	910	440	1160	1360	902	1826	2.027	411.60
	ZD6 TUĞLA KEMER	1230	940	-	1627	1170	2368	2.163	692.20
	ZF6 TUĞLA KEMER	1100	-	1230	1180	1038	2103	2.201	798.04
	1 C4 TUĞLA KEMER	1180	-	-	1403	1272	2576	2.208	818.72
	1 C5 TAŞ KEMER	1080	-	-	1430	943	1910	2.160	685.83
		<b>Tuğla kemer ortalama=</b>						<b>2.152</b>	<b>681.28</b>

**Tablo 2.** Samsun Taşhan sonlu elemanlar modeli için malzeme özellikleri

Eleman tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Poisson Oranı
Taş duvarlar (harç ile birlikte)	1700.05	2.328	0.30
Taş kolonlar (harç ile birlikte)	1178.05	2.191	0.18
Kemerler ve tonozlar	681.28	2.152	0.30

### 3. Formülasyon

#### 3.1. Stokastik Dinamik Analiz

$N$  serbestlik dereceli bir yapı sisteminin sönüm içeren dinamik hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -M\delta\ddot{u}_g(t) \quad (5)$$

Bu ifadede  $M$ ,  $C$ ,  $K$  sırasıyla kütle, sönüm, rijitlik matrislerini,  $\ddot{u}(t)$ ,  $\dot{u}(t)$ ,  $u(t)$  ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini,  $\delta$  deprem doğrultu vektörünü,  $\ddot{u}_g(t)$  yer ivmesini göstermektedir.

Yapı sistemlerinin stokastik dinamik analiz formülasyonu yıllardan beri çok iyi bilindiğinden bu çalışmada sadece kısaltılmış formülasyon verilecektir. Ayrıntılı stokastik dinamik analiz formülasyonu bir çok kaynakta (Lin, 1967; Yang, 1986; Clough ve Penzien, 1993; Manolis ve Koliopoulos, 2001) verilmektedir.

Güç spektral yoğunluk fonksiyonu ve otokorelasyon fonksiyonu stokastik analiz için temel ifadelerdir. Bir sisteme etkiyen deprem hareketinin güç spektral yoğunluk fonksiyonu veya otokorelasyon fonksiyonu bilinirse, yapı davranışını tanımlayan stokastik parametreler kolayca belirlenebilir. Davranışın karşıt güç spektral yoğunluk fonksiyonu,  $S_{ij}(\omega)$ , sistem hareket denklemi, Denklem (6), kullanılarak gerekli işlemler yapıldıktan sonra,

$$S_{ij}(\omega) = S_{\ddot{v}_g}(\omega) \sum_{r=1}^N \sum_{s=1}^N \Psi_{ir} \Psi_{js} H_{ir}(\omega) H_{js}^*(\omega) \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $S_{\ddot{v}_g}(\omega)$ , yer ivmesinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu,  $H(\omega)$ , frekans davranış fonksiyonunu, \* kompleks eşleniği,  $N$ , davranışa katkısı olan mod sayısını,  $\Psi_{jr}$  ise  $r$ 'nci modun  $u_j(t)$  yerdeğiştirmesine katkısını göstermektedir.

Davranışın güç spektral yoğunluk fonksiyonu ve frekans terimleri ile ifade edilen spektral momentler,  $\lambda_{m,ij}$ ,

$$\lambda_{m,ij} = 2 \int_0^\infty \omega^m S_{ij}(\omega) d\omega \quad , m=0,1,2 \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada  $m=0,1,2$  sırasıyla sıfırcı, birinci, ikinci spektral momenti göstermektedir.

Stokastik dinamik analizde kullanılan istatistiksel parametrelerin en önemlilerinden biri de ortalama maksimum değerdir. Ortalama maksimum değer  $\mu$ , tüm maksimum değerlerin ortalaması olarak tanımlanır ve genelde maksimum büyüklük faktörüne ve davranışın karesel ortalamasının kareköküne bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu = p\sqrt{\lambda_0} \quad (8)$$

Burada,  $p$  ve  $\lambda_0$  sırasıyla deprem ivmesinin maksimum büyüklük faktörünü ve sıfırcı spektral momenti göstermektedir.

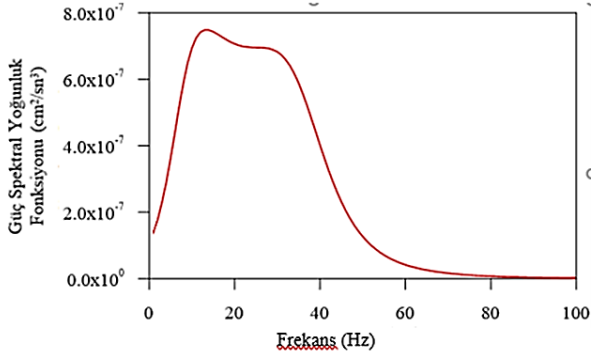
#### 3.2. Trafik Kaynaklı Yer Hareketi

Bu çalışma ile, trafik geçişleri sebebiyle zeminde meydana gelen yatay mikro titreşimlerin tarihi Samsun Taşhan yapısı üzerindeki etkilerini incelemeyi hedeflenmiştir. Mevcut durumdaki tarihi yapının çok yakınından geçen hafif raylı yolcu taşıma aracı ve araç trafiği sebebiyle meydana gelen mikro titreşimlerin yapı üzerinde meydana getirdiği dinamik davranışları elde etmek için trafik kaynaklı ortalama bir maksimum ivme değerine sahip yer hareketi güç spektral yoğunluk fonksiyonu oluşturulmuştur. Yang ve Agrawal (2001) trafik kaynaklı yer hareketini modellemek için stasyonery olmayan rastgele işlem modelini kullanmışlardır. Trafik kaynaklı yatay yer hareketi için stasyonery ivme zaman alanı örneği geliştirilmiş Kanai (1957)-Tajimi (1960) güç spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılarak (GSYF) ilk kez elde edilmiştir.

$$S_{\ddot{v}_g}(\omega) = (S_0)^2 \frac{f_g^4 + 4\xi_g^2 f_g^2 f^2}{(f_g^2 - f^2)^2 + 4\xi_g^2 f_g^2 f^2} \frac{f^4}{(f_f^2 - f^2)^2 + 4\xi_f^2 f_f^2 f^2} \quad (9)$$

Burada  $f_g$  ve  $\xi_g$  sırasıyla zemine ait doğal frekansı ve sönüm oranını,  $S_0$  seçilen trafik kaynaklı yer hareketinin ivme genlik değerini göstermektedir. Bu çalışmada Yang ve Agrawal tarafından önerilen  $f_g = 10.8$  Hz,  $\xi_g = 0.75$ ,

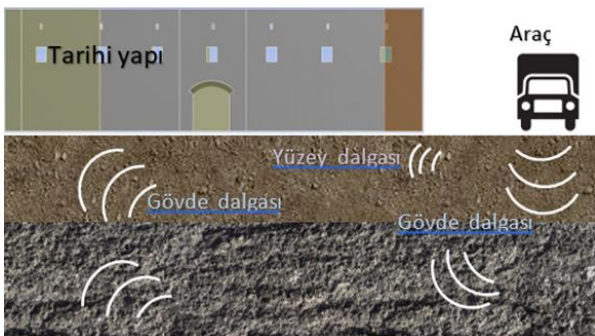
$f_f = 38$  Hz ve  $\xi_f = 0.35$  filtre parametre değerleri kullanılmaktadır. Trafik toplam geçiş süresi 15 sn olarak dikkate alınmıştır. Yer hareketi yoğunluğu  $S_0$ ,  $3.0 \text{ cm/sn}^2$  maksimum yer hareketi ivmesine karşılık değeri olarak seçilmiştir. Trafik kaynaklı yatay yer hareketi güç spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Trafik kaynaklı yatay yer hareketi güç spektral yoğunluk fonksiyonu

#### 4. Uygulama

Trafik kaynaklı yer hareketi sebebiyle tarihi yapıda meydana gelen mikrodinamik davranışların tahmin edilmesi amacıyla ANSYS programı (2013) kullanılmıştır. Analizler, yapının çatlaklı ve çatlaksız halleri için gerçekleştirilmiş olup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Trafik kaynaklı yatay yer titreşim geçiş işlemi Şekil 5'de gösterilmiştir. Analizlerde trafik kaynaklı yer hareketinin yapıya y eksenini doğrultusunda etki ettiği varsayılmıştır.



Şekil 5. Trafik kaynaklı yatay yer titreşim geçiş işlemi

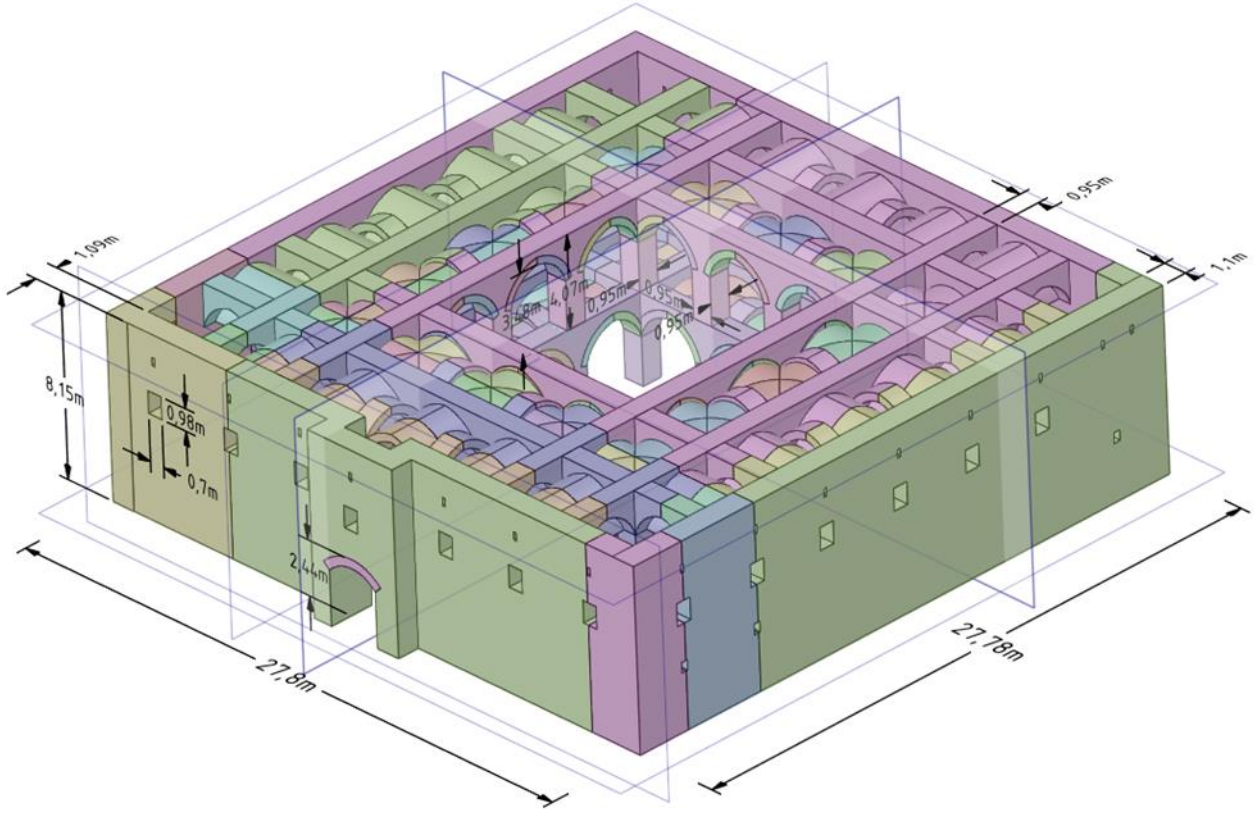
Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yapısal analiz programlarının kapasitelerinin artması ve grafik

veri hazırlama kolaylıkları, özellikle karmaşık geometriye sahip tarihi binaların yapısal analizlerine olan talebi artırmıştır. Grafik ara yüz programlarıyla hazırlanan veriler analitik modelleme kurallarına dikkat edilmeden hazırlanırsa çok önemli hatalara yol açabilir. Bu nedenle, tarihi binaların sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan hesaplarında modelleme aşaması çok önemlidir. Samsun Taşhan yapısı onarım ve güçlendirme yapılmadan önce Şekil 6'te görüldüğü üzere tonozlarda ve duvarlarda ağır hasarlı çatlaklara sahiptir. Yapı modellenirken yapıda oluşmuş olan çatlakların mutlaka dikkate alınması gerektiği ve analizlerin buna göre gerçekleştirilmesi gerektiği vurgulanmak zorundadır. Şekil 7'de yapının geometrik özellikleri, taş duvar kalınlıkları, taş kolon boyutları, kemer açıklık ve kat yükseklikleri verilmiştir. Verilen boyutlara göre modellenen yapıda meydana gelen çatlak bölgelerinde bulunan duvarların her iki yanı ANSYS programında sürtünmeli olarak tasarlanmıştır (Şekil 8).

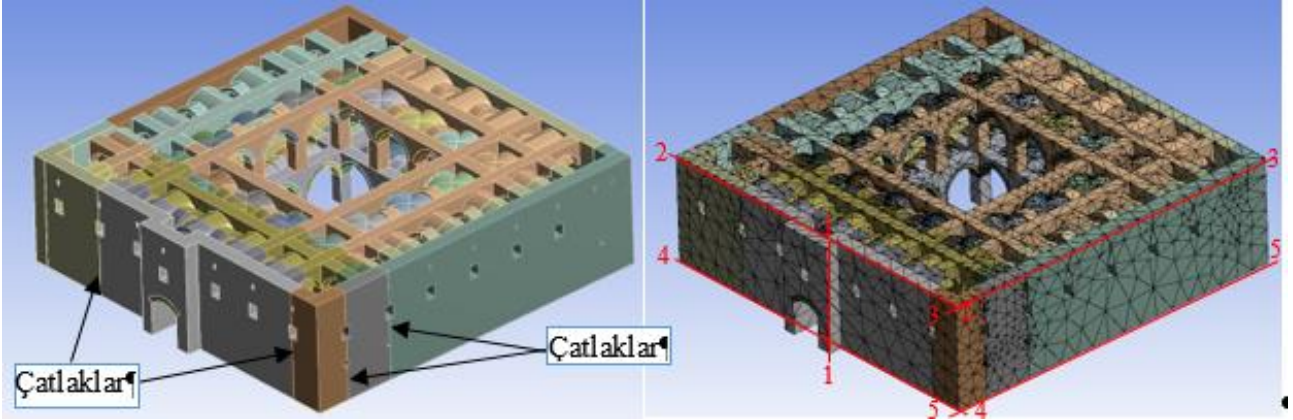


Şekil 6. Tonozlarda boyuna yönlü tek çatlak biçimi (anahtar solunda veya sağında)

Bu analizde yapının kendi ağırlığında ve her iki yönde deprem etkisi olması halinde sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada iki analiz gerçekleştirilmiştir. Birinci analizde yapının mevcut durumunda eklenecek kısmın var olduğu düşünülerek ve çatlakların mevcut olduğu durum için sonuçlar elde edilmiştir. İkinci analizde ise yapının onarım ve güçlendirme işlemleri yapıldıktan sonraki durumu dikkate alınmış ve sonuçlar elde edilmiştir (Bina tamamlanmış ve çatlaksız).



Şekil 7. Samsun Tarihi Taşhan'ın geometrik ölçütleri



Şekil 8. Samsun Tarihi Taşhan'ın katı ve sonlu elemanlar modeli

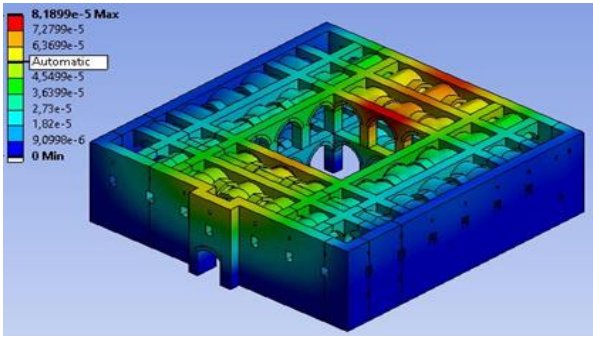
Şekil 8'de gösterilen Samsun tarihi Taşhan'ın katı modeli Solidworks programı, sonlu elemanlar modeli ise ANSYS (2013) programının modelleme özellikleri ve kurallarına göre hazırlanmıştır. Yapının matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli olan bütün geometrik boyutlar ve ölçüler, daha önce hazırlanmış olan rölöveler kullanılarak elde edilmiştir. Modelleme ve hesap parametreleri aşağıda maddeler halinde sunulduğu gibidir:

- Yapının tüm elemanları “Solid” elemanları ile modellenmiştir.
- Hesaplar için hazırlanan matematiksel model 130739 düğüm noktası ve 59009 Solid eleman kullanılarak oluşturulmuştur.
- Taş yığma yapı elemanlarının, harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği varsayılmıştır. Bu varsayımı kabul edilebilir yapacak Elastisite Modülü ve birim ağırlık kabulleri yapılmıştır. Buna bağlı olarak taş+tuğla duvarlar, taş kolonlar, kemer ve tonozlar ayrı ayrı modellenmiştir.

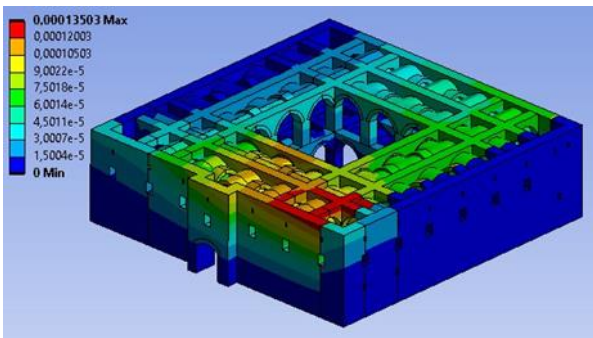
## 5. Analizler

Bu çalışmada, trafik kaynaklı rastgele yer hareketi etkisindeki tarihi Taşhan yapısının hasarsız ve hasarlı durumları dikkate alınarak stokastik dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 8’de gösterilen kesitler için ortalama maksimum yerdeğiştirme (y doğrultusunda) ve eşdeğer gerilme değerleri elde edilmiş ve hasarsız ve hasarlı durumlar için karşılaştırılmıştır.

Şekil 9’da yapının hasarsız ve hasarsız durumları için yerdeğiştirme değerleri gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, hasarsız durumda maksimum yerdeğiştirmeler yapının arka tarafına doğru tepe noktasında meydana gelirken hasarlı durumda çatlak bölgelerine yakın kısımlarda, özellikle her iki yönde çatlak olan kısımlarda oluşmaktadır. Yapının yerdeğiştirme eğilimi hasarsız durumda y doğrultusunda meydana gelirken hasarlı durumda x doğrultusunda oluşmaktadır.



(a)

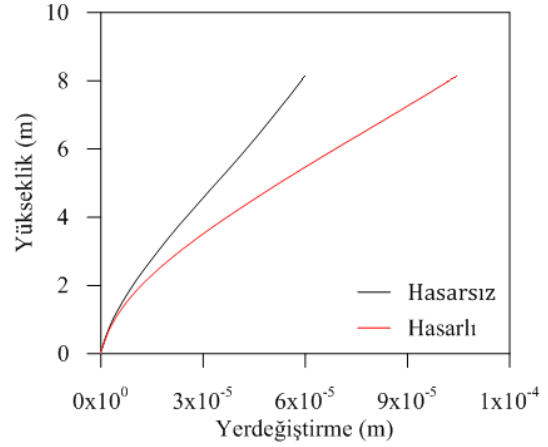


(b)

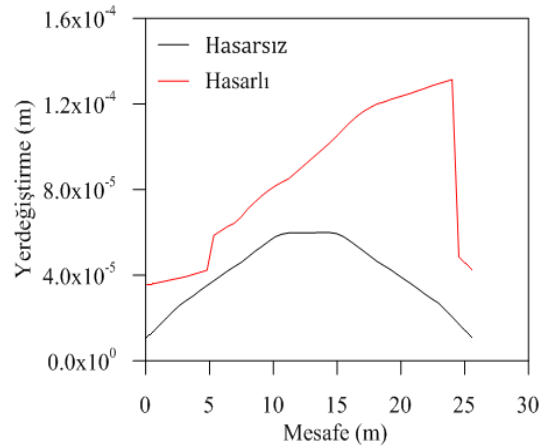
**Şekil 9.** (a) Hasarsız ve (b) hasarlı durum için ortalama maksimum yerdeğiştirme değerleri (m)

Şekil 10’da 1-1, 2-2 ve 3-3 kesitleri boyunca yapının hasarsız ve hasarlı durumları için elde edilen yerdeğiştirme değerleri gösterilmektedir. Şekil 10(a)’da her iki durum için yerdeğiştirmenin yükseklik boyunca arttığı gözlenirken hasarlı

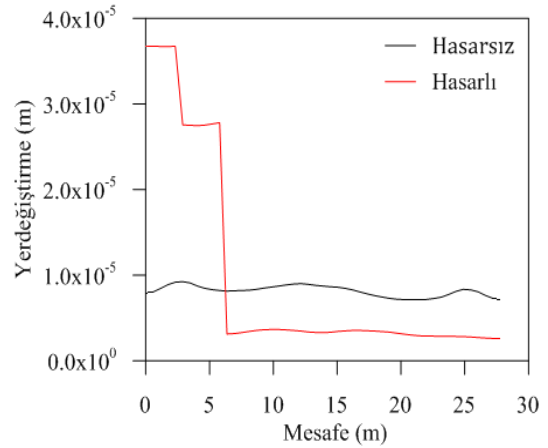
durumda hasarsız durumdakine oranla fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 10(b) ve Şekil 10(c)’de hasarlı durumda hasarsız duruma göre yerdeğiştirmeler daha fazla oluşurken çatlaklı bölgelere gelindiğinde ani sıçramaların olduğu gözlenmektedir.



(a)



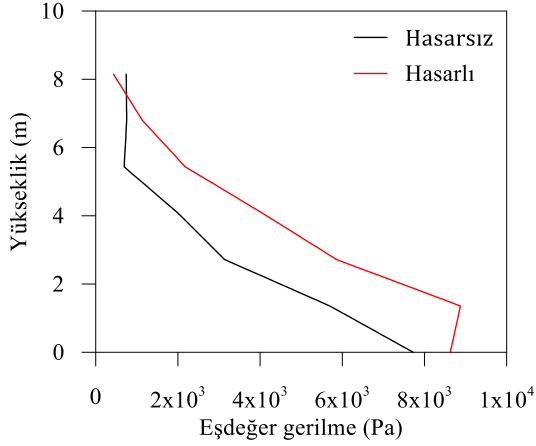
(b)



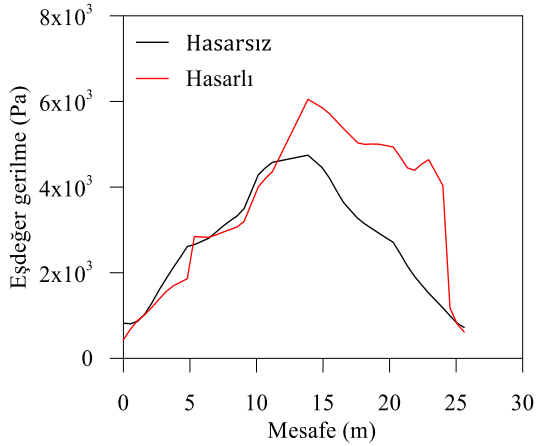
(c)

**Şekil 10.** (a) 1-1, (b) 2-2 ve (c) 3-3 kesitleri boyunca elde edilen ortalama maksimum yerdeğiştirme değerleri (m)

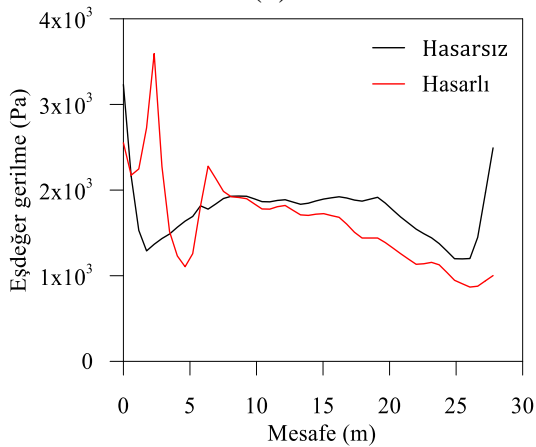
Şekil 11’de 1-1, 4-4 ve 5-5 kesitleri boyunca yapının hasarsız ve hasarlı durumları için elde edilen yerdeğiştirme değerleri gösterilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi hasarlı durumda meydana gelen gerilmeler hasarsız duruma oranla daha fazladır. Ayrıca yerdeğiştirmelerde olduğu gibi hasarlı durumda çatlak bölgelerine yaklaştıkça gerilme değerlerinin arttığı ve ani sıçramaların meydana geldiği gözükmektedir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 11.** (a) 1-1, (b) 4-4 ve (c) 5-5 kesitleri boyunca elde edilen ortalama maksimum eşdeğer gerilme değerleri (Pa)

## 6. Sonuçlar

Trafik kaynaklı rastgele yer hareketi etkisi altındaki tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarının tespiti amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma için örnek olarak Samsun ilinde yer alan Tarihi Taşhan yapısı seçilmiştir. Yapının malzeme özelliklerinin tespiti amacıyla taş ve tuğlalardan alınan örnekler laboratuvar ortamında tahribatlı ve tahribatsız, hem de yerinde tahribatsız yöntemler uygulanmıştır. Yerinde tahribatsız yöntem olarak ultrasonik hız testi uygulanmış ve taş duvar, tuğla kemer ve taş kolonlar için belirlenen noktalardan ölçümler alınmıştır. Mevcut yapıda kullanılan taş kolon, taş duvar ve tuğla kemer için ortalama olarak malzeme özellikleri tespit edilmiştir. Bu malzeme özellikleri trafik etkisi altındaki yapının dinamik davranışlarının tespiti amacıyla kullanılmıştır. Analizler, yapının hasarsız (çatlaksız) ve hasarlı (çatlaklı) halleri için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yerinde ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen malzeme analizleri birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Yerinde ve laboratuvar ortamında uygulanan ultrasonik test çalışmaları sonucunda elde edilen veriler uyumlu olmakla birlikte tahribatlı olarak elde edilen malzeme özellikleri ile de yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Yapının kemer, kolon ve duvarlarından alınan ölçümler yapının genel malzeme özelliğini temsil edebilecek şekilde planlanmıştır. Genel itibariyle kemerlerden, kolonlardan ve duvarlardan alınan ölçümler ile ayrı ayrı birbirlerine yakın olacak değerler elde edilmiştir. Bu durumda hasarsız olarak belirlenen malzeme özelliklerinin yapının analizleri için kullanılacak doğrulukta olduğu söylenebilmektedir.
- Rastgele trafik etkisi altındaki yapının analiz sonuçlarından beklenildiği üzere hasarlı durumda elde edilen dinamik davranışların daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca hasarlı durumdaki çatlak bölgelerine yaklaştıkça hem yerdeğiştirme hem de gerilme değerlerinde sıçramaların olduğu görülmektedir.
- Elde edilen bu analizler sonucunda trafik yükü etkilerinin yapının davranışına küçük de olsa etki ettiğini söylemek mümkündür. Özellikle yapının çatlaklı durumunda bu etkilerin arttığı gözlenmektedir.

## Tesekkür

Bu çalışma, Samsun Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- ANSYS., 2013. Workbench 2013. User's Manual, Ansys Incorporation, Ansys, Inc., Canonsburg, PA.
- Başaran, H., Demir, A., Ercan, E., Nohutçu, H., Hökelekli, E. ve Kozanoğlu, C., 2016. Investigation of Seismic Safety of a Masonry Minaret Using Its Dynamic Characteristics. *Earthquake and Structures*, 10, 523–538.
- Bongiovanni, G., Clemente, P., Rinaldis, D., ve Saitta, F., 2011. Traffic Induced Vibrations in Historical Buildings, In Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2011, July 2011, Leuven, Belgium. pp. 812–819.
- Clough, R.W. ve Penzien, J., 1993. Dynamics of Structures: Singapore, McGraw Hill, 738 p.
- Crispino, M. ve D'Apuzzo, M., 2001. Measurement and Prediction of Traffic-Induced Vibrations in a Heritage Building. *Journal of Sound and Vibration*, 246, 319–335.
- Ercan, A., 2003. Mühendislik Jeofiziği Dizisi-II: İstanbul, Birsen Yayınevi, 187 s.
- Erkal, A., 2017. Transmission of Traffic-induced Vibrations on and Around the Minaret of Little Hagia Sophia. *International Journal of Architectural Heritage*, 11, 349–362.
- Erkal, A., 2018. Tren Geçişlerinin Küçük Ayasofya Cami Üzerinde ve Yanındaki Serbest Zemin Yüzeyinde Oluşturduğu Titreşimlerin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 22, 361–374.
- Erkal, A., Laefer, D., Fanning, P., Durukal, E., Hancilar, U. ve Kaya, Y., 2010. Investigation of the Rail-Induced Vibrations on a Masonry Historical Building. *Advanced Materials Research*, 133–134, 569–574.
- Faella, G., Frunzio, G., Guadagnuolo, M., Donadio, A. ve Ferri, L., 2012. The Church of the Nativity in Bethlehem: Non-destructive Tests for the Structural Knowledge. *Journal of Cultural Heritage*, 13, e27–e41.
- Freund, L.B., 1998. Dynamic Fracture Mechanics: Cambridge, Cambridge University Press, 584 p.
- Gardner, G.H.F., Gardner, L.W. ve Gregory, A.R., 1974. Formation Velocity and Density-The Diagnostic Basic for Stratigraphic Traps. *Geophysics*, 39(6), 770-780.
- Kanai, K., 1957. Semi-Empirical Formula for the Seismic Characteristics Of The Ground. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 35, 309–324.
- Kliukas, R., Jaras, A., ve Kačianauskas, R., 2008. Investigation of Traffic-Induced Vibration in Vilnius Arch-Cathedral Belfry. *Transport*, 23, 323–329.
- Lin, Y.K., 1967. Probabilistic Theory of Structural Dynamics: New York, McGraw Hill, 366 p.
- Ma, M., Markine, V., Liu, W., Yuan, Y., ve Zhang, F., 2011. Metro Train-induced Vibrations on Historic Buildings in Chengdu, China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 12, 782–793.
- Manolis, G.D. ve Koliopoulos, P.K., 2001. Stochastic Structural Dynamics in Earthquake Engineering: Southampton, WIT Press, 296 p.
- Mesquita, E., Martini, R., Alves, A., Mota, L., Rubens, T., Antunes, P. ve Varum, H., 2018. Heterogeneity Detection of Portuguese–Brazilian Masonries Through Ultrasonic Velocities Measurements. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 8, 847–856.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., Pineli, T. ve Prassianakis, I., 2003. Estimation of Elastic Constants of Stones, used in Historic Monuments, using Ultrasonic Technique and Correlation to Their Microstructure, In The 3<sup>rd</sup> International Conference on Non-Destructive Testing of the Hellenic Society for NDT, October 2003, Chania, Crete, Greece, pp. 242–245.
- Öziçer, S. ve Uyanık, O., 2017. Beton Dayanımının Yerinde P Dalga Hızından Belirlenmesi ve İzmir Örneği. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 9, 1–16.
- Richart, F.E., Hall, J.R. ve Woods, R.D., 1970. Vibrations of Soils and Foundations: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc, 414 p.
- Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2017. Prediction of Reinforced Concrete Strength by Ultrasonic Velocities. *Journal of Applied Geophysics*, 141, 13–23.
- Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2018. Determination of the Reinforced Concrete Strength by Apparent Resistivity Depending on the Curing

- Conditions. *Journal of Applied Geophysics*, 155, 13–25.
- Tajimi, H. 1960. A Statistical Method for Determining the Maximum Response of a Building Structure During an Earthquake, In *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, July 1960, Tokyo and Kyoto, Japan. pp. 781–797.
- Uyanık, O., Gülay, F.G. ve Tezcan, S., 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. *Hazır Beton*, 109, 82–85.
- Uyanık, O., Kaptan, K., Gülay, F.G. ve Tezcan, S., 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. *Yapı Dünyası*, 184, 55–58.
- Uyanık, O., Sabbağ, N., Uyanık, N.A. ve Öncü, Z., 2019. Prediction of Mechanical and Physical Properties of Some Sedimentary Rocks from Ultrasonic Velocities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 6003-6016.
- Uyanık, O., Şenli, G. ve Çatlıoğlu, B., 2013. Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi. *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 5, 156–165.
- Vasanelli, E., Calia, A., Colangiuli, D., Micelli, F. ve Aiello, M.A., 2016. Assessing the Reliability of Non-destructive and Moderately Invasive Techniques for the Evaluation of Uniaxial Compressive Strength of Stone Masonry Units. *Construction and Building Materials*, 124, 575–581.
- Yang, C.Y., 1986. *Random Vibration of Structures*: New York, Wiley Interscience, 295 p.
- Yang, J.N. ve Agrawal, A.K., 2001. Protective Systems for High-technology Facilities Against Microvibration and Earthquake. *Structural Engineering and Mechanics*, 10, 561–575.
- Zielińska, M. ve Rucka, M., 2018. Non-Destructive Assessment of Masonry Pillars using Ultrasonic Tomography. *Materials*, 11, 2543.



## Sinyal Kontrollü ve Kontrolsüz Kesimlerde Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Davranışlarının Değerlendirilmesi

### *Evaluation of Parameters Affecting the Crossing Behavior of Pedestrians on the Main Arterials and Signalized Intersections*

Meltem SAPLIOĞLU<sup>\*a</sup>, Abdullah Ridha FAISAL<sup>b</sup>

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 ve Isparta, TÜRKİYE*

• Geliş tarihi / Received: 19.05.2019

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 01.01.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 09.01.2020

#### Öz

Yayaların, yol kesimlerinde ve sinyalizasyonlu kavşaklarda, karşıdan karşıya geçiş davranışının doğru anlaşılması ve buna göre altyapının düzenlenmesi ulaşım planlamasının önemli konularından biridir. Çalışmada, kent merkezinde yayaların geçiş davranışlarını araştırmak amacıyla, yaya hızlarını etkileyen parametreler analiz edilmeye çalışılmıştır. Isparta ili şehir merkezinde bulunan bir ana cadde üzerinde, yayaların karşıdan karşıya geçişleri dört kesime ayrılmış, toplam 3632 yaya örneği gözlenmiştir. İncelenen 2., 3. ve 4. Kesimlerdeki yaya hacmi ile hız arasındaki ilişki tespit edilmiştir. İncelenen kavşak 1. kesimdeki yaya geçidini kullanan ve yaya geçidi dışından geçen yayalar ayrı değerlendirilmiştir. ANOVA testi ile yaya hızını etkileyen faktörlerin önem dereceleri bulunmuştur. Analiz sonucu kavşak içindeki yaya geçidi geçişlerinde yaşlı, yetişkin ve çocuk yayalar için ortalama geçiş hızları sırasıyla 0.77 m/sn, 0.90 m/sn ve 0.78 olarak; yol kesimlerinde ise 0.87 m/sn, 0.95 m/sn ve 0.90 m/sn olarak tespit edilmiştir. Yayaların kavşak dışı veya kural ihlali yaparak geçme davranışının yoğun yaşandığı kavşak kesiminde, güvenli yaya geçişi için yeterli yaya geçidi genişliğinin olmadığı düşünülmüştür. Çalışma sonuçlarının uygulayıcılar için sinyalize kavşaklarda ve yol kesimlerinde yaya davranışını anlamlandırılması ve oluşturulacak yaya geçidi tesislerinin düzenlenmesinde, faydalı olması beklenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Anova, Geçiş Hızı, Sinyalizasyonlu Kavşak, Yaya Davranışı

#### Abstract

Accurate understanding of the crossing behavior of pedestrians at road sections and signalized intersections is an important issue of transportation planning. In this study, the parameters affecting the pedestrian walking speed are tried to be analyzed in order to investigate the transition behavior of pedestrians in the city center. Surveyed section was divided into four sections and a total of 3632 pedestrians were observed in the city center of Isparta, on a main street. The relationship between the pedestrian volume and the velocity of pedestrian in the 2nd, 3rd and 4th sections were determined. Pedestrians who used crossing or not used were investigated separately at selected intersection. The significance levels of the factors affecting pedestrian velocity were determined by ANOVA test. As a result of the analysis, the average transition velocities for elderly, adult and child pedestrians are 0.77 m/s, 0.90 m/s and 0.78; and 0.87 m/s, 0.95 m/s and 0.90 m/s respectively. It is considered that there is not enough crosswalk width for safe pedestrian crossing at the intersection where pedestrians are experiencing intense crossing or rule violation. It is expected that the results of the study will be useful for the practitioners in signalized intersections and road sections to be able to understand the pedestrian behavior and to arrange the pedestrian crossing facilities.

**Keywords:** Anova, Crossing Speed, Signalized Intersection, Pedestrian Behaviour

<sup>\*a</sup> Meltem SAPLIOĞLU, meltemsaplioglu@sdu.edu.tr, Tel: (0246) 211 12 17, orcid.org/0000-0002-6590-8672

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-6812-0426

## 1. Giriş

Ulaşım ve trafik düzenlemeleri çalışmalarında savunmasız yol kullanıcıları olarak isimlendirilen yayaların karşıdan karşıya geçiş sürecinde güvenliklerinin düşük olması, kent merkezlerindeki kavşak ve yol kesimlerinde karşılaşılan yaygın güvenlik sorunlarından biridir. Ölümle ve yaralanmayla sonuçlanan yaya-araç kazaları şaşırtıcı derecede yüksek oranlara sahiptir. Dünya genelinde trafik kazalarında kaybedilen toplam kişi sayısının üçte birinden fazlasını yaya-araç kazalarındaki yayalar teşkil etmektedir (Alhajyaseen ve Miho, 2017). Yayaların, sinyal kontrollü kavşaklarda yaya geçitlerini kullanılmalarına rağmen, toplam yaya ölümlerinin %41'i yaya geçidi içinde ve dışında gerçekleşen kural dışı geçişlerden kaynaklandığı bilinmektedir (NPA, 2012). Bu kural dışı davranışların gerçekleşmesinde etkili pek çok sebep mevcuttur. Sinyalizasyon sürelerinin yayaların hızlarına uygun düzenlenmemesi, yaya geçidi boyutlarının geçiş yapan yaya akımına hizmet verememesi, yaya geçişlerinde karşılıklı yaya etkileşiminin fazla olması kısaca kent ulaşımı yay geçitlerinde de sürdürülebilirlik konusunda yaya akımı ile ilgili parametrelere önem verilmemiş olması sayılabilecek bazı nedenlerdendir (Tuydes-Yaman ve Karatas, 2017; Sadeghpour vd., 2017). Yaya davranışını etkileyen pek çok parametreden söz edilebilir. Parametreler genellikle ülkeden ülkeye, kentten kente ve hatta kavşaktan kavşağa farklılık gösterebilmektedir. Bununla birlikte, yaya davranışı için bağımlı değişken olan hız parametresinin bölgesel olarak tespit edilmesi ve standartlarda doğru bir şekilde yer alması, yaya geçit düzenlemeleri için gereklidir. Yaya davranışının mikro düzeyde incelenmesi, etkili parametrelerin tespit edilmesi ve yayaların karşıdan karşıya geçişleri sırasında yol gösterici olan hız değişkeni ile bu parametreleri değerlendirmek, sorunun çözümü için yorum yapabilmeyi kolaylaştırır.

Sinyalizasyonlu kavşak özelinde, yaya geçişlerinde gerekli olan yaya geçiş süresi, güvenli yaya geçişini sağlamak için sağlanmış bir değişkendir. Bu süre, genellikle yayalara yeşil olarak yanan sinyalizasyon süresidir. Bu sürede araçlar bekleme durumundadır. Bazı sinyalizasyonlu kavşaklarda sağa dönen araçlar yayaya öncelik verme kuralına uyararak bekleme durumunda olurlar. Ayrıca yaya yeşil ışık, süresinden yanıp sönen ışık süresine geçildiğinde yayaların yola girişi durur veya yayalar karşıdan karşıya geçişin son kesiminde iseler, hızlıca geçişi

tamamlamaları beklenir. Bu nedenle yaya ışığının yanıp sönmeye aralığının mevcut yaya geçiş süresinden daha kısa olması gerekir. Buna ek olarak yayaya yanıp sönen yeşil ışık sonunda araçlara daha uzun kırmızı aralık sağlanmalıdır (Alhajyaseen ve Miho, 2017). Yaya geçiş süresinin bitiş göstergesi ülkemizde ve Japonya'da yanıp sönen yeşil ışıkla, ABD'de "Yürümeyin" yazısı ile gösterilmektedir. Yaya geçiş süresini belirlemede temel sorun, yeşil yanarken geçmeye başlayan kişilere yeterli zamanı ayarlayabilmektir. Çünkü geçiş yapan kişi genç bir kişi olabildiği gibi, yaşlı kişiler de aynı süreyi kullanmaktadır. Buradan da yaya geçiş hızını etkileyen unsurlardan birinin yaş durumu olduğu görülmektedir. Tüm yayaları yavaş yürüten yaya olarak dikkate almak da çözüm değildir. Çünkü, geçiş süresinin fazla uzaması, yayaların başlangıç süresinden sonra bile yaya geçitlerine girmelerini önemli ölçüde teşvik edebilir veya araçların uzun kuyruklar oluşturmasını sağlayıp, kural ihlali ile kırmızı ışıkta geçmesine sebep olabilir. Aynı şekilde kısa yaya yeşil süresi de yayaların ışık ihlali yapmasını, kural dışı geçişlerini teşvik edecektir. Geçiş süresinin sonuna doğru yaya geçidine giren yayalar da çevredeki taşıtlara daha az dikkat gösterme eğilimindedir. Bu tip senaryolar araçlarla çarpışma riskini artırır (LaPlante ve Kaeser, 2007). Yayaların karşılaştığı tüm bu riskli durumlara rağmen, sinyal kontrollü yaya geçitlerinde ve sinyal kontrolsüz yaya geçitlerinde yaya hızlarının ayrıntılı analizi üzerine çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Muley vd., 2018).

Genellikle sinyalizasyonlu kavşaklardaki mevcut sinyal kontrol stratejileri düzenlenirken ve parametrelerin optimize edilmesi sırasında yaya akımından çok araç akımı dikkate alınmaktadır. Kural dışı davranışların artışı bu durumlarda sıklıkla görülmektedir. Başka bir deyişle, kentçi sinyalizasyonlu kavşaklarda sinyalizasyon sürelerini optimize etmeye yönelik çalışmalar, araç kapasitesini maksimize etmeye veya araç gecikmesini en aza indirmeye odaklanmıştır. Ağ düzeyinde, tipik yaklaşımlarda da araçlar için yeşil süreyi en üst düzeye çıkarmak veya trafikteki araç gecikmelerini en aza indirmek hedeflenmektedir. Mevcut sinyal kontrol stratejileri, yaya trafiği için yalnızca güvenlik hususlarına odaklanır ve verimlilik kontrolü kısmında yayaların gecikmesine yeterince dikkat etmemektedir. Bu tür bir amaç, araç trafiğinin yayalara hakim olduğu otoyollar ve kırsal yollar için uygundur. Bununla birlikte, orta ya da yoğun yaya talepleri olan şehir merkezleri kavşaklarında durum böyle değildir. Yaya geçiş sürelerinin göz

ardı etmek, yayalar için uzun gecikmelere yol açabilir, ayrıca sabırsız yayaların tehlikeli davranışlar sergilemesine, kurlsız geçişlere, yaya geçidi dışından araçların aralarından geçilmesine ve kavşak işletmesinin düşmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle şehir içi kavşak ve yol kesimlerindeki yaya hareketinin, bir başka deyişle yaya geçiş süresi ve hızlarının değerlendirilmesi, yaya davranışının anlamlandırılarak sinyal sürelerinin düzenlenmesinde önemli bir aşama olmaktadır (Onelçin ve Alver, 2017).

Araç akım oranına benzer olarak, yaya akımının da maksimum akım oranı durumundaki yoğunluğu, tıkanıklık yoğunluğuna doğru yükselir ve yaya akım oranı arttıkça yaya yürüme hızı azalmaktadır. Ayrıca yaya kapasite ve yoğunluğunun yaya geçiş genişliğine de bağlı olduğu bilinmektedir (Homburger ve Kell, 1981; Caputcu vd., 2016). Kent içi yüksek yoğunluklu akımın mevcut olduğu kavşak veya yol kesimlerindeki yaya tesislerinin tasarımında ve konumunun belirlenmesinde kullanılan yaya yürüyüş hızı için etkili olan parametreler: Yaya yoğunluğu, cinsiyet, grup büyüklüğü, yaşı ve çocuk yaya yüzdesi ve engelli yaya popülasyonu olarak sayılabilir (HCM, 2010; Liu ve Tung, 2014; Dommes vd., 2012; Guo vd., 2011). Sinyalizasyonlu kavşaklarda yaya süresi düzenlemelerinde, yaya yürüme hızı 1.2 m / sn olarak alınmaktadır (Önelçin, 2014 ve MUTCD, 2009; Homburger ve Kell, 1981). Fakat Garber ve Hoel (2009)'e göre yaya yürüme hızı 0.91 m/sn ile 2.43 m/sn arasında değişmektedir. Yaya hızının cinsiyete de bağlı olabileceğinden bahseden çalışmada kadın yayalar için ortalama 1.41 m/sn, yürüme hızı erkek yayalar için ise 1.50 ortalama yürüme hızı bulunmuştur (Garber ve Hoel, 2009). Yaya serbest yürüme hızı, yaş durumuna göre değerlendirildiğinde (Rouphail vd., 1998), toplam yayalarda yaşı yayaların (65 yaş ve üstü) oranı yüzde 0 ila 20 ise, ortalama yürüme hızı 1.21 m/s'dir. Yaşı insanlar toplam yayaların yüzde 20'sinden fazlasını oluşturuyorsa, ortalama yürüyüş hızı 0.91 m/s'ye düşer. Ayrıca engelli yayaların yoğun olduğu kavşaklarda yürüme hızı 0.6 m/sn ile 1.11m/sn arasında alınabilmektedir (Garber ve Hoel, 2009). Yaya akımındaki yavaş yürüyen çocukların yüksek yüzdesi de ortalama yaya hızını azaltabilecek diğer unsurlardandır (HCM, 2010). Verilen ortalama yaya hızı değerleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterebildiği için, yayaların yoğun olduğu kavşaklarda toplanacak verilerin

hassasiyetine dikkat edilmesi ve incelenen kavşak için gerekli parametrelerin göz önünde bulundurulması uygun olacaktır.

Çalışmanın amacı, yaya öncelikli hareketin desteklendiği kentiçi ulaşım planları için gerekli olan yaya hızları hakkında detaylı bilgiye ulaşmak, buna ek olarak yaya hızını etkileyen unsurları tespit etmektir. Özellikle sinyal kontrollü ve sinyal kontrolsüz yaya geçişlerinde, aynı bölge özelliklerine sahip yayaların hangi unsurlardan etkilendiğinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Isparta ili şehir merkezinde yayaların karşıdan karşıya geçiş davranışında kural dışı davranışların yoğun olarak gözlemlendiği kesimlerde yaya hızlarını etkileyen cinsiyet, yaş, yaya geçidi kullanımı, yaya sinyal süresi, yaya hacmi gibi faktörlerin, yaya davranışı açısından etkileri ve anlamlılık düzeyleri araştırılmıştır. Kesimler ve koşullar değiştikçe yaya hızlarındaki farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca inceleme için seçilen kavşak ve yol kesimindeki yaya geçiş problemleri için nasıl tedbirler alınabileceği tartışılmıştır.

## 2. Materyal Yöntem

Kaynak incelemelerinde kavşaklardaki yaya geçitlerinden geçen ve yaya geçidi dışından geçen yaya akımı hareketlerinde, yayaların hızlarının değişiminde etkili birçok faktör olduğu görülmüştür. Yapılmış çalışmalarda hızların, sinyalizasyonunun yeşil veya kırmızı oluşuna, yaya geçidi kullanıp kullanmamalarına, yaş durumlarına, cinsiyetlerine, yaya hacmine, grup halinde geçişe veya yalnız geçişe, eşya taşıyarak geçişe veya yüksüz geçişe bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmada incelenen kavşak kesimi için, yaya geçit uzunluğu altı metreyi geçmeyecek kadar kısa olması nedeniyle, literatürden tespit edilen parametrelerden grup geçiş parametresi, göz önünde bulundurulmamıştır. Ayrıca yayaların yük taşımadan geçiş yaptığı varsayılmıştır. Verilerin toplanması sırasında incelenen kavşak ve yol kesimleri için video kamera ile çekimler alınmıştır. Her kesimde öğlen (12:30 – 13:30) ve akşam (17:00- 18:00) zirve saatlerinde, hafta içi üç gün video çekimleri yapılmıştır. Çekimler Nikon D3100 kamera ile gerçekleştirilmiştir. Çekimlerin yapıldığı yaya hareketinin gözlemlendiği kesimlerin fotoğrafları Şekil 1'de, kesim plan çizimi ve kavşak yaklaşımı çizimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İncelen kavşak ve yol kesimleri



Şekil 2. İncelen kavşak ve yol kesimi planı

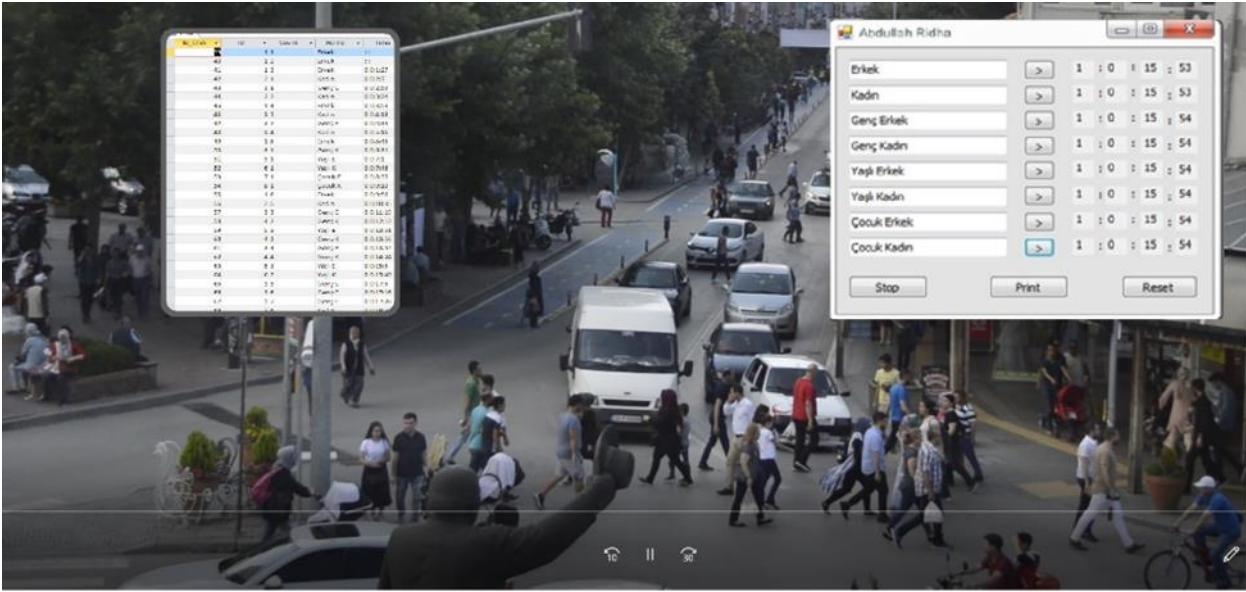
Çalışmada Isparta ili şehir merkezinde ana yolların kesiştiği bir kavşak ve bu kavşağın kolu olan Mimar Sinan Caddesi üzerindeki, 250 metrelik yol, kesimlere ayrılmıştır. 1. Kesim sinyalizasyonlu kavşak kesimidir. Kavşağın en yoğun olan kolundaki yaya geçidi hareketi göz önünde bulundurulmuş olup bu kol Kuzey-Güney doğrultusundaki koldur (Şekil 2). İncelenen kesimler: 1. Kesim-Kavşak yaya geçidi yaklaşık 40 m, 2. Kesim yaklaşık 40 m, 3. Kesim yaklaşık

35 m ve dördüncü Kesim yaklaşık 45 m. olarak incelenmiştir. 1. Kesim olan kavşak kolunda mevcut yaya geçidinin genişliği 2 m ve uzunluğu 3.7 m'dir. Yol iki şeritli ve tek yönlüdür. Kavşak yaklaşımında sağa dönüş şeridi mevcut olup, orta ayırma adası ile ayrılmıştır. Orta ada üzerinde yaya geçidi devam etmektedir. 1. Kesimde 40 metrelik kısım içinde yaya geçidi dışında da yaya geçişleri mevcuttur ve bu nedenle kavşak içi incelenirken iki alt kesime ayrılmıştır: 1. Kesim-a

(kavşak içi yaya geçidi), 1. Kesim-b (kavşak içi yaya geçidi dışı). Kavşak dışında ise yayaların en yoğun geçtiği kısımlar göz önünde bulundurularak kesimlere ayrılmıştır.

Bahsedilen ikinci, nc ve dördüncü kesimler, yayaların geçiş için yoğun kullandığı bölgelerdir ve yaya geçidi mevcut değildir. Ayrıca sinyalizasyonlu kavşak dışı bu kesimlerde yaya geçişleri yola dik gerçekleştiği, yaya geçidi çizimi olmadığı için geniş aralıklarla gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bölge, iş-alışveriş merkezleri ile

yoğun trafik ve yaya akımının bulunduğu bir cadde üzerindedir. Kamera çekiminden elde edilen yaya hızlarının hassas ve doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için Visual Basic programda hazırlanan yaya-sayım programı kullanılmıştır. Uygulama ekranı şekil 3'te görülen program ile üç kat yavaşlatılmış video görüntülerinden yaya hareketleri izlenirken yaya yaş ve cinsiyetleri çıkartılmıştır, yayaların karşıdan karşıya geçişleri sırasında şerit bazında geçiş süreleri elde edilebilmiştir.



şekil 3. Yaya sayımı ve geçiş süresi tespiti programı ile video analiz ekranı

Kamera çekimleri ile kavşak kolunda ve yol kesimlerinde olmak üzere toplam 3632 yaya rneği gözlenmiştir. Yaya hareketleri her iki yöndeki geçişleri için değerlendirilmiştir. 1. Kesim-a yaya geçidinde ortada ayırma adası olduğu için yayaların geçişi iki aşamalıdır. 1. Kesim-b'de ise tek aşamalı geçiş mevcuttur (şekil 2.5). 1.Kesim-a olarak isimlendirilen kavşak içi yaya geçidi kesimi ölümlerine ek olarak, 1. Kesim-b kavşak içi yaya geçidi kullanılmayan kesim; sinyal kontrolsüz ikinci, nc ve dördüncü kesim arter üzeri yaya geçişlerinde de aynı tipte veriler toplanmıştır. Tüm bunlara ek olarak, 1. Kesim-a'da ışık ihlali yapan yayalar da değerlendirilmiş, onların hızları ve hız değişimleri de tespit edilmiştir. Böylece kurallı ve kural dışı geçiş yapan yayalar arasındaki farklar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yayaların yaş grupları ocuk (7-14), Yetişkin (15-65), Yaşlı (65 ve üzeri) olarak, cinsiyetleri iki grup halinde (kadın, erkek) ve her şerit genişliği boyunca geçiş

süreleri elde edilmiş (geçiş srelerinden her geçiş bölgesi için hız değerleri tespit edilmiş), Excell programı kullanılarak değerlendirme için hazırlanmıştır. Eldeki verilerin basit istatistik tanımlamaları yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1'deki veriler değerlendirildiğinde, Standart Sapma ve Varyans değerler göstergeleri, sinyalizasyonlu yaya geçidi kesimindeki hız verilerinin daha geniş bir alanda sapma gösterdiği, diğer kesim hız verilerinin birbirine yakın sapmalar gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle yaya davranışları sinyalizasyonlu kavşak yaya geçidinde kavşak dışı kesimlerden farklı olacaktır. Buna benzer olarak, kaynak incelemelerinde sinyalizasyonlu kavşak kesimleri yaya geçidindeki yayalar ile yaya geçidi dışı yayaların davranışları farklılık gösterdiği, bu nedenle ayrı değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak her iki durum ayrı değerlendirilmiştir.

**Tablo 1.** İncelenen kavşak ve yol kesimleri ve verilerin tanımlanması

<i>Kesim</i>	<i>1. Kesim-a*</i>	<i>1. Kesim-b**</i>	<i>2. Kesim</i>	<i>3. Kesim</i>	<i>4. Kesim</i>
<i>Ölçüm Zamanı</i>	12:30-13:30	12:30-13:30	12:30-13:30	12:30-13:30	12:30-13:30
<i>Geçiş uzunluğu (m)</i>	7.3 m	5.6 m	3.6 m	3.6 m	3.6 m
<i>Yaya Sayısı</i>	844	1240	532	512	500
<i>Yetişkin %'si</i>	82.46	90.65	78.19	91.40	93.60
<i>Yaşlı %'si</i>	12.32	7.09	8.27	3.12	3.20
<i>Çocuk %'si</i>	5.21	2.26	13.53	5.47	3.20
<i>Kadın %'si</i>	53.55	31.61	44.36	46.09	32.80
<i>Erkek %'si</i>	46.45	68.39	55.64	53.91	67.20
<i>Ortalama hız (m/s)</i>	<b>0.88</b>	<b>0.94</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>	<b>0.93</b>
<i>Erkek hız ort. (m/s)</i>	0.89	0.93	0.94	0.95	0.94
<i>Kadın hız ort. (m/s)</i>	0.87	0.95	0.94	0.95	0.92
<i>Yaşlı hız ort (m/s)</i>	0.77	0.86	0.86	0.88	0.89
<i>Yetişkin hız ort(m/s)</i>	0.90	0.95	0.96	0.95	0.94
<i>Çocuk hız ort (m/s)</i>	0.78	0.90	0.89	0.92	0.91
<i>Standart Sapma</i>	0.150	0.113	0.085	0.097	0.090
<i>Varyans</i>	0.022	0.013	0.007	0.009	0.008
<i>V15</i>	0.690	0.852	0.890	0.850	0.851
<i>V50</i>	0.866	0.914	0.926	0.930	0.903
<i>V85</i>	1.032	1.032	1.040	1.026	1.023
<i>GHSF</i>	0.394	0.196	0.161	0.182	0.190

### 3. Bulgular ve Tartışma

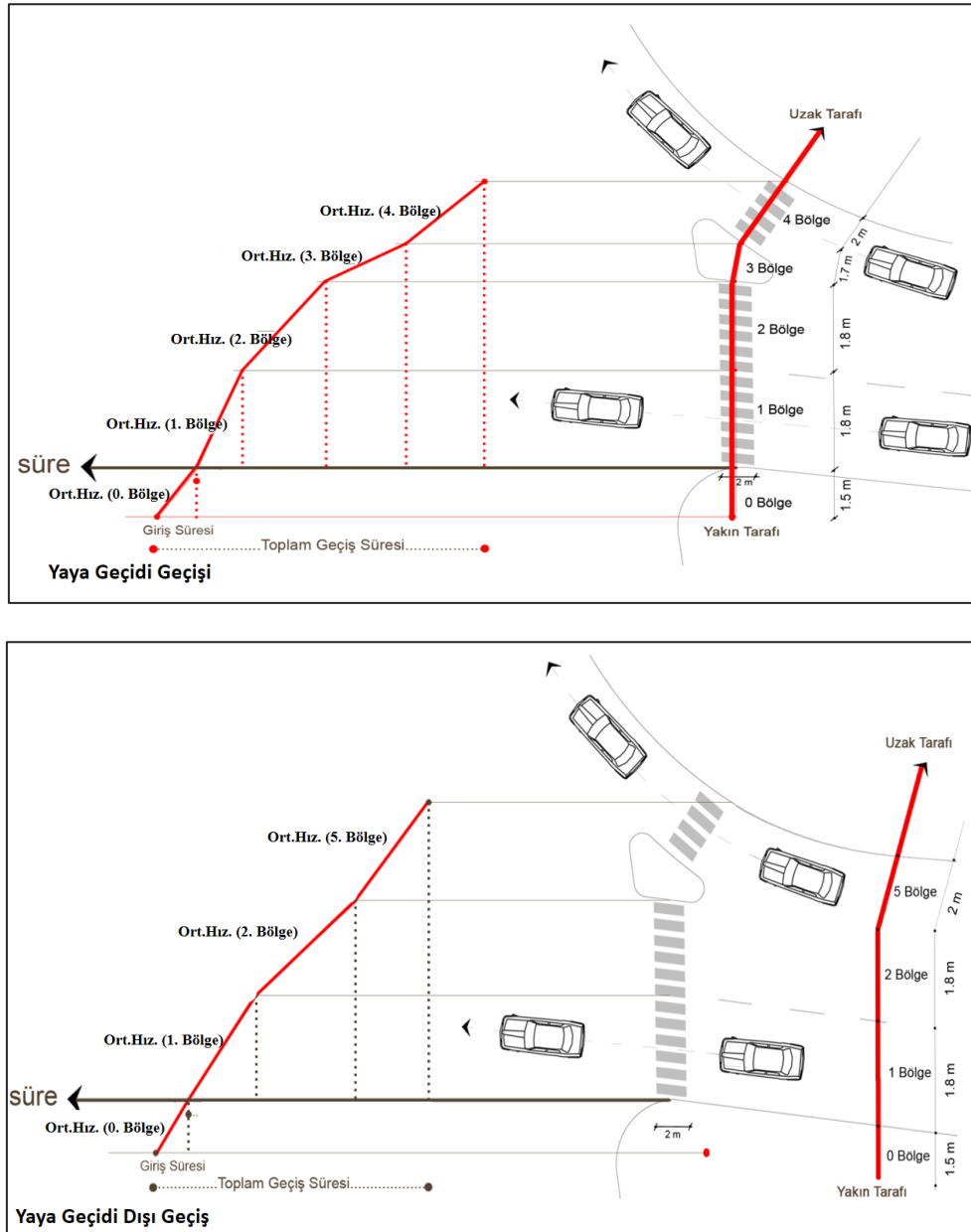
#### 3.1. Kavşak Kesimlerinin Değerlendirilmesi

Yaya hızının değerlendirmede öncelikle yayanın geçiş yaptığı yaya geçidi, boyuna yönde bölgelere ayrılmış ve her bölgedeki yaya geçiş hızlarının ortalamaları kullanılarak Şekil 4'teki gibi ortalama hız-konum grafikleri oluşturulmuştur.

Şekil 4'teki çizimde bulunan grafikte düşey eksen konumu, yatay eksen zamanı ve eğimi hız değerini vermektedir. Sinyalizasyonlu kavşak kesimi (1. Kesim-a ve 1.Kesim-b) için yaya geçidini kullanan ve yaya geçidi dışından (üç veya dört metre geriden veya duran araçlar arasından) geçen yaya geçişleri hız ortalamaları ayrı ayrı çizilmiştir. Hız-geçiş süresi grafiği incelendiğinde, karşıdan karşıya geçmeye hazırlanan yayaların 0. bölgede yani kaldırımında, düşük hızda yürürken yolun birinci bölgesinde daha hızlı geçtiği ikinci bölgede, yolu yarıladıktan sonra, hızını düşürdüğü görülmektedir. Orta ada üzerinde hız biraz daha düşmekte, dördüncü bölgede ise yine hız kazanmaktadır. Kavşak içi yaya geçidi dışından geçişte ise araçların hemen önünden veya arasından geçen yayaların geçiş hareketlerinde yayalar orta adayı kullanmadığı için üç bölgeye

ayrılmıştır. Yaya geçidi dışı kesimden geçen yayaların daha yüksek hızda bir ortalamaya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4). Özellikle orta ayırma adası olmayan bu kesimde yayaların kendini daha az güvende hissetmesi ve araçlara daha yakın olması geçiş hızını arttırdığı düşünülmektedir.

Tablo 1'deki bilgiler ışığında 1. Kesim-a'da yaşlı yayaların yoğun olarak sinyalizasyonlu yaya geçidini kullandığı, yaşlı yayaların sinyalizasyonlu kesimde yaya geçidi dışı olan 1. Kesim-b'yi çok az kullandığı görülmüştür. Bununla birlikte yaya geçidi dışı geçişlerdeki (kavşak dışı diğer kesimler dahil) tüm yayaların ortalama hızlarının daha yüksek olması dikkat çekicidir. Bunun sebebi, kavşak dışındaki yol kesimlerinde belirgin bir yaya geçidi çizgisi olmaması, yaya geçidi dışında karşılıklı etkileşiminin fazla yaşanmaması ve yine bu bölgede de güvensiz hissettikleri için hızlarını arttırmaları olabilir. İncelenen ikinci, üçüncü ve dördüncü yol kesimlerinde ise yaya geçidi ve sinyalizasyon olmayan, yayaların geçiş yaptığı kesimler olduğu için yaya hızları kavşak yaya geçidi hızlarından fazla ve kavşak içi fakat yaya geçidi dışı olan 1. Kesim-b hızlarına yakın değerler almıştır (Tablo 1).



**Şekil 4.** Kavşak içi ortalama yaya hızlarının yaya geçidi içi ve yaya geçidi dışı geçişlerinin gösterimi (1.Kesim-a ve 1.Kesim-b)

Sinyalize kavşak kesiminde (1.Kesim-a ve 1.Kesim-b) yaya geçiş hızını etkileyen ana faktörleri (yaş, cinsiyet, sinyale uyumluluk, yaya geçidinden geçip geçmeme durumu) ve yaya hızına etki derecelerini araştırmak için Anova testi uygulanmıştır. Anova testi için SPSS 22.0 yazılımı kullanılmıştır. Bağımsız değişken sayısı ikiden fazla olduğu durumda, ortalamalar arasında anlamlı bir fark olup olmadığının kontrolü için ikişerli gruplara ayrılarak t testi de yapılabilir fakat bu durum 1. Tip hata oranının çok yükselmesine sebep olmaktadır. Ne kadar fazla test yapılırsa, 1. Tip hatası o kadar yükselebilmektedir. Anova testinde de İki Yönlü Anova Testi tercih edilmiştir çünkü iki yönlü Anova testi ile hız üzerinde yaş ve cinsiyet etkileri

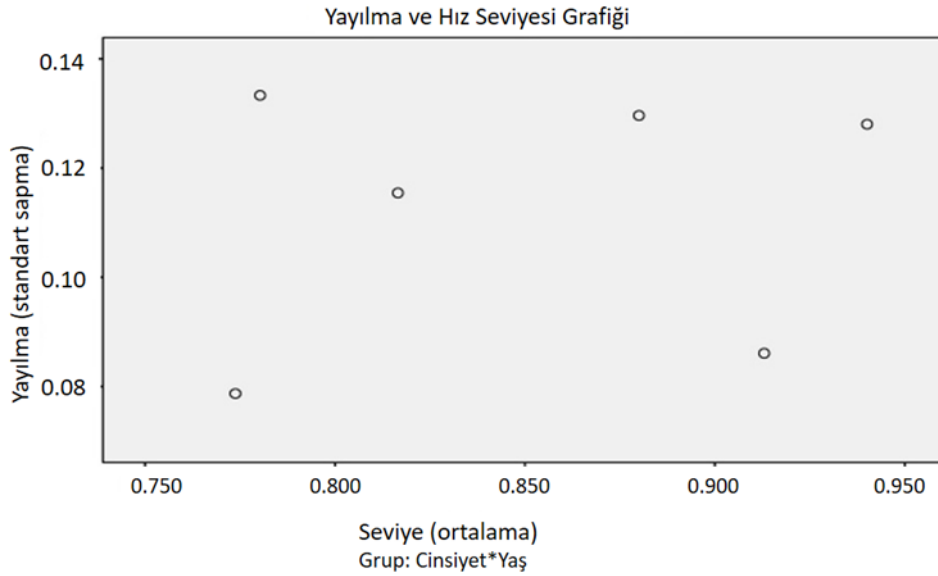
ayrı ayrı hesaplanırken yaş ve cinsiyetin birbirleri arasındaki etkileri de göz önünde bulundurulabilmiştir. Böylece kullanılan İki Yönlü Anova testinde 1. Tip hata oranı yükselmeden hem ikiden fazla ortalamaların karşılaştırılması mümkün olmuş, hem de kendi içinde birbirleri ile etkileşimleri dikkate alınabilmiştir. İlk olarak iki bağımsız değişkenin (yaş ve cinsiyet), bir bağımlı değişken (yaya hızı) üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu aşamada hız üzerinde yaş ve cinsiyet etkileri ayrı ayrı hesaplanırken yaş ve cinsiyetin birbirleri arasındaki etkileri de göz önünde bulundurulabilmiştir. Tablo 2'deki test sonuçlarında cinsiyet ve yaşın etkileşim içinde olmadığını görmek mümkündür.

**Tablo 2.** Tanımlayıcı istatistikler

Cinsiyet	Yaş	Ortalama	Standart Sapma	N
Erkek	Yetişkin	0.94007	0.128019	1048
	Çocuk	0.78028	0.133308	36
	Yaşlı	0.82246	0.086479	156
	Toplam	0.92063	0.131879	1240
Kadın	Yetişkin	0.91162	0.132769	772
	Çocuk	0.88002	0.129621	36
	Yaşlı	0.77378	0.078706	36
	Toplam	0.90439	0.133711	844
Toplam	Yetişkin	0.92800	0.130778	1820
	Çocuk	0.83015	0.139874	72
	Yaşlı	0.81333	0.086989	192
	Toplam	0.91406	0.132832	2084

Bununla birlikte yayalarda yaş değıştikçe hız ortalaması farklılık gözlenmektedir. Fakat Tablo 2 ile yalnız genel düzeyde yorum yapılabilir. Bu nedenle önce varyansların eşitliği kontrol edilmiş, daha sonra varyansların eşitliği sağladığı için Anova sonuçlarında anlamlılık düzeyine bakılmıştır. Cinsiyet değışkeninde iki grup (kadın, erkek); yaş değışkeninde ise üç grup (yetişkin, çocuk, yaşlı) bulunmaktadır. Bu gruplar iç içe düşünıldüğünde toplam 6 grup oluşmaktadır.

Nokta grafiğindeki bu altı nokta bu grupları göstermektedir. Varyansların eşitliği sağlamıştır. Şekil 5'teki varyans aralıklarına ve noktaların dağılımlarına bakılırsa varyansların eşitliği varsayımının sağladığı görsel olarak da görülmektedir.

**Şekil 5.** Varyans eşitlik test grafiği

İkili Anova test sonuçlarına (Tablo 3) göre öncelikle Sig. sütunu incelenmiştir. Buradaki değerler 0.05'in altında ise bağımlı değışken üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu nedenle yaş değışkeninin hız üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Cinsiyet değışkeninin tek başına hız üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Cinsiyet ve yaş değışkeninin etkileşiminin etkisinin de %95 güvenle, faktör düzeyinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur. Etki derecesi ise faktörlerin etki büyüklüklerini belirtmektedir. Bu değerler, SPSS programı kullanılarak elde edilmiş, bağımsız değışkenin bağımlı değışkene etki oranını göstermektedir. Değışken için tahsis edilmiş varyansın, değışken için tahsis edilmiş

varyans ile hataya kalan varyansın toplamına oranı olarak hesaplanmaktadır. Bağımsız değışken etkisinin ne düzeyde olduğunu yorumlamamızı kolaylaştırmaktadır. Burada sadece yaş etkisinin %6.5 gibi ağırlık etkisi olduğu söylenebilmektedir.

%95 güvenle, yaş faktörünün ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık mevcut olması nedeniyle bu farklılıkların düzeylerinin tespiti için çoklu karşılaştırma yapılmıştır. Çoklu karşılaştırma için Post-Hoc testlerinden yaygın kullanılan Tukey Testi SPSS programı kullanılarak uygulanmıştır. Varyansların eşitliği varsayımını da sağladığı için Tukey HSD testine bakılmıştır (Tablo 4).



**Tablo 3.** Yaş ve cinsiyet için parametreler arası ve parametre etkilerinin incelenmesi

Parametreler	Tip III Karelerin Toplamı	df	Ortalama kare	F	Sig.	Etki Derecesi
Cinsiyet	0.006	1	0.006	0.346	0.556	0.000
Yaş	2.326	2	1.163	72.487	0.000	0.065
Cinsiyet * yaş	0.302	2	0.151	9.405	0.000	0.009

**Tablo 4.** Çoklu karşılaştırma, Tukey HSD testi

(I) Yas	(J) Yas	Ortalama Farklar (I-J)	Std. Hata	Sig.	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Alt sınır
Yetişkin	Çocuk	0.09785*	0.015219	0.000	0.06216	0.13355
	Yaşlı	0.11467*	0.009611	0.000	0.09213	0.13721
Çocuk	Yetişkin	-0.09785*	0.015219	0.000	-0.13355	-0.06216
	Yaşlı	0.01681	0.017503	0.602	-0.02424	0.05787
Yaşlı	Yetişkin	-0.11467*	0.009611	0.000	-0.13721	-0.09213
	Çocuk	-0.01681	0.017503	0.602	-0.05787	0.02424

Ortalama farklar kolonuna bakıldığında, yanlarında ‘\*’ işareti olan alt kümeler arasında bir farkın olduğu söylenebilir. Burada ‘\*’ işareti Sig. Kolonu nun 0.05’in altında olanlara konmuştur. Yetişkinlerin ortalama hızları ile çocukların ortalama hızları arasında 0.097 fark vardır ve bu fark anlamlıdır. Farkın eksi olarak gösterilmesi, çocukların hız ortalamasının daha düşük olması nedeniyledir. Yaşlıların hız ortalaması ise yetişkinlerin hız ortalamasından 0.114 daha düşüktür. Çocuk ve yaşlı hız ortalamaları arasındaki farkın önem derecesi 0.05’ten büyük olduğu için anlamlı değildir. Bu şartlar altında, yeni yapılacak yaya geçidi çalışmalarında yaş gruplanması yapılırken, yeni bir grup oluşturulmak istendiğinde yetişkinler bir grup, yaşlı ve çocuklar birleştirilmiş ikinci bir grup halinde düşünülebilir.

Anova testi sonucu yaş grubu etkisinin önemli olduğu cinsiyet etkisinin ise yaya hızları üzerinde önemli olmadığı sonucu çıkmıştır. Bununla birlikte diğer parametrelerin (sinyalizasyon uyum durumu ve yaya geçidi kullanımı) etkilerinin de incelenmesi gerekliliği açıktır. Diğer bir Anova analizinde, yaş parametresi ile sinyalizasyon uyum durumunun (kırmızı ışıkta geçen veya yeşil ışıkta geçen yayalar) ve yaya geçidi kullanımının (yaya geçidinden geçen yayalar veya yaya geçidi dışı ile duran araçların arasından geçen yayalar) yaya hızı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kontrol amaçlı cinsiyet parametresi de yine bu analizde

yer almıştır. Yeni parametreler eklenerek elde edilen Anova analizi sonuçları Tablo 5’te verilmiştir.

Yaş parametresi yine hız üzerinde etkili bir parametre olarak (Sig=0.000<0.05), cinsiyetin ise hıza etkisi önemsiz görülmektedir (Sig=0.413<0.05). Sinyalizasyon kırmızı ve yeşil durumda iken yaya hızına etkisi önemli görülmektedir (Sig=0.359>0.05).

Yaya geçidinden geçerken ki hızların, yaya geçidi dışından ve duran araçlar arasından geçerken ki yayaların hızlarından düşük olması yaya geçidi etkisini göstermektedir. Anova tesiti sonucunda yaya geçidi kullanımı etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir (Sig=0.000<0.05). Bununla birlikte, bazı parametrelerin birbiri ile etkileşim halinde olduğu da görülmüştür. Örneğin yaya geçidi kullanımı ve sinyalizasyon durumu birbiri ile önemli bir etkileşim içindedir ve bu durum da yaya hızlarını en fazla etkileyen parametre olmaktadır. Sinyalizasyon tek başına yaya hızı üzerinde etkili değilken yaya geçidi kullanıp kullanmama durumunun sinyalizasyon durumu ile birleşmesi, yaya hız değişimi etkisinde sinyalizasyonun etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca beklendiği şekilde yaya geçidi kullanımında yaş etkileşimi de mevcut olup, iki parametre birleşince yine hızı etkilemektedir. Diğer parametre etkileşimlerinin yaya hızına etkisinin önemsiz olduğu söylenebilir.

**Tablo 5.** Anova Sonucu Etkili Olabilecek Parametreler ve Parametre İçi Etkileşim

Parametreler	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig.	Etki Derecesi
Yaş	0.371	2	0.185	14.374	0.000	0.014
Cinsiyet	0.009	1	0.009	0.671	0.413	0.000
Sinyalizasyon Durumu	0.011	1	0.011	0.840	0.359	0.000
Yaya Geçidi Kullanımı	0.165	1	0.165	12.825	0.000	0.006
Yas * Sinyalizasyon Durumu	0.126	2	0.063	4.888	0.008	0.003
Yas * Yaya geçidi kullanımı	0.141	2	0.070	5.462	0.004	0.005
Yas * Cinsiyet	0.127	2	0.063	4.920	0.007	.003
Sinyalizasyon_Durumu * Yaya_Gecidi Kullanımı	0.762	1	0.762	59.068	0.000	0.028
Sinyalizasyon Durumu * Cinsiyet	0.018	1	0.018	1.432	0.231	0.001
Yaya Geçidi Kullanımı * Cinsiyet	0.090	1	0.090	6.964	0.008	0.003
Yas * Sinyalizasyon Durumu * Yaya_Gecidi	0.012	1	0.012	0.893	0.345	0.000
Yas * Sinyalizasyon Durumu * Cinsiyet	0.001	1	0.001	0.039	0.843	0.000

### 3.2. Sinyalizasyonsuz Kesimlerdeki Yaya Geçişlerinin Değerlendirilmesi

Sinyalizasyonun bulunmadığı ve yaya geçidi işaretlerinin olmadığı yol kesimi olan ikinci üçüncü ve dördüncü inceleme kesimlerinde ortalama hızın kavşaktakilerden çok daha fazla olduğu ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 1). Yol kesiminde belirtilmiş bir yaya geçidi, sinyalizasyon vb. yayalar için geliştirilmiş işaretleme mevcut olmaması nedeniyle bu kesimlerdeki yayaların hacmi ile yaya hızı arasındaki ilişki değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Hız bağımlı değerşkeni ile yaya hacmi arasındaki ilişkiye bakılırken, Rengaraju ve Rao (1995) tarafından kullanılmış, Geçiş Hızı Sapma Faktörü olarak adlandırılan bir faktör belirlenmiştir. Bu faktör, geçiş hızı değerşimi veya ortalama geçiş hızının oranı olarak tanımlanmıştır. İstatistikte verilerin tanımlanması ve yorumlanması için de kullanılan kartil aralıkları olarak da isimlendirilen, hızlar için de yoğunlukla 85. Ve 15. kartil değerlerinden faydalanılan bu değerlerle, Denklem 1 kullanılarak her kesim için bir hız sapma faktörü elde edilmiştir (Tablo. 1).

$$V_{15} = 0.15 \times (n + 1)$$

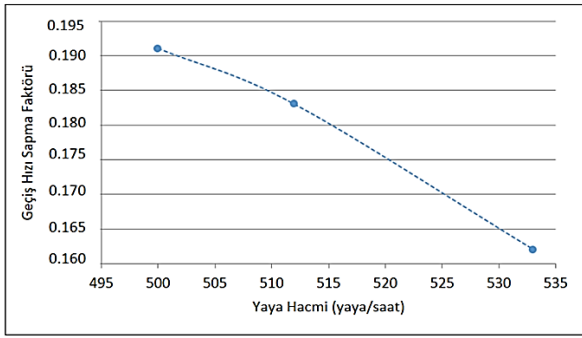
$$V_{50} = 0.5 \times (n + 1)$$

$$V_{85} = 0.85 \times (n + 1)$$

$$GHSF = \frac{(V_{85} - V_{15})}{V_{50}} \quad (1)$$

$n$ : yaya sayısı;  $V_{15/50/85}$ : onbeşinci/ellinci/seksenbeşinci kartil hız aralıkları; GHSF: Geçiş Hızı Sapma Faktörü, olarak isimlendirilir. Elde edilen değerlerle oluşturulan yaya hacmi GHSF arasındaki ilişki grafiğinde, yaya hacmi arttıkça yaya geçişindeki hız sapmalarında azalma olmaktadır. Başka bir deyişle hacim arttıkça hız değerşimi düşmektedir. Elde edilen sonuç Rengaraju ve Rao (1995) ile Marisamynathan ve Perumal (2014) çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Sinyalizasyonsuz ve yaya geçidi olmayan yol kesimlerinde kararsız araç trafiğı akımı mevcutken karşıya geçmek isteyen yayalar yüksek hız ile hareket etmişlerdir. Ayrıca bu kesimlerde karşıdan karşıya geçiş genişliğinin fazla olması karşılıklı yaya etkileşimini azalttığı için yaya hızları arasında hız farkları azalmış görünmektedir. Bilindiğı gibi, düşük yaya hacmi olduğunda, yaya geçidi hızı bağımsızdır ve yayalar hiçbir zaman takım ve yön etkisi ile karşı karşıya kalmaz. Çok sayıda yaya olduğunda, takım ve yön etkisi yayaları birbirine bağı olmaya zorlar. Grubun geçiş hızı, önde giden yaya veya diğer taraftan yaklaşan yayalar tarafından etkilenir

ve bu nedenle yaya hacmi arttıkça GHSF deđeri dūřmūřtūr. Fakat incelenen kesimde araç yaya etkileřimi artmıř, yayaların gūvenlik dūzeyi dūřmūřtūr (řekil 6).



şekil 6. GSFH ile yay hacmi arasındaki ilişki

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yaya hızları, yaya Őncelikli kent planlarında gūvenli yaya geçidi inřa edilmesinde Őnemli bir ihtiyaçtır. Çalışmada kent merkezi yaya hareketlerinde karşıdan karşıya geçiş davranışının incelenmesi, yaya karakteristiklerinin ve yaya kurallarına uyum durumunun geçiş hızı üzerindeki etkisi, mikroskobik dūzeyde incelenmiştir. Yaya hareketleri için veri toplanırken, sinyalizasyonlu kavşakta, kavşak içi yaya geçidini kullanan yayalar ve yaya geçidi dışından geçen yayalar olarak iki grup halinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sinyalizasyonlu kavşak kesimi yeşil ışıkta geçen ve kırmızı ışıkta geçen yayalar olarak değerlendirilmiştir. Ana yol üzerinde yaya geçidi olmayan kesimlerden geçen yayaların hızları da ayrıca incelenmiştir.

Çalıřmada seçilen sinyalizasyonlu ve sinyal kontrolsūz kesimlerde yaya geçiř hızını etkileyen faktōrler incelendiđinde cinsiyet etkisinin çok būyūk bir Őneme sahip olmadıđı, yař grubu etkisinin daha fazla (%6.5 oranında) Őneme sahip olduđu gōrūlmūřtūr. Kavřak içinde yaya geçidinden geçmeye hazırlanan yayaların kaldırımında, dūřūk hızda yūrūrken yolun birinci bōlgesinde daha hızlı geçtiđi ikinci bōlgede, yolu yarıladıktan sonra, hızını dūřūrdūđu gōrūlmektedir. Yaya geçidi dıřı kesimden geçen yayaların daha yūksek hızda bir ortalamaya sahip olduđu gōrūlmūřtūr.

Kavşak içi kurala uyan ve yeşil ışıkta geçen yaya sayıları ile kurala uymayıp kırmızı ışıkta geçen yayalar ayrı olarak gruplandırılmış; yaya geçidi kullanan ve yaya geçidi dışından hareket eden yaya grupları ayrı gruplandırılmıştır. Daha sonra

yaya geçidi etkisi ile sinyalizasyon etkisi için de Anova analizi tekrarlanmıřtır. Sonuçta her bir durum için farklı senaryoların deđerlendirilmesi sađlanmıřtır. Yaya geçidinde sinyalizasyona uyum daha fazladır. Yaya geçidinin hemen dıřında kavřak içinde sinyalizasyona uyum azdır. Kavřak kesimini kullanan yayaların %60'ı yaya geçidi dıřını kullanmaktadır. Bu da yaya geçidi geniřliđinin bu kavřak için uygun olmayıřının bir gōstergesidir. Yaya geçidi kullanmayıp kavřak içinden araçların arasından geçen yayaların hızları yūksektir. Bunun nedeni, yayalar aynı kentin insanı olmasına rađmen araç etkileřimi arttıđı riskli kesimlerdeki geçiřlerde kendilerini gūvensiz hissettikleri için daha yūksek hızda geçmeleri olabilir. Yaya geçidindeki yaya hızlarının dūřūk olduđu tespit edilmiř, bu da karřılıklı yaya etkileřiminin fazla olmasının etkisi būyūktūr. Ayrıca kavřak içi yaya geçidinden geçen ortalama yaya yařı kavřak içinde yaya geçidi dıřından geçen yaya yař ortalamasından yūksektir. Bu da yařlı kiřilerin yaya geçidini tercih ettiđinin de gōstergesidir. Daha sonra yapılacak yaya geçidi iyileřtirmeleri ve yaya sinyalizasyon sūresi dūzenlemeleri için seçilecek parametrelerin Őnemi sırasıyla: Yaya yařı, yaya geçidi kullanımı ve yaya geçidinde sinyalizasyona uyum olarak, bulunmuřtur.

İki Yōnlū Anova Analizi sonucunda, sinyalizasyonun yeřil veya kırmızı oluřunun kendi bařına hızı etkileyen bir faktōr olmadıđı; yaya geçidi kullanımının kendi bařına yaya hızı üzerinde etkili olduđu gōrūlmūřtūr. Bu durum ve yaya etkileřimin fazla oluřu seçilen kavřaktaki yaya geçidi geniřliđinin yeterli olmadıđı gōstergesini desteklemektedir.

Çalıřma sonucunda yaya geçitlerinin yeterli geometrik Őllere sahip olmaması durumunda yayaların karřılıklı etkileřimden Őnemli Őlde etkilendiđi ve yayaların gūvenli olmayan kesimlerden geçiř yaptđı gōrūlmūřtūr. Buna ek olarak sinyal kontrolsūz ve yaya geçidi olmayan kesimlerdeki geçiřlerde yaya hacmi azalmakta fakat yaya hızı bađımsız hale gelmektedir. Bu kesimlerde araç yaya etkileřimi artmakta, yaya gūvenliđi dūřmektedir. Yaya geçidi olan kesimde ise geniřliđin dođru tasarlanmaması, mevcut yaya hacmine yeterli hizmet verememesi problemini oluřurmakta, bu nedenle yaya hızları dūřmekte, kural dıřı geçiřler de artmaktadır. Sonuç olarak yaya geçidi geniřliđi ve konumu Őnemli birer parametredir. Gelecekte yapılacak çalıřmalarda yaya geçidi geniřliđinin, yaya etkileřiminin ve yaya geçidi konumunun ele alınması gerektiđi ortaya çıkmaktadır. Bu konularda yapılacak

detaylı çalışma sonuçları yayaların yaya geçidi kullanımını arttıracaktır.

Çalışmada ulaşılan bir başka sonuç da çalışma kesimleri için yaya ortalama hızlarının literatürde görülen hız ortalamalarından daha düşük olduğudur. Bölgesel olarak daha fazla yaya geçidinin yine bu çalışmada olduğu gibi mikro düzeyde incelenmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca yaya hızlarının mevsimsel olarak da değişme gösterebileceği, bu nedenle gelecekte farklı mevsimlerde de incelemeler yapılması önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Alhajyaseen, W.K.M. ve Miho I.A., 2017. Studying Critical Pedestrian Behavioral Changes for the Safety Assessment at Signalized Crosswalks. *Safety Science*, 91, 351-360.
- Caputcu, M., Sengoz, B., Ozuysal, M., Tanyel, S., Kaplan, S. ve Karabayir, A., 2016. Use of Laser Measurements and Video Images to Investigate Pedestrian Movement Along Non-Uniform Sidewalks. In *Proceedings of the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16)*, March 2016, Prague, Czech Republic, pp. 30-31.
- Dommes, A., Cavallo, V., Vienne, F. ve Aillerie, I., 2012. Age-related Differences in Street-crossing Safety Before and After Training of Older Pedestrians. *Journal of Accident Analysis and Prevention*, 44, 42-47.
- Garber, N. ve Hoel, L., 2009. *Traffic and Highways Engineering*, West Publishing Company, Virginia.
- Guo, H., Gao, Z., Yang, X. ve Jiang, X., 2011. Modeling Pedestrian Violation Behavior At Signalized Crosswalks In China: A Hazards-Based Duration Approach. *Journal of Traffic Injury Prevention*, 12, 96-103.
- HCM, 2010. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research, Washington.
- Homburger, W.S. ve Kell, J.H., 1981. *Fundamentals of Traffic Engineering Course Notes*. 10th Edition, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- LaPlante, J. ve Kaeser, T.P., 2007. A History of Pedestrian Signal Walking Speed Assumptions. In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Urban Street Symposium*, June 2007, Seattle, Washington, USA, pp. 1-8.
- Liu, Y.C. ve Tung, Y.C., 2014. Risk Analysis of Pedestrians' Road-Crossing Decisions: Effects of Age, Time Gap, Time of Day and Vehicle Speed. *Journal of Safety Science*, 63, 77-82.
- Lobjois, R., Benguigui, N. ve Cavallo, V., 2013. The Effects of Age and Traffic Density on Streetcrossing Behavior. *Journal of Accident Analysis and Prevention*, 53, 166-175.
- MUTCD, 2009. *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*, <http://mutcd.fhwa.dot.gov>
- Marisamynathan, P.V., 2014. Study on Pedestrian Crossing Behavior at Signalized Intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(2), 103-110.
- Muley, D., Alhajyaseen, W., Kharbeche, M. ve Al-Salem, M., 2018. Pedestrians' Speed Analysis at Signalized Crosswalks. *Procedia Computer Science*, 130, 567-574.
- NPA., 2012. *Traffic Accident Situation: Monthly Report*. National Police Agency, <http://www.npa.go.jp/english>
- Önelçin, 2014. Sinyalize Kavşaklarda Yayaların Karşıdan Karşıya Geçme Davranışlarının İncelenmesi ve Yayaların Güvenli Aralık Algılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Onelcin, P. ve Alver, Y., 2017. The Crossing Speed And Safety Margin of Pedestrians at Signalized Intersections. *Transportation Research Procedia*, 22, 3-12.
- Rengaraju, V.R. ve Rao, V.T., 1995. Vehicle-Arrival Characteristics at Urban Uncontrolled Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 121(4), 317-323.
- Rouphail, N.M., Hummer, J.E., Allen, D.P. ve Milazzo, J.S., 1998. Recommended Procedures Chapter 13, "Pedestrians," of the *Highway Capacity Manual: Report FFHWARD-98-107*, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
- Sadeghpour, M., Sanajou, K. ve Öğüt, K.S., 2017. Determination of Pedestrian Arrival Headway Distribution at Signalized Crosswalks In Istanbul. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 8(4), 325-337.
- Tuydes-Yaman, H. ve Karatas, P., 2017. Evaluation of Walkability and Pedestrian Level of Service, in: Knoflach, H., Ocalir-Akunal, E.V. (Eds), *Engineering Tools and Solutions For Sustainable Transportation Planning*, IGI Global, pp. 30-57.

## On A New Almost Convergent Sequence Space Defined By The Matrix $\Delta_u^\lambda$

### $\Delta_u^\lambda$ Matrisi Yardımıyla Tanımlanan Yeni Bir Hemen Hemen Yakınsak Dizi Uzayı Üzerine

Gülşen KILINÇ\*

Adıyaman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Matematik Öğretmenliği Bölümü, 02040, Adıyaman

• Geliş tarihi / Received: 29.10.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 09.01.2020

#### Abstract

In this study, it is defined almost sequence spaces  $f(\hat{\Lambda})$ ,  $f_0(\hat{\Lambda})$  and  $fs(\hat{\Lambda})$  as domain of the matrix  $\Delta_u^\lambda$ . Some topological properties of these spaces are investigated and determined  $\beta$ -,  $\gamma$ -duals of aforementioned sequence space. Furthermore, it is characterized the class of matrices  $(f(\hat{\Lambda}):\mu)$ ,  $(fs(\hat{\Lambda}):\mu)$ ,  $(\mu: f(\hat{\Lambda}))$  and  $(\mu: fs(\hat{\Lambda}))$ , where  $\mu$  is any given sequence space.

**Keywords:** Almost Convergent, Dual Spaces, Matrix Transformations, Matrix Domain of a Sequence Space, Sequence Spaces

#### Öz

Bu çalışmada  $\Delta_u^\lambda$  matrisinin etki alanları olarak  $f(\hat{\Lambda})$ ,  $f_0(\hat{\Lambda})$  ve  $fs(\hat{\Lambda})$  hemen hemen yakınsak dizi uzayları tanımlandı. Bu uzayların bazı topolojik özellikleri incelendi ve  $\beta$ -,  $\gamma$ -dualleri belirlendi. Ayrıca,  $(f(\hat{\Lambda}):\mu)$ ,  $(fs(\hat{\Lambda}):\mu)$ ,  $(\mu: f(\hat{\Lambda}))$  ve  $(\mu: fs(\hat{\Lambda}))$  matris sınıfları karakterize edildi.

**Anahtar kelimeler:** Hemen Hemen Yakınsaklık, Dual Uzaylar, Matris Dönüşümleri, Bir Dizi Uzayının Matris Etki Alanı, Dizi Uzayları

\* Gülşen KILINÇ; gkilinc@adiyaman.edu.tr, Tel: (0530) 870 70 88, orcid.org/0000-0002-9657-2577

**1. Introduction**

Let us denote space of functionals from  $\mathbb{N}$  to  $\mathbb{C}$ , by  $w$ , where  $\mathbb{N}$  and  $\mathbb{C}$  show sets of natural numbers and complex numbers, respectively. When the sequence space is called, it is understood a linear subspace of  $w$ . The famous classic sequence spaces are  $l_\infty, c, c_0, l_p$ . These symbols represents sequence space all bounded, convergent, null and absolutely  $p$  –summable sequences, respectively. Also, we denote the spaces of all bounded and convergent series by  $bs$  and  $cs$ .

Let  $A = (a_{nk})$  be an infinite matrix of real or complex numbers,  $\vartheta$  and  $\sigma$  optional sequence spaces. If  $x \in \vartheta$  implies that sequence  $Ax = \{(Ax)_n\} \in \sigma$ , where sequence  $Ax$  is the  $A$ -transform of the sequence  $x$  and the general term of this sequence is

$$(Ax)_n = \sum_k a_{nk}x_k, \tag{1}$$

in this case, for each  $n \in \mathbb{N}$ , the series on the right side of the above equation is convergent. Then we say that the matrix  $A$  is a matrix transformation from  $\vartheta$  to  $\sigma$  and denote it by  $A: \vartheta \rightarrow \sigma$ . The class of such matrices is showed by  $(\vartheta: \sigma)$ .

For simplicity in notation, here and in what follows, the summation without limits runs from 0 to  $\infty$ .

A matrix  $E$  is called triangle, if main diagonal’s elements aren’t zero and elements on the top of the main diagonal are zero. For triangle matrices  $E, F$  and a sequence  $y$ , the equality  $E(Fy) = (EF)y$  holds. Further, a triangle matrix  $W$  uniquely has an inverse  $W^{-1} = Z$ , also a triangle matrix. The equality  $y = W(Zy) = Z(Wy)$  yields for talked about matrices.

If there exists a single sequence  $(t_k)$  of scalars satisfied the following equation, then the sequence  $(t_k)$  is known a *Schauder basis* (or shortly *basis*) for a normed sequence space  $\vartheta$ , where mentioned above equation is, for every  $y \in \vartheta$ ,

$$\lim \|y - \sum_{n=0}^k \alpha_n t_n\| = 0 \tag{2}$$

The series  $\sum_n \alpha_n t_n$  which has the sum  $y$  is called the enlargement of  $y$  according to  $(t_k)$  and written as  $y = \sum_n \alpha_n t_n$ . *Schauder basis* and *algebraic basis* coincide for finite sequence spaces.

The matrix domain  $\vartheta_A$  of an infinite matrix  $A$  in a sequence space  $\vartheta$  is defined by

$$\vartheta_A = \{y = (y_k) \in w: Ay \in \vartheta\} \tag{3}$$

which is a sequence space. Although in the most cases, the new sequence space is the expansion or the contraction of the original space  $\vartheta$ , in some cases, these spaces are overlap.

Combined with a linear topology a sequence space  $\vartheta$  is denominated a  $K$  –space, if for each  $\vartheta \in \mathbb{N}$ , coordinate maps  $p_i: \vartheta \rightarrow \mathbb{C}$ , described by  $p_i(y) = y_i$  are continuous. A  $K$  –space which is a complete linear metric space is entitled an  $FK$  –space. An  $FK$  –space whose topology is normable is called a  $BK$  –space (Lorentz, 1948) which comprises  $\Phi$ , the set of all finitely nonzero sequences.

Let us assume that  $E$  –is a triangle matrix, in that case, we can obviously say that the sequence spaces  $\vartheta_E$  and  $\vartheta$  are linearly isomorphic, i.e.,  $\vartheta_E \cong \vartheta$  and if  $\vartheta$  is a  $BK$  –space, then  $\vartheta_E$  is also a  $BK$  –space with the norm given by  $\|y\|_{\vartheta_E} = \|Ey\|_{\vartheta}$ , for all  $y \in \vartheta_E$ . As well as above mentioned sequence spaces  $l_\infty, c, c_0$ , and almost convergent sequence space  $f$  are  $BK$  –spaces with the ordinary supnorm described by

$$\|y\|_\infty = \sup_{k \in \mathbb{N}} |y_k|. \tag{4}$$

Also  $l_p$  are  $BK$  –spaces with the ordinary norm defined by

$$\|y\|_p = (\sum_k |y_k|^p)^{1/p}, (1 \leq p < \infty). \tag{5}$$

Since the sequence space to be defined is almost convergent sequence space in this study, let’s first remember the definition of almost convergent sequence space.

A continuous linear functional  $\psi$  on  $l_\infty$  is said a *Banach limit*, if

- i) For every  $y = (y_k)$ ,  $\psi(y) \geq 0$ ,
- ii)  $\psi(y_{\rho(k)}) = \psi(y_k)$ , where  $\rho$  is shift operator which is described onto  $w$  with  $\rho(k) = k + 1$ ,
- iii)  $\psi(e) = 1$ , where  $e = (1,1, \dots, 1, \dots)$ .

A sequence  $y = (y_k) \in l_\infty$  is entitled to be almost convergent to generalized limit  $l$ , if all Banach limits  $y$  are  $l$  (Lorentz, 1948), and denoted  $f - \lim y = l$ . In other words,  $f - \lim y = l$  iff uniformly in  $n$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m y_{k+n} = l. \tag{6}$$

We indicate the sets of all almost convergent sequences by  $f$  and series by  $fs$  and define as follow:

$$f = \left\{ y = (y_k) \in w : \lim_{m \rightarrow \infty} s_{mn}(y) = l, \text{ uniformly in } n \right\} \tag{7}$$

where  $l$  exists uniformly in  $n$ ,

$$s_{mn}(y) = \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m y_{k+n}, \tag{8}$$

and

$$fs = \left\{ y = (y_k) \in w : \exists l \in \mathbb{C} \exists \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^{n+k} \frac{y_j}{m+1} = l \text{ uniformly in } n \right\}. \tag{9}$$

As known that the containments  $c \subset f \subset l_\infty$  are precisely acquired. Owing to these containments, norms  $\| \cdot \|_f$  and  $\| \cdot \|_\infty$  of the spaces  $f$  and  $l_\infty$  are equivalent. Therefore the sets  $f$  and  $f_0$  are  $BK$ -spaces having the following norm

$$\|y\|_f = \sup_{m,n} |s_{mn}(y)| \tag{10}$$

When we look according to summability theory perspective, we can see that to define new *Banach spaces* by the matrix domain of triangle and investigate their algebraical, geometrical and topological properties is well-known. Therefore, many authors were interested in this subject and by using some known matrices, they did many studies by using some known matrices. Some of them are here:

(Başar et al., 2011; Candan, 2014, 2018; Candan et al., 2015; Karaisa et al., 2015; Kayaduman et al., 2012a,b; Kirişçi, 2012, 2014).

The matrix to be used to construct sequence spaces in this paper is below:

Let  $\lambda = (\lambda_k)_{k=0}^\infty$  be strictly increasing sequence of positive reals tending to infinity, i.e.

$$0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \dots \text{ and } \lambda_k \rightarrow \infty, \text{ as } k \rightarrow \infty.$$

Let  $u = (u_k)$  be a sequence such that  $u_k \neq 0$ , for all  $k \in \mathbb{N}$ . We define the matrix  $\hat{\Lambda} = \Delta_u^\lambda = (\hat{\lambda}_{nk})$  as

$$\hat{\lambda}_{nk} = \begin{cases} \frac{(\lambda_k - \lambda_{k-1}) - (\lambda_{k+1} - \lambda_k)}{\lambda_n} u_k, & \text{if } k < n, \\ \frac{\lambda_n - \lambda_{n-1}}{\lambda_n} u_n, & \text{if } k = n, \\ 0, & \text{if } k > n, \end{cases} \tag{11}$$

Where

$$\hat{\Lambda}_n(x) = \frac{1}{\lambda_n} \sum_{k=0}^n (\lambda_k - \lambda_{k-1}) u_k (x_k - x_{k-1}) \tag{12}$$

and if  $y = (y_k)$  is  $\hat{\Lambda}$ -transform of a sequence  $x = (x_k)$ , where for all  $k \in \mathbb{N}$

$$y_k = \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_k} u_i (x_i - x_{i-1}). \tag{13}$$

In (Ganie et al., 2013), using the matrix above, the sequence spaces  $c_0(\Delta_u^\lambda)$  and  $c(\Delta_u^\lambda)$  were defined and investigated. Using the same matrix, we also define the following sequence spaces.

Firstly, let us define sequence spaces  $f(\hat{\Lambda})$  and  $f_0(\hat{\Lambda})$ :

$$f(\hat{\Lambda}) = \{x = (x_k) \in w : y = (y_k) = \hat{\Lambda}(x) \in f\}. \tag{14}$$

If  $y = (y_k) \in \hat{\Lambda}(x) \in f$ , it means that  $\exists l \in \mathbb{C}$  such that uniformly in  $n$ ,

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m y_{k+n} = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m \left( \sum_{i=0}^{k+n} \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_{k+n}} u_i (x_i - x_{i-1}) \right) = l. \tag{15}$$

If  $l = 0$ ,  $y = (y_k) \in \hat{\Lambda}(x) \in f_0$ , and we can define

$$f_0(\hat{\Lambda}) = \{x = (x_k) \in w : y = (y_k) = \hat{\Lambda}(x) \in f_0\}, \tag{16}$$

The other sequence space is  $fs(\hat{\Lambda})$ :

$$fs(\hat{\Lambda}) = \{x = (x_k) \in w : y = (y_k) = \hat{\Lambda}(x) \in fs\}, \tag{17}$$

i.e. If  $y = (y_k) \in \hat{\Lambda}(x) \in fs$ , then  $\exists l \in \mathbb{C} \exists$  uniformly in  $n$ ,

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^{k+n} \sum_{i=0}^j \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_j} u_i (x_i - x_{i-1}) = l. \tag{18}$$

We can redefine the spaces  $fs(\hat{\Lambda}), f(\hat{\Lambda})$  and  $f_0(\hat{\Lambda})$  by the notation of (3),  $fs(\hat{\Lambda}) = (fs)_{\hat{\Lambda}}$ ,  $f(\hat{\Lambda}) = (f)_{\hat{\Lambda}}$  and  $f_0(\hat{\Lambda}) = (f_0)_{\hat{\Lambda}}$ .

This paper is organized as following: In chapter 2: some topological properties of defined sequence spaces; in chapter 3: dual spaces of these spaces;

in chapter 3: the characterization of some matrix classes between these spaces and some classical sequence spaces are given.

**2. Some Topological Properties Of These Spaces**

**Theorem 2.1:**

i) The sequence space  $f(\hat{\lambda})$  is normed space with

$$\|x\|_{f(\hat{\lambda})} = \sup_{m,n} \left| \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m \left( \sum_{i=0}^{k+n} \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_{k+n}} \right) u_i(x_i - x_{i-1}) \right| \tag{19}$$

ii) The sequence space  $fs(\hat{\lambda})$  is normed space with with

$$\|x\|_{fs(\hat{\lambda})} = \sup_{m,n} \left| \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m \left( \sum_{j=0}^{k+n} \sum_{i=0}^j \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_j} u_i(x_i - x_{i-1}) \right) \right| \tag{20}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^k \left( \frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{\lambda_k} \right) u_i(x_i - x_{i-1}) = \\ & \sum_{i=0}^k \left( \frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{\lambda_k} \right) u_i \left( \sum_{j=0}^i \sum_{m=j-1}^j (-1)^{j-m} \cdot \frac{\lambda_m}{u_j(\lambda_j - \lambda_{j-1})} y_m \right) - \sum_{j=0}^{i-1} \sum_{m=j-1}^j (-1)^{j-m} \frac{\lambda_m}{u_j(\lambda_j - \lambda_{j-1})} y_m \\ & = \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_k} u_i \left( \sum_{m=i-1}^i (-1)^{i-m} \cdot \frac{\lambda_m}{u_i(\lambda_i - \lambda_{i-1})} y_m \right) \\ & = y_k \end{aligned} \tag{22}$$

For all  $k \in \mathbb{N}$ , which leads us to the truth that uniformly in  $m$

$$f_{\hat{\lambda}} - \lim x = f - \lim y \tag{23}$$

which implies that  $x \in f_{\hat{\lambda}}$ , consequently, we see that  $T$  is surjective. Hence,  $T$  is a linear bijection that therefore shows that the spaces  $f(\hat{\lambda})$  and  $f$  are linearly isomorphic, as desired. This completes the proof. The fact  $f_0(\hat{\lambda}) \cong f_0$  can be analogously attested.

Due to the well known fact that the matrix domain  $\lambda_A$  of the normed sequence space denoted by  $\lambda$  has got a base iff the matrix domain  $\lambda_A$  of the normed sequence space denoted by  $\lambda$  has got a base, whenever a matrix  $A = (a_{nk})$  is a triangle (Jarrah, et al., 1990). (Remark 2.4) and since the space  $f$  has no Schauder basis, we have;

**Theorem 2.2:** The spaces  $f(\hat{\lambda})$ ,  $f_0(\hat{\lambda})$  and  $fs(\hat{\lambda})$  are linearly isomorphic to the spaces  $f$ ,  $f_0$  and  $fs$ , respectively, i.e.  $f(\hat{\lambda}) \cong f$ ,  $f_0(\hat{\lambda}) \cong f_0$ , and  $fs(\hat{\lambda}) \cong fs$ .

**Proof:** We show that there is a linear transformation between  $f(\hat{\lambda})$  and  $f$ . Therefore we have to define a transformation from  $f(\hat{\lambda})$  to  $f$ . Using the matrix  $\hat{\lambda}$ , it can be described the transformation  $T$  as  $T(x) = \hat{\lambda}(x)$ , for each  $x \in f(\hat{\lambda})$ . It is easy to see that  $T$  is linear. If  $T(x) = 0$ , then  $x = 0$ , so  $T$  is one-to-one. Finally, we need to show that  $T$  is surjective.

Let us assume  $y = (y_k) \in f$  and describe  $x = (x_k)$  by

$$x_k = \sum_{j=0}^k \left( \sum_{m=j-1}^j (-1)^{j-m} \frac{\lambda_m}{u_j(\lambda_j - \lambda_{j-1})} y_m \right) \tag{21}$$

From here, we have

**Corollary 2.1:** The space  $f_{\hat{\lambda}}$  has no Schauder Basis.

**3. The  $\alpha^-$ ,  $\beta^-$ ,  $\gamma^-$ -Duals Of These Spaces**

The  $\alpha^-$ ,  $\beta^-$ ,  $\gamma^-$ -duals of the sequence space  $X$  are defined by

$$X^\alpha = \left\{ a = (a_k) \in w : ax = (a_k x_k) \in l_1, \forall x = (x_k) \in X \right\} \tag{24}$$

$$X^\beta = \left\{ a = (a_k) \in w : ax = (a_k x_k) \in cs, \forall x = (x_k) \in X \right\} \tag{25}$$

$$X^\gamma = \left\{ a = (a_k) \in w : ax = (a_k x_k) \in bs, \forall x = (x_k) \in X \right\} \tag{26}$$

here  $cs$  and  $bs$  are defined to be sequence spaces of all convergent and bounded series, respectively.



**Lemma 3.1:** (Sıddıqi, 1971) So as to the matrix  $A$  belongs to the matrix class from  $f$  to  $l_\infty$  is necessary and sufficient condition

$$\sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |a_{nk}| < \infty \tag{27}$$

is satisfied.

**Lemma 3.2:** (Sıddıqi, 1971) So as to the matrix  $A$  belongs to the matrix class from  $f$  to  $c$  is necessary and sufficient conditions:

i)  $\sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |a_{nk}| < \infty$  (28)

ii) for each  $k \in \mathbb{N}$   $\lim_{n \rightarrow \infty} a_{nk} = \alpha_k$  (29)

iii)  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k a_{nk} = \alpha$  (30)

iv)  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta(a_{nk} - \alpha_k)| = 0$  (31)

are satisfied.

**Theorem 3.1:** The  $\gamma$ -dual of the space  $f_{\hat{\lambda}}$  is the intersection of the sets

$$b_1 = \left\{ a = (a_k) \in w : \sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_{k=0}^{n-1} |\hat{a}_k(n)| < \infty \right\}, \tag{32}$$

$$b_2 = \left\{ a = (a_k) \in w : \sup_{n \in \mathbb{N}} \left| \frac{\lambda_n}{u_n(\lambda_n - \lambda_{n-1})} a_n \right| < \infty \right\}. \tag{33}$$

**Proof:** For an optional sequence  $a = (a_k) \in w$  and take into consideration the following equality.

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n a_k x_k &= \\ \sum_{k=0}^n \left\{ \sum_{j=0}^k \left[ \sum_{i=j-1}^j (-1)^{j-i} \frac{\lambda_i}{u_j(\lambda_j - \lambda_{j-1})} y_i \right] \right\} a_k &= \\ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda_k}{u_k} \left[ \frac{a_k}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} \left( \frac{1}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} \right. \right. & \\ \left. \left. - \frac{1}{\lambda_{k+1} - \lambda_k} \right) \sum_{j=k+1}^{n-1} a_j \right] y_k & \\ + \frac{\lambda_n}{u_n(\lambda_n - \lambda_{n-1})} a_n y_n & \\ = \sum_{k=0}^{n-1} \hat{a}_k(n) y_k + \frac{\lambda_n}{u_n(\lambda_n - \lambda_{n-1})} a_n y_n & \end{aligned}$$

$$= D_n(y) \tag{34}$$

where the general term  $d_{nk}$  of the matrix  $D$  is determined as follows,

$$D = (d_{nk}) = \begin{cases} \hat{a}_k(n), & k < n, \\ \frac{\lambda_n}{u_n(\lambda_n - \lambda_{n-1})} a_n, & k = n, \\ 0, & k > n, \end{cases} \tag{35}$$

for all  $k, n \in \mathbb{N}$ , where

$$\begin{aligned} \hat{a}_k(n) &= \frac{\lambda_k}{u_k} \left[ \frac{a_k}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{1}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{\lambda_{k+1} - \lambda_k} \right) \sum_{j=k+1}^{n-1} a_j \right]. \end{aligned} \tag{36}$$

Thus, we deduce from (4), that  $a_k x_k \in bs$  whenever  $x = (x_k) \in f_{\hat{\lambda}}$  iff  $Dy \in l_\infty$  whenever  $y = (y_k) \in f$ , where  $D = (d_{nk})$  is described in (35). That's why with assistance of Lemma 3.1,  $f_{\hat{\lambda}}^\gamma = b_1 \cap b_2$ .

**Theorem 3.2:** The  $\beta$ -dual of the space  $f_{\hat{\lambda}}$  is the intersection of the sets

$$b_3 = \left\{ a = (a_k) \in w : \lim_{n \rightarrow \infty} d_{nk} \text{ exists} \right\}, \tag{37}$$

$$b_4 = \left\{ a = (a_k) \in w : \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k d_{nk} \text{ exists} \right\}, \tag{38}$$

$$b_5 = \left\{ a = (a_k) \in w : \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k \Delta(d_{nk} - \alpha_k) < \infty \right\}, \tag{39}$$

where  $\alpha_k = \lim_{n \rightarrow \infty} d_{nk}$ . Then  $f_{\hat{\lambda}}^\beta = \bigcap_{k=1}^5 b_k$ .

**Proof:** Let us take any sequence  $a \in w$ . By (4),  $ax = (a_k x_k) \in cs$  whenever  $x = (x_k) \in f_{\hat{\lambda}}$  iff  $Dy \in c$  whenever  $y = (y_k) \in f$ , where  $D = (d_{nk})$  is designated in (35). We derive the consequence by Lemma 3.2 that  $\{f_{\hat{\lambda}}\}^\beta = \bigcap_{k=1}^5 b_k$ .

**Theorem 3.3:** The  $\gamma$ -dual of the space  $fs_{\hat{\lambda}}$  is the intersection of the sets

$$b_6 = \left\{ a = (a_k) \in w : \sup_n \sum_k \Delta(d_{nk}) < \infty \right\} \tag{40}$$

$$b_7 = \{a = (a_k) \in w: \lim_{k \rightarrow \infty} d_{nk} = 0\}, \tag{41}$$

That is,  $\{f_{S_{\lambda}}\}^{\gamma} = b_6 \cap b_7$ .

**Proof:** This might be acquired in a similar concept as talk about in the proof of theorem 3.1 with lemma 3.1 instead of Lemma 4.2 (iii). So, we neglect details.

**Theorem 3.4:** Defined the set

$$b_8 = \{a = (a_k) \in w: \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta^2(d_{nk})| < \infty\}, \tag{42}$$

Then,  $\{f_{S_{\lambda}}\}^{\beta} = b_3 \cap b_6 \cap b_7 \cap b_8$ .

**Proof:** This, might be acquired in a similar concept as talk about in the proof of theorem 3.2 with Lemma 3.2 instead of lemma 4.2 (iv). So, we disregard details.

#### 4. Characterization of Some Matrix Classes

For shortness, let us write

$$a_{nk} = \sum_{j=0}^n a_{jk} \tag{43}$$

$$a(n, k, m) = \frac{1}{m+1} \sum_{j=0}^m a_{n+j, k} \tag{44}$$

$$\Delta a_{nk} = a_{nk} - a_{n, k+1}. \tag{45}$$

**Theorem 4.1:** (Başar, 2012) Let  $\mu$  be an FK-space,  $U$  be a triangle matrix,  $P = U^{-1}$  and  $\eta$  be optional subset of  $w$ . Then, we have  $A = (a_{nk}) \in (\mu_U; \eta)$  iff for all  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$C^{(n)} = (c_{mk}^{(n)}) \in (\mu, c) \tag{46}$$

and

$$C = (c_{nk}) \in (\mu, \eta), \tag{47}$$

where

$$c_{mk}^{(n)} = \begin{cases} \sum_{j=k}^m a_{nj} p_{jk}, & 0 \leq k \leq m \\ 0, & k > m, \end{cases} \tag{48}$$

and for all  $k, m, n \in \mathbb{N}$ ,

$$c_{nk} = \sum_{j=k}^{\infty} a_{nj} p_{jk}. \tag{49}$$

**Lemma 4.1:**  $A \in (f; f)$  iff

$$i) \sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |a_{nk}| < \infty \tag{50}$$

$$ii) f - \lim a_{nk} = \alpha_k, \text{ exist, for each fixed } k \in \mathbb{N} \tag{51}$$

$$iii) f - \lim \sum_k a_{nk} = \alpha \tag{52}$$

$$iv) \text{ uniformly in } n \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta[a(n, k, m) - \alpha_k]| = 0, \tag{53}$$

are satisfied.

For an infinite matrix  $A = (a_{nk})$ , we shall write for shortness that:

$$d_{mk}^n = \tilde{a}_{nk}(m) = \frac{\lambda_k}{u_k} \left[ \frac{a_{nk}}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} + \left( \frac{1}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} - \frac{1}{\lambda_{k+1} - \lambda_k} \right) \sum_{j=k+1}^m a_{nj} \right] \tag{54}$$

where  $k < m$ .

$$\begin{aligned} d_{nk} &= \tilde{a}_{nk} \\ &= \frac{\lambda_k}{u_k} \left[ \frac{a_{nk}}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} + \left( \frac{1}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} - \frac{1}{\lambda_{k+1} - \lambda_k} \right) \sum_{j=k+1}^{\infty} a_{nj} \right] \end{aligned} \tag{55}$$

$$\hat{a}_{nk} = \sum_{i=0}^n \left( \frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{\lambda_k} \right) u_i (a_{ik} - a_{i-1, k}) \tag{56}$$

**Theorem 4.2:** Let us assume that the entries of the infinite matrices given by  $A = (a_{nk})$  and

$H = (h_{nk})$  are related by the following relation

$$h_{nk} = \tilde{a}_{nk} \tag{57}$$

for all  $k, n \in \mathbb{N}$ ,  $\mu$  is an arbitrary sequence space. Then  $A \in (f_{\lambda}; \mu)$  iff for all  $n \in \mathbb{N}$ ,  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_{\lambda})^{\beta}$  and  $H \in (f; \mu)$ .

**Proof:** Let us take an arbitrary sequence space  $\mu$  and it is satisfied the condition (56) and recall that  $f_{\lambda}$  and  $f$  are linearly isomorphic. We take  $A \in (f_{\lambda}; \mu)$  and  $y = (y_k) \in f$ .

Thus,  $H \cdot \hat{\Lambda}$  does exist and  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in \cap_{k=1}^5 b_k$  which satisfies that  $\{h_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in l_1$ , for each  $n \in \mathbb{N}$ . Therefore,  $Hy$  exists and thus for all  $n \in \mathbb{N}$

$$\sum_k h_{nk} y_k = \sum_k a_{nk} x_k. \tag{58}$$

We have by (56) that  $Hy = Ax$ , which leads us to consequence  $H \in (f: \mu)$ .

Conversely, let  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_{\hat{\Lambda}})^\beta$ , for each  $n \in \mathbb{N}$  and  $H \in (f: \mu)$  satisfy, and take any  $x = (x_k) \in f_{\hat{\Lambda}}$ . Then,  $Ax$  exists. Thus, we acquire from the following equality for each  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$\sum_{k=0}^m a_{nk} x_k = \sum_{k=0}^m \left[ \sum_{j=0}^k \left( \sum_{i=j-1}^j (-1)^{j-i} \cdot \frac{\lambda_i}{u_j(\lambda_j - \lambda_{j-1})} y_i a_{nj} \right) \right]. \tag{59}$$

As  $m \rightarrow \infty$  that  $Ax = Hy$  and this shows that  $A \in (f_{\hat{\Lambda}}: \mu)$ .

**Theorem 4.3:**  $A \in (f_{\hat{\Lambda}}: c)$  iff  $D^{(n)} = (d_{mk}^{(n)}) \in (f: c)$  and  $D = (d_{nk}) \in (f: c)$ .

**Theorem 4.4:**  $A \in (f_{\hat{\Lambda}}: l_\infty)$  iff  $D^{(n)} = (d_{mk}^{(n)}) \in (f: c)$  and  $D = (d_{nk}) \in (f: l_\infty)$ .

If we change the roles for the spaces  $f_{\hat{\Lambda}}$  and  $f$  with  $\mu$ , we have following theorems.

**Theorem 4.5:** Assume that the entries of the infinite matrices  $A = (a_{nk})$  and  $L = (l_{nk})$  are related by the following relation  $l_{nk} = \hat{a}_{nk}$  in (56), for all  $k, n \in \mathbb{N}$  and  $\mu$  be any given sequence space. Then,  $A \in (\mu: f_{\hat{\Lambda}})$  iff  $L \in (\mu: f)$ .

**Proof:** Let  $x = (x_k) \in \mu$  and take into account the following equality

$$\begin{aligned} \{\hat{\Lambda}(Ax)\}_n &= \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_k} u_i [(Ax)_i - (Ax)_{i-1}] \\ &= \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_k} u_i \sum_j (a_{ij} - a_{i-1,j}) x_j \\ &= \sum_j \left( \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda_i - \lambda_{i-1})}{\lambda_k} u_i (a_{ij} - a_{i-1,j}) \right) x_j \\ &= (Lx)_n \end{aligned} \tag{60}$$

which leads us to consequence that  $Ax \in f_{\hat{\Lambda}}$  iff  $Lx \in f$ . Thus, proof is completed.

At this time, we are going to denote the following conditions:

for each fixed  $k \in \mathbb{N}$

$$\lim a_{nk} = \alpha_k, \text{ exist} \tag{61}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k a_{nk} = \alpha, \tag{62}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta(a_{nk} - \alpha_k)| = 0, \tag{63}$$

$$\sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |\Delta(a_{nk})| < \infty, \tag{64}$$

for each fixed  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} a_{nk} = 0, \tag{65}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta^2 a_{nk}| = \alpha, \tag{66}$$

$$f - \lim a_{nk} = \alpha_k \text{ exists,} \tag{67}$$

uniformly in  $n$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \sum_k |a(n, k, m) - \alpha_k| = 0, \tag{68}$$

uniformly in  $n$

$$f - \lim \sum_k a_{nk} = \alpha, \tag{69}$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta[a(n, k, m) - \alpha_k]| = 0, \tag{70}$$

uniformly in  $n$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \sum_k \frac{1}{q+1} |\sum_{i=0}^q \Delta[a(n+i, k) - \alpha_k]| = 0, \tag{71}$$

$$\sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |\Delta a(n, k)| < \infty, \tag{72}$$

for each fixed  $k \in \mathbb{N}$

$$f - \lim a(n, k) = \alpha_k \text{ exists,} \tag{73}$$

uniformly in  $n$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \sum_k \frac{1}{q+1} |\sum_{i=0}^q \Delta^2 [a(n+i, k) - \alpha_k]| = 0, \tag{74}$$

$$\sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_k |a(n, k)| < \infty, \tag{75}$$

for each fixed  $k \in \mathbb{N}$

$$\sum_n a_{nk} = \alpha_k, \tag{76}$$

$$\sum_n \sum_k a_{nk} = \alpha, \tag{77}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k |\Delta a(n, k) - \alpha_k| = 0, \tag{78}$$

**Lemma 4.2:** Let  $A = (a_{nk})$  be an infinite matrix. In that case, the following expressions hold:

- i)  $A = (a_n) \in (l_\infty: f)$  iff conditions (50), (67) and (68) hold. (Duran, 1972).
- ii)  $A = (a_{nk}) \in (f: f)$  iff conditions (50), (67) and (69) hold. (Duran, 1972).
- iii)  $A = (a_{nk}) \in (fs: l_\infty)$  iff conditions (64) and (65) hold. (Başar, 2012).
- iv)  $A = (a_{nk}) \in (fs: c)$  iff conditions (61), (64) and (66) hold. (Öztürk, 1983).
- v)  $A = (a_{nk}) \in (c: f)$  iff conditions (50), (67) and (69) hold. (King, 1966).
- vi)  $A = (a_{nk}) \in (bs: f)$  iff conditions (64), (65), (67) and (71) hold. (Başar et al, 1991).
- vii)  $A = (a_{nk}) \in (fs: f)$  iff conditions (65), (67) (70) and (71) hold (Başar, 1991).
- viii)  $A = (a_{nk}) \in (cs: f)$  iff conditions (64) and (67) hold (Başar et al., 1989).
- ix)  $A = (a_{nk}) \in (bs: fs)$  iff conditions (65), (71) and (73) hold (Başar et al., 1991).
- x)  $A = (a_{nk}) \in (fs: fs)$  iff conditions (71) and (74) hold (Başar, 1991).
- xi)  $A = (a_{nk}) \in (cs: fs)$  iff conditions (72) and (73) hold (Başar et al., 1989).
- xii)  $A = (a_{nk}) \in (f: cs)$  iff conditions (75) and (78) hold (Başar, 1989).

**Corollary 4.1:** The following statements hold:

- i)  $A = (a_{nk}) \in (f_\lambda: l_\infty)$  iff  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_\lambda)^\beta$  for all  $n \in \mathbb{N}$  and (50) hold with  $\tilde{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- ii)  $A = (a_{nk}) \in (f_\lambda: c)$  iff  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_\lambda)^\beta$  for all  $n \in \mathbb{N}$  and (50), (61), (63) hold with  $\tilde{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- iii)  $A = (a_{nk}) \in (f_\lambda: bs)$  iff  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_\lambda)^\beta$  for all  $n \in \mathbb{N}$  and (75) hold with  $\tilde{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .

- iv)  $A = (a_{nk}) \in (f_\lambda: cs)$  iff  $\{a_{nk}\}_{k \in \mathbb{N}} \in (f_\lambda)^\beta$  for all  $n \in \mathbb{N}$  and (75), (78) hold with  $\tilde{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .

**Corollary 4.2:** The following statements hold:

- i)  $A = (a_{nk}) \in (l_\infty: f_\lambda)$  iff (50), (67) and (68) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- ii)  $A = (a_{nk}) \in (f: f_\lambda)$  iff (50), (67), (69) and (70) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- iii)  $A = (a_{nk}) \in (c: f_\lambda)$  iff (50), (67) and (69) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .

**Corollary 4.3:** The following statements hold:

- i)  $A = (a_{nk}) \in (bs: f_\lambda)$  iff (64), (65), (67) and (71) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- ii)  $A = (a_{nk}) \in (fs: f_\lambda)$  iff (65), (67) and (71) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- iii)  $A = (a_{nk}) \in (cs: f_\lambda)$  iff (64) and (67) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .

**Corollary 4.4:** The following statements hold:

- i)  $A = (a_{nk}) \in (bs: fs_\lambda)$  iff (65), (71) and (73) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- ii)  $A = (a_{nk}) \in (fs: fs_\lambda)$  iff (71) and (74) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .
- iii)  $A = (a_{nk}) \in (cs: fs_\lambda)$  iff (72) and (73) hold with  $\hat{a}_{nk}$  instead of  $a_{nk}$ .

### 5. Conclusions

The purpose of this paper is to define some new almost sequence spaces, to give some properties of these spaces and to determine  $\beta$ -,  $\gamma$ - duals of these spaces, also to characterize some matrix classes between these spaces and some classical sequence spaces. Studying the domain of generalized difference matrix  $\Delta_u^\lambda$  in the spaces  $f, f_0, fs$  and determining the  $\beta$ -,  $\gamma$ - duals of these spaces, characterizing the infinite matrices belongs to the class of matrices  $(f(\hat{\Lambda}): \mu), (fs(\hat{\Lambda}): \mu), (\mu: f(\hat{\Lambda}))$  and  $(\mu: fs(\hat{\Lambda}))$ - where  $\mu$  is any given sequence space-are significant in terms of filling up a gap in the existing literature of summability theory.

## References

- Başar, F., 1989. Strongly-conservative Sequence to Series Matrix Transformations. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, (12), 888-893.
- Başar, F. and Çolak, R., 1989. Almost-conservative Matrix Transformations. *Turkish Journal of Mathematics*, 13(3), 91-100.
- Başar, F., 1991. f-conservative Matrix Sequences. *Tamkang Journal of Mathematics*, 22(2), 205-212.
- Başar, F. and Solak, İ., 1991. Almost-coercive Matrix Transformations. *Rend. Mat. Appl.* 7(11) 249-256.
- Başar, F. and Kirişçi, M., 2011. Almost Convergence and Generalized Difference Matrix. *Computers & Mathematics with Applications*, 61, 602-611.
- Başar, F., 2012. Summability Theory and Its Applications, Bentham Science Publishers ebooks. Monographs, xi+405 pp, ISB:978-1-60805-252-3, İstanbul.
- Butkovic, D., Kraljevic, H. and Sarapa, H.N., 1987. On the Almost Convergence, in *Functional Analysis, II, Lecture Notes in Mathematics*, 1242, 396417, (Springer, Berlin, Germany).
- Candan, M., 2012. Domain of the Double Sequential Band Matrix in the Classical Sequence Spaces. *Journal of Inequalities and Applications*, 2012, 281.
- Candan, M., 2014. Some New Sequence Spaces Derived from the Spaces of Bounded, Convergent and Null Sequences, *International Journal of Modern Mathematical Sciences*, 12(2), 74-87.
- Candan, M., 2014. Domain of the Double Sequential Band Matrix in the Spaces of Convergent and Null Sequences, *Advances in Difference Equations* 2014, 163.
- Candan, M., 2014. Almost Convergence and Double Sequential Band Matrix. *Acta Mathematica Scientia*, 34(2), 354-366.
- Candan, M. and Kayaduman, K., 2015. Almost Convergent Sequence Space Reproduced by Generalized Fibonacci Matrix and Fibonacci Core. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 7(2), 150-167.
- Candan, M., 2018. A New Outlook for Almost Convergent Sequence Spaces. *Cumhuriyet Science Journal*, 39(1), 34-46.
- Duran, J.P., 1972. Infinite Matrices and Almost Convergence. *Mathematische Zeitschrift*, 128, 75-83.
- Ganie, A. and Sheikh, N.A., 2013. On Some New Sequence Spaces of Non-absolute Type and Matrix Transformations. *Egyptian Mathematical Society*, 21, 108-114.
- Jarrah, A.M., and Malkowsky, E., 1990. BK-spaces, Bases and Linear Operators. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 2(52), 177-191.
- Karaisa, A. and Özger, F., 2015. Almost Difference Sequence Spaces Reproduced by Using a Generalized Weighted Mean. *Journal of Computational Analysis and Applications*, 19(1), 27-38.
- Kayaduman, K. and Şengönül, M., 2012a. On the Riesz Almost Convergent Sequence Space. *Abstract and Applied Analysis*, 2012, 691694.
- Kayaduman, K. and Şengönül, M., 2012b. The Space of Cesaro Almost Convergent Sequence and Core Theorems. *Acta Mathematica Scientia*, 6, 2265-2278.
- King, J.P., 1966. Almost Summable Sequences. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 17, 1219-1225.
- Kirişçi, M., 2012. Almost Convergence and Generalized Weighted Mean, *AIP Conference Proceedings*, 1470, 191-194.
- Kirişçi, M., 2014. Almost Convergence and Generalized Weighted Mean II. *Journal of Inequalities and Applications*, 1, 93.
- Lorentz, G. G., 1948. A Contribution to the Theory of Divergent Sequences. *Acta Mathematica*, 80, 167-190.
- Móricz, F. and Rhoades, B.E., 1990. Some Characterizations of Almost Convergence for Single and Double Sequences. *Publications de l'Institut Mathématique Nouv S'er*, 48(62), 61-68.
- Öztürk, E., 1983. On Strongly Regular Dual Summability Methods. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics Stat.* 32, 1-5.
- Sıddıqi, J.A., 1971. Infinite Matrices Summing Every Almost Periodic Sequences. *Pacific Journal of Mathematics*, 39(1), 235-251.

## Yeni 2,5-Disubstitüe 1,3,4-Oksadiazol Bileşiklerinin Sentezi

### *Synthesis Of Novel 2,5-Disubstitue 1,3,4-Oxadiazol Compounds*

Meltem TAN\*

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Kimya ABD, 65080, VAN*

• Geliş tarihi / Received: 29.08.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 01.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 24.01.2020

#### Öz

Yapısında 1,3,4- oksadiazol halkası içeren bileşikler geniş bir biyolojik aktivite spektrumuna sahiptir. Genel olarak; antibakteriyel, antifungal, analjezik, antiinflamatuvar, antiviral, antikanser, antidiabetik, antihelmintik, antikonvülsan etki gösterdikleri son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle prokain bileşiğinden yola çıkılarak hidrazin hidrat ile reaksiyonları incelendi ve benzohidrazit türevi moleküllerin sentezi yapıldı. Sonrasında bu bileşiklerin asetik anhidrit ve asetik asit varlığında halka kapanma reaksiyonları ile daha önce literatürde yer almayan ve 2,5 konumlarında farklı gruplar içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin sentezi gerçekleştirildi. Sentezlenen bileşiklerin antibakteriyel ve antifungal özelliklerinin araştırılması *Escherichia coli* ATCC 36218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Candida albicans* ATCC 10231 mikroorganizmaları ile yapıldı. Bileşikler içinde fenil halkasına bağlı lipofilik asetat grubu bulunduranların antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olduğu gözlemlendi.

**Anahtar kelimeler:** Aromatik, Biyolojik Aktivite, Heterosiklik, Oksadiazol

#### Abstract

Compounds containing 1,3,4-oxadiazole ring in the structure have a broad spectrum of biological activity. Generally; antibacterial, antifungal, analgesic, anti-inflammatory, antiviral, anticancer, antidiabetic, antihelmintic, anticonvulsant effect has been demonstrated by recent studies. Therefore, in this study, the reaction of hydrazine hydrate and pirocaine have been investigated and synthesis of benzohydrazide derivative molecules has been carried out. Then, by the ring closure of these compounds in the presence of acetic anhydride and acetic acid, the synthesis of 1,3,4-oxadiazole compounds which were not previously mentioned in the literature and containing different groups at 2,5 positions was carried out. Investigation of antibacterial and antifungal properties of synthesized compounds were performed with *Escherichia coli* ATCC 36218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and *Candida albicans* ATCC 10231 microorganisms. It was observed that those compounds containing lipophilic acetate group bound to phenyl ring had antibacterial and antifungal properties.

**Keywords:** Aromatic, Biological Activity, Heterocyclic, Oxadiazole

\* Meltem TAN; meltemtan@yyu.edu.tr, Tel: (0432) 225 17 01/21189, orcid.org/0000-0003-4190-6047

## 1. Giriş

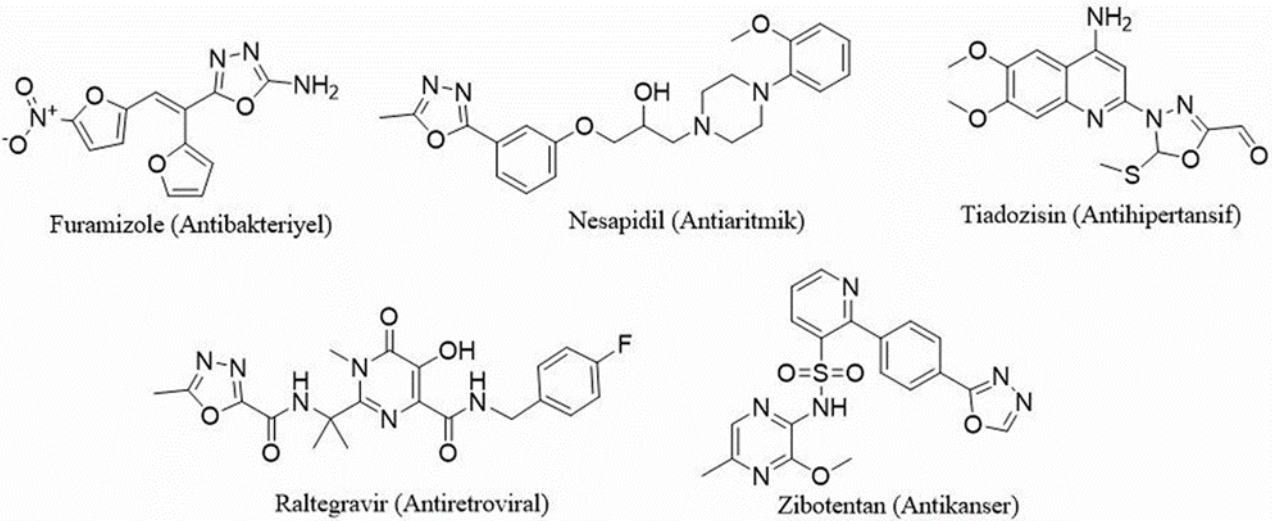
Oksadiazoller, beş üyeli bir halkada bir oksijen ve iki azot atomu içeren, çeşitli biyolojik etkilere sahip, oksijen ve azot atomunun konumuna göre 1,2,4-, 1,2,3-, 1,3,4- ve 1,2,5-oksadiazol yapısında bulunabilen heterosiklik bileşiklerdir (Sengupta vd., 2008).

Oksadiazollerin azol kısımlarının, biyokimyasal olarak çeşitli farmasötik ajanlarda görülen önemli bir farmakofor olduğu bilinmektedir. Bu kısım, farmakolojik aktivitelerin süreçlerini ve çeşitliliğini göstermektedir (Mamolo vd., 2005). Son yıllarda fungal ve bakteriyel enfeksiyonların görülme sıklığı önemli ölçüde artmıştır. Ciddi sağlık tehlikelerine yol açan mantar ve bakteriyel enfeksiyonlara karşı antifungal ve antibakteriyel ilaçların yaygın kullanımı mikroorganizmaların bu antibiyotiklere karşı direnç göstermesi ile sonuçlanmıştır. Geniş spektrumlu antifungal ve antibakteriyel maddelere karşı oluşan mikroorganizma direnci, yeni antibiyotiklerin keşfedilme ve var olanların modifiye edilme çalışmalarını başlatmıştır (Ahsan vd., 2011).

Literatürde azot ve oksijen içeren bileşiklerin tıpta mide ülseri, kanser tedavisi ile birlikte farklı mantar ve bakteri enfeksiyonlarının tedavisi için esas olarak kullanıldığı bilinmektedir (Bishayee vd., 1997). Yapısında 1,3,4-oksadiazol halkası içeren bileşikler geniş bir biyolojik aktivite spektrumuna sahiptir. Genel olarak; antibakteriyel (Kanthiah vd., 2011; Naveena vd., 2010; Sridhara vd., 2010), antifungal (Akhter vd., 2009; Jayashankar vd., 2009), analjezik (Husain vd.,

2008), antiinflamatuvar, antiviral, antikanser (Rostom vd., 2003; Akhtar vd., 2010), antidiyabetik (Shyma vd., 2015) etki gösterdikleri son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Tıbbi kimyada 1,3,4-oksadiazollerin yaygın olarak kullanımı, biyolojik olarak aktif önemli bir heterosiklik sınıfı oluşturur. Bu moleküller, insan vücudundaki metabolik profilleri ve hidrojen bağına katılma yeteneklerinden dolayı farmakoforlar olarak kullanılır (Mamolo vd., 2005). 1,3,4 ve 1,2,4-oksadiazoller biyolojik aktiviteleri ve kimyasal özelliklerinden dolayı daha fazla çalışılmaktadırlar (Oliveira vd., 2012). 1,3,4-oksadiazol heterosiklik çekirdeği biyolojik aktivitede çeşitlilik göstermektedir. Örneğin, furamizol, bir nitrofuran türevidir olup, güçlü bir antibakteriyel aktiviteye sahip iken (Hirao vd., 1971; Ogata vd., 1971), nesapidil, kalsiyum kanal blokörüdür ve ana etkisini Ca kanallarını yavaşlatarak iyi bir vazodilatör olarak gösterir (Schlecker ve Thieme, 1988). Bunlara ek olarak, tiadozisin, antihipertansif bir ilaç olup portal vendeki alfa-1 adrenerjik reseptörlerde non kompetitif antagonizma üretmektedir (Partyka ve Crenshaw, 1977; Vardan vd., 1983) ve 1,3,4-oksadiazol halkası içeren iki bileşik şu an klinik tıpta ilaç olarak kullanılmaktadır. Bunlardan insan immün yetmezlik virüsüne (HIV-1) karşı etkili bir integras zincir transfer inhibitörü olan raltegravir; antiretroviral ilaç olarak kullanılırken, endotel reseptör antagonisti zibotentan ise anti kanser ilacı olarak kullanılmaktadır (James ve Growcott, 2009; Savarino, 2006) (Şekil 1).



Şekil 1. 1,3,4-oksadiazol halkasına sahip biyolojik aktivite gösteren örnekler

Literatüre kazandırılan ve Şekil 1'de yer alan ilaç molekülleri 2-sübstitüe ya da 2,5-disübstitüe 1,3,4-oksadiazol bileşikleridir. Bu bileşiklerden furamizol ve raltegravir, 2 pozisyonlarında içerdikleri amin ya da amit yapısıyla bu çalışma ile sentezleri gerçekleştirilen moleküllere benzerken, nesapidil ve zibotentan molekülleri 5 pozisyonlarındaki aromatik yapıları ile sentezlenen bileşiklerle benzerlik taşımaktadırlar. Ayrıca tiadozisin bileşiği ise N-sübstitüe özelliği ile benzerlik göstermektedir.

1,3,4-oksadiazollerin bahsedilen aktiviteleri sebebiyle bu çalışmada prokain bileşiğinden yola çıkılarak öncelikle fenil, metil ve tiyenil grupları içeren benzohidrazit türevi moleküllerin sentezi, sonra bu bileşiklerin halka kapanması ile literatürde yer almayan ve 2,5 konumlarında farklı gruplar içeren yeni 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin sentezi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Sentezlenen bileşiklerin saflaştırılmasında kolon kromatografisi, yapılarının aydınlatılmasında NMR ve LCMS spektrometreleri ile bileşiklerin adlandırılmasında bazı kimya programları kullanılmıştır. Nükleer Manyetik Rezonans (<sup>1</sup>H-NMR ve <sup>13</sup>C-NMR) spektrumları Agilent 400 MHz cihazı ile içerisinde referans miktarda TMS bulunan d<sub>6</sub>-DMSO ve CDCl<sub>3</sub> çözücüler kullanılarak alınmıştır. Kimyasal kaymalar (δ) ppm (parts per million) birimi ile verilmiştir. Spin yarımları singlet (s), doublet (d), doubletin doubleti (dd), triplet(t), quartet (q), pentet (p), brodsinglet (bs) veya multipler (m) şeklinde ve yarımla sabitleri (J) Hz birimi ile verilmiştir. Bileşiklerin kütle spektrumları Thermo Scientific Q Exactive cihazı ile g/mol birimiyle alınmıştır. İnce tabaka kromatografisi (İTK) için ise yüzeyi Merck marka 0.25 mm silika jel ile kaplı 20x20 cm boyutundaki tabakalar kullanılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin çizimi ve adlandırılması Chem Draw Ultra 12.0 programı kullanılarak yapılmıştır.

### 2.2. Yöntem

Yeni bileşiklerin sentezlenmesinde kullanılan metotlar literatürde yer almasına rağmen bu metotlar uygulanırken en iyi sonuçları yakalayabilmek için bazılarının konsantrasyon, sıcaklık, çözücü gibi parametreleri üzerinde değişiklikler yapılmış ve ilerleyen bölümlerde bu metotlara yer verilmiştir. Reaksiyonlar bazen buz

banyosunda, bazen oda sıcaklığında bazense kullanılan çözücünün kaynama sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Denenen farklı koşullarda reaksiyonların gerçekleşmesinin ve tamamlanmasının kontrolü İTK ile sağlanmıştır. Saflaştırma için kristallendirme yöntemi kullanılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin yapılarının aydınlatılmasında farklı döteryumlu çözücüler kullanılarak NMR spektrumları ile LCMS spektrumları alınmış ve bunların yorumlanması ile yapı analizi gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. Antimikrobiyal Aktivite Analizi İçin Metod

Sentezlenen 1,3,4-oksadiazol türevlerinin antimikrobiyal aktivitelerini belirlemek için disk difüzyon yöntemi kullanılmıştır. Bu sebeple *Escherichia coli* ATCC 36218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, ökaryotik maya olan *Candida albicans* ATCC 10231 mikroorganizmaları kullanıldı. Pozitif kontrol grubu olarak bakterilerde gentamisin (10 µl), maya suşlarında ise fluconazole (FCA-25) standartları kullanılmıştır. Negatif kontrol grubunda dimetil sülfoksit (DMSO) kullanılarak farklı (5 µl, 10 µl, 15 µl ve 20 µl) dozlar kullanılmıştır. DMSO'nun kullanılan mikroorganizmalar üzerinde herhangi bir aktivitesi bulunmadığı ayrıca tespit edilmiştir. Mikroorganizmaların gelişmesi için, bakteriler için Nutrient Broth sıvı besiyerine aşılansak 37 °C de 24 saat ve maya suşları ise Malt Extract Broth sıvı besiyerine göre aşılansak 27 °C de 48 saat süre ile aktivasyonu sağlanmıştır. Erlanmayer kaplarında sterilize edilen Nutrient Agar ve Malt Eksrakt Agar kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivite sırasında mikroorganizmaların üremesi için aşılansak olan mikroorganizmalar 30-35 µl besiyeri üzerine damlatılarak dirigalski ile homojen bir şekilde yayılması sağlanmıştır. Paraben gruplarında sentezlenen maddelerin her biri 0.02 gr tartılıp 200 µl DMSO'da çözülmüştür. Dozlar 4 farklı şekilde seyreltilerek hazırlanmıştır. Daha sonra 6 mm'lik boş steril disklere hazırlanmış olan dozlardan 5 µl emdirilerek besiyerlerine yerleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan bakteri suşları 37 °C de 24 saat ve maya suşları ise 27 °C de 48 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda besiyeri üzerinde oluşan inhibisyon zonları mm olarak cetvelle ölçülerek not edilmiştir.

### 2.4. Spektral Veriler

#### 2-(Dietilamino)etil 4-benzamidobenzoat (2a)

Beyaz katı. E.N: 76-78 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ 8.18 (s, 1H, NH), 8.05-8.02 (m, 2H, Ar-



H), 7.89-7.86 (m, 2H, Ar-H), 7.77-7.74 (m, 2H, Ar-H), 7.58-7.54 (m, 1H, Ar-H), 7.50-7.46 (m, 2H, Ar-H), 4.42 (t,  $J = 6.2$  Hz, 2H), 2.92 (t,  $J = 6.2$  Hz, 2H), 2.70 (q,  $J = 7.2$  Hz, 4H), 1.10 (t,  $J = 7.2$  Hz, 6H).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  166.0, 165.9, 142.4, 134.5, 132.1, 130.9, 128.8, 127.2, 125.7, 119.3, 62.4, 50.7, 47.4, 11.3. LC/MS: [M+H] Teorik: 341.1860, Deneysel: 341.1860 (Ibrahim vd., 1979).

**2-(Dietilamino)etil 4-asetamidobenzoat (2b)**

Sarı viskoz sıvı.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  8.76 (s, 1H, NH), 7.91 (d,  $J = 8.2$  Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 7.60 (d,  $J = 8.2$  Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 4.35 (t,  $J = 6.1$  Hz, 2H,  $\text{OCH}_2$ ), 2.84 (t,  $J = 6.1$  Hz, 2H,  $\text{CH}_2$ ), 2.63 (q,  $J = 7.2$  Hz, 4H,  $\text{NCH}_2$ ), 2.14 (s, 3H,  $\text{COCH}_3$ ), 1.03 (t,  $J = 7.2$  Hz, 6H,  $\text{CH}_3$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  169.2, 166.2, 142.7, 130.6, 125.2, 118.9, 62.9, 50.9, 47.6, 24.5, 11.6. LC/MS: [M+H] Teorik: 279.1703, Deneysel: 279.1704 (Seki vd., 1988).

**2-(Dietilamino)etil 4-(tiyofen-2-karboksamido)benzoat (2c)**

Sarı viskoz sıvı.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  8.05 (s, 1H, NH), 8.04-8.01 (m, 2H, Ar-H), 7.74-7.71 (m, 2H, Ar-H), 7.70 (dd,  $J = 1.1, 3.8$  Hz, 1H, Tiy-H), 7.57 (dd,  $J = 1.1, 5.0$  Hz, 1H, Tiy-H), 7.13 (dd,  $J = 3.8, 5.0$  Hz, 1H, Tiy-H), 4.42 (t,  $J = 6.2$  Hz, 2H,  $\text{OCH}_2$ ), 2.90 (t,  $J = 6.2$  Hz, 2H,  $\text{CH}_2$ ), 2.68 (q,  $J = 7.2$  Hz, 4H,  $\text{NCH}_2$ ), 1.10 (t,  $J = 7.2$  Hz, 6H,  $\text{CH}_3$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  166.1, 160.1, 142.1, 139.0, 131.6, 131.1, 129.1, 128.1, 126.0, 119.3, 63.1, 51.0, 47.9, 11.9. LC/MS: [M+H] Teorik: 347.1424, Deneysel: 347.1238

**N-(4-(Hidrazinekarbonil)fenil)benzamid (3a)**

Beyaz kristal. E.N: 225-227 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  10.43 (s, 1H, NH), 9.68 (s, 1H, NH), 7.97-7.95 (m, 2H, Ar-H), 7.87-7.82 (m, 4H, Ar-H), 7.63-7.59 (m, 1H, Ar-H), 7.56-7.52 (m, 2H, Ar-H), 4.49 (bs, 2H,  $\text{NH}_2$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  166.3, 166.0, 142.1, 135.1, 132.2, 128.9, 128.6, 128.1, 128.1, 1120.0. LC/MS: [M+H] Teorik: 256.1081, Deneysel: 256.1081 (Kalyoncuoğlu vd., 1992).

**N-(4-(Hidrazinkarbonil)fenil)asetamid (3b)**

Beyaz katı. E.N: 294-296 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  10.12 (s, 1H, NH), 9.62 (s, 1H, NH), 7.76 (d,  $J = 8.7$  Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 7.62 (d,  $J = 8.7$  Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 4.42 (s, 2H,  $\text{NH}_2$ ),

2.06 (s, 3H,  $\text{COCH}_3$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  169.1, 166.0, 142.2, 130.6, 128.2, 118.6, 24.5. LC/MS: [M+H] Teorik: 194.0924, Deneysel: 194.0925 (Thakkar vd., 2017).

**N-(4-(Hidrazinkarbonil)fenil)tiyofen-2-karboksamid (3c)**

Beyaz kristal. E.N: 235-237 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  10.40 (s, 1H, NH), 9.68 (s, 1H, NH), 8.05 (dd,  $J = 1.1, 3.8$  Hz, 1H, Tiy-H), 7.89 (dd,  $J = 1.1, 5.0$  Hz, 1H, Tiy-H), 7.84-7.78 (m, 4H, Ar-H), 7.24 (dd,  $J = 3.8, 5.0$  Hz, 1H, Tiy-H), 4.48 (s, 2H,  $\text{NH}_2$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  165.5, 160.1, 141.3, 139.7, 132.3, 129.5, 128.3, 128.2, 127.7, 119.5. LC/MS: [M+H] Teorik: 262.0645, Deneysel: 262.0645

**N-(4-(2-Benzilidenhidrazin-1-karbonil)fenil)benzamid (4a)**

Beyaz katı. E.N: 257-259 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  11.81 (s, 1H, NH), 10.53 (s, 1H, NH), 8.48 (s, 1H, CH), 8.00-7.95 (m, 6H, Ar-H), 7.75-7.73 (m, 2H, Ar-H), 7.65-7.53 (m, 3H, Ar-H), 7.47-7.45 (m, 3H, Ar-H).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  166.3, 163.0, 147.9, 147.8, 142.8, 135.1, 134.9, 132.3, 130.5, 130.4, 129.3, 128.9, 128.2, 127.5, 120.0. LC/MS: [M+H] Teorik: 344.1394, Deneysel: 344.1397

**N-(4-(2-Benzilidenhidrazin-1-karbonil)fenil)asetamid (4b)**

Beyaz katı. E.N: 252-254 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  11.74 (s, 1H, NH), 10.22 (s, 1H, NH), 8.45 (s, 1H, CH), 7.89-7.86 (m, 2H, Ar-H), 7.72-7.69 (m, 4H, Ar-H), 7.46-7.44 (m, 3H, Ar-H), 2.08 (s, 3H,  $\text{COCH}_3$ ).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  169.2, 162.9, 147.8, 142.8, 134.9, 130.4, 129.3, 129.0, 128.0, 127.4, 118.6, 24.6. LC/MS: [M+H] Teorik: 282.1237, Deneysel: 282.1239 (Offe vd., 1952).

**N-(4-(2-Benzilidenhidrazin-1-karbonil)fenil)tiyofen-2-karboksamid (4c)**

Beyaz katı. E.N: 245-247 °C.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz, DMSO)  $\delta$  11.80 (s, 1H, NH), 10.48 (s, 1H, NH), 8.46 (s, 1H, CH), 8.08 (d,  $J = 3.9$  Hz, 1H, Tiy-H), 7.96-7.88 (m, 5H, Ar-H ve Tiy-H), 7.74-7.73 (m, 2H, Ar-H), 7.47-7.45 (m, 3H, Ar-H), 7.26 (dd,  $J = 3.9, 4.8$  Hz, 1H, Tiy-H).  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz, DMSO)  $\delta$  160.6, 147.9, 140.1, 134.9, 132.8, 130.4, 130.0, 129.3, 128.9, 128.6, 127.5, 120.0. LC/MS: [M+H] Teorik: 350.0960 Deneysel: 350.0959

***N*-(4-(2-(2-Hidroksibenziliden)hidrazin-1-karbonil)fenil)benzamid (4d)**

Beyaz kristal. E.N: 263-265 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 12.00 (bs, 1H, NH), 11.40 (bs, 1H, OH), 10.52 (s, 1H, NH), 8.64 (s, 1H, CH), 8.01-7.91 (m, 6H, Ar-H), 7.64-7.60 (m, 1H, Ar-H), 7.58-7.53 (m, 3H, Ar-H), 7.32-7.28 (m, 1H, Ar-H), 6.95-6.91 (m, 2H, Ar-H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 166.3, 162.7, 157.9, 148.5, 143.0, 135.1, 132.3, 131.7, 130.0, 128.9, 128.2, 128.2, 128.0, 120.0, 119.8, 119.2, 116.9. LC/MS: [M+H] Teorik: 360.1343, Deneysel: 360.1343

***N*-(4-(2-(2-Hidroksibenziliden)hidrazin-1-karbonil)fenil)asetamid (4e)**

Beyaz katı. E.N: 271-273 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 12.00 (bs, 1H, NH), 11.36 (bs, 1H, OH), 10.23 (s, 1H, NH), 8.62 (s, 1H, CH), 7.89 (d, *J*=8.6 Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 7.72 (d, *J*=8.6 Hz, AA'BB', 2H, Ar-H), 7.52 (d, *J*=7.2 Hz, 1H, Ar-H), 7.30 (t, *J*=7.2 Hz, 1H, Ar-H), 6.94-6.90 (m, 2H, Ar-H), 2.09 (s, 3H, COCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.3, 162.7, 157.9, 148.5, 143.0, 131.7, 130.0, 129.0, 127.3, 119.8, 119.1, 118.7, 116.9, 24.6. LC/MS: [M+H] Teorik: 298.1186, Deneysel: 298.1189 (Parmar vd., 1975).

***N*-(4-(2-(2-Hidroksibenziliden)hidrazin-1-karbonil)fenil)tiyofen-2-karboksamid (4f)**

Açık yeşil kristal. E.N: 255-257 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 12.04 (bs, 1H, NH), 11.34 (bs, 1H, OH), 10.48 (s, 1H, NH), 8.64 (s, 1H, CH), 8.07 (d, *J*= 3.6 Hz, 1H, Tiy-H), 7.97-7.95 (m, 2H, Ar-H), 7.91-7.89 (m, 3H, Ar-H ve Tiy-H), 7.54 (d, *J*=7.9 Hz, 1H, Ar-H), 7.31 (t, *J*= 7.9 Hz, 1H, Ar-H), 7.25 (dd, *J*= 3.6, 4.7 Hz, 1H, Tiy-H), 6.93-6.91 (m, 2H, Ar-H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 162.7, 160.6, 157.9, 148.5, 142.6, 140.0, 132.9, 131.8, 130.1, 130.0, 129.0, 128.6, 128.0, 120.0, 119.8, 119.1, 116.9. LC/MS: [M+H] Teorik: 366.0907, Deneysel: 366.0907

***N*-(4-(4-Asetil-5-fenil-4,5-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil)benzamid (5a)**

Beyaz katı. E.N: 143-145 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.55 (s, 1H, NH), 7.98-7.96 (m, 4H, Ar-H), 7.84-7.82 (m, 2H, Ar-H), 7.63-7.59 (m, 1H, Ar-H), 7.56-7.53 (m, 2H, Ar-H), 7.49-7.44 (m, 5H, Ar-H), 7.17 (s, 1H, CH), 2.27 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 167.1, 166.3, 155.1, 142.9, 137.1, 135.0, 132.3, 130.2, 129.2, 128.9, 128.2, 127.8, 127.0, 120.6, 119.1,

92.1, 21.7. LC/MS: [M+H] Teorik: 386.1499, Deneysel: 386.1503

***N*-(4-(4-Asetil-5-fenil-4,5-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil)asetamid (5b)**

Beyaz katı. E.N: 203-205 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.26 (s, 1H, NH), 7.78-7.71 (m, 4H, Ar-H), 7.46-7.42 (m, 5H, Ar-H), 7.15 (s, 1H, CH), 2.25 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>), 2.07 (s, 3H, COCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.3, 167.0, 155.1, 142.9, 137.1, 130.2, 129.2, 128.0, 126.9, 119.3, 118.4, 92.1, 24.6, 21.6. LC/MS: [M+H] Teorik: 324.1343, Deneysel: 324.1346

***N*-(4-(4-Asetil-5-fenil-4,5-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil)tiyofen-2-karboksamid (5c)**

Beyaz katı. E.N: 179-181 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.52 (s, 1H, NH), 8.07 (dt, *J* = 1.1, 3.8 Hz, 1H, Tiy-H), 7.93-7.91 (m, 2H, Ar-H), 7.89 (dd, *J*=1.1, 5.0 Hz, 1H, Tiy-H), 7.85-7.81 (m, 2H, Ar-H), 7.49-7.43 (m, 5H, Ar-H), 7.24 (dd, *J* = 3.8, 5.0 Hz, 1H, Tiy-H), 7.24 (s, 1H, CH), 2.27 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 167.1, 160.6, 155.0, 142.5, 140.0, 137.1, 132.9, 130.2, 130.1, 129.2, 128.6, 127.9, 127.0, 120.5, 119.1, 92.2, 21.7. LC/MS: [M+H] Teorik: 392.1063, Deneysel: 392.1066

***2*-(3-Asetil-5-(4-benzamidofenil)-2,3-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil asetat (5d)**

Beyaz katı. E.N: 87-89 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.54 (s, 1H, NH), 7.97-7.95 (m, 4H, Ar-H), 7.81-7.78 (m, 2H, Ar-H), 7.63-7.59 (m, 1H, Ar-H), 7.56-7.53 (m, 2H, Ar-H), 7.52-7.48 (m, 2H, Ar-H), 7.33 (td, *J* = 1.1, 7.6 Hz, 1H, Ar-H), 7.20 (dd, *J*= 1.0, 8.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.17 (s, 1H, CH), 2.20 (s, 3H, OCOCH<sub>3</sub>), 2.14 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.1, 166.7, 166.4, 155.1, 149.4, 142.8, 135.0, 132.3, 131.5, 130.2, 128.9, 128.5, 128.2, 127.7, 126.4, 124.4, 120.7, 119.1, 90.5, 21.5, 21.1. LC/MS: [M+H] Teorik: 444.1554, Deneysel: 444.1574

***2*-(5-(4-Asetamidofenil)-3-asetil-2,3-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil asetat (5e)**

<sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.24 (s, 1H, NH), 7.74 (s, 4H, Ar-H), 7.53 (dd, *J*=1.6, 7.6 Hz, 1H, Ar-H), 7.49 (td, *J*=1.6, 7.9 Hz, 1H, Ar-H), 7.32 (td, *J*=1.0, 7.6 Hz, 1H, Ar-H), 7.20 (dd, *J*=1.0, 7.9 Hz, 1H, Ar-H), 7.15 (s, 1H, CH), 2.19 (s, 3H, OCOCH<sub>3</sub>), 2.13 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>), 2.08 (s, 3H, NHCOCCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.3, 169.0, 166.6, 155.1, 149.3, 142.9, 131.4,

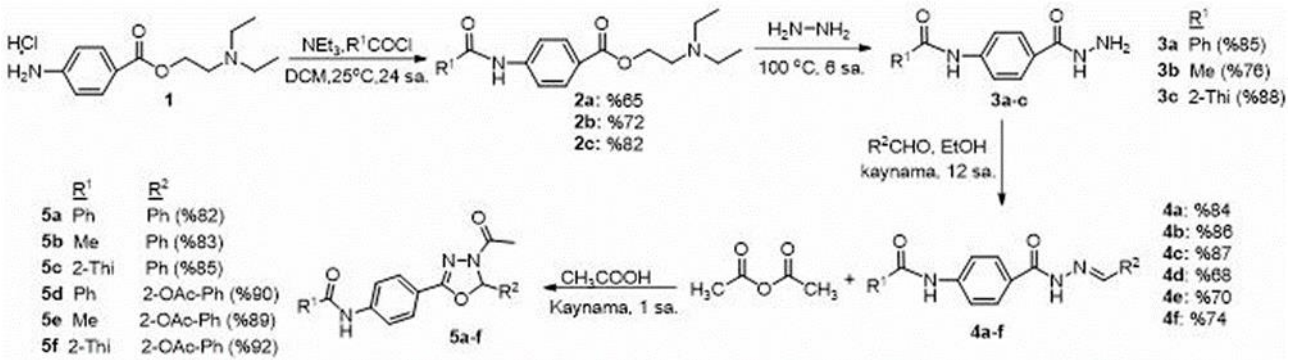
130.1, 128.6, 127.9, 126.4, 124.4, 119.3, 118.4, 90.4, 24.6, 21.5, 21.1. LC/MS: [M+H] Teorik: 382.1398, Deneysel: 382.1414

**2-(3-Asetil-5-(4-(tiyofen-2-karboksamido)fenil)-2,3-dihidro-1,3,4-oksadiazol-2-il)fenil asetat (5f)**

Beyaz katı. E.N: 114-116 °C. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.49 (s, 1H, NH), 8.06 (dd, *J*= 1.1, 3.8 Hz, 1H, Tiy-H), 7.93-7.90 (m, 2H, Ar-H), 7.89 (dd, *J*= 1.1, 5.0 Hz, 1H, Tiy-H), 7.82-7.79 (m, 2H, Ar-H), 7.55 (dd, *J*= 1.6, 7.6 Hz, 1H, Ar-H), 7.50 (td, *J*=1.6, 8.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.33 (td, *J*= 1.0, 7.6 Hz, 1H, Ar-H), 7.24 (dd, *J*= 3.8, 5.0 Hz, 1H, Tiy-H), 7.21 (dd, *J*=1.0, 8.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.18 (s, 1H, CH), 2.20 (s, 3H, OCOCH<sub>3</sub>), 2.13 (s, 3H, NCOCH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.0, 166.7, 160.6, 155.0, 149.4, 142.5, 140.0, 132.9, 131.5, 130.2, 130.1, 128.6, 127.8, 126.4, 124.4, 120.6, 119.1, 90.4, 21.5, 21.1. LC/MS: [M+H] Teorik: 450.1118, Deneysel: 450.1138

**3. Bulgular ve Tartışma**

Bu çalışmada bahsedilen antimitotik, antimikobakteriyel, antiviral, hipoglisemik, antihelmintik, antioksidan, analjezik, antimikrobiyal, antikonvülsan ve antiinflamatuvar aktiviteleri sebebiyle oksadiazol halkası içeren bileşiklerin sentezlenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple prokain bileşiğinin (**1**) öncelikle benzoil, asetil ve tiyofen-2-karbonil klorür bileşikleriyle reaksiyonları incelenmiş ve amit türevi bileşiklerin (**2a-c**) sentezi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Reaksiyona, öncelikle kullanılan bazın prokain bileşiğini tuz yapısından kurtarması ve açığa çıkacak hidrokloik asidi tuz olarak çöktürecek trietilamin ile muameleyle başlanmıştır. Sonrasında ortama ilgili açıl ya da aril klorür bileşikleri ilave edilmiştir (Buslov ve Hu, 2014). Böylece sentezi amaçlanan oksadiazol türevi bileşiklerin yapısında farklı fonksiyonel gruplarla beraber amit yapısının varlığı mümkün olmuştur.



Şekil 2. 1,3,4-oksadiazol halkasına bileşiklerin sentez şeması

Bu bileşiklere ait <sup>1</sup>H-NMR spektrumlarında NH protonlarının sırasıyla 8.18, 8.76 ve 8.05 ppm'de rezonans olmaları reaksiyonun gerçekleştiğini göstermiştir. Prokain amid bileşiklerinin sentezinden sonra hidrazin hidrat ile reaksiyonlar incelenmiş ve bir sonraki basamakta hidrazon oluşturmak üzere benzohidrazit türevi bileşikler (**3a-c**) sentezlenmiştir (Şekil 2) (Dilmaghani vd., 2012). Başlangıç bileşiklerinin yapısında yer alan ester grubunun kaybolduğu ve yapıya NH-NH<sub>2</sub> grubunun kazandırıldığı <sup>1</sup>H-NMR spektrumlarında yer alan yeni sinyaller ile anlaşılmıştır. Özellikle, NH<sub>2</sub> protonlarına ait sinyaller sırasıyla 4.49, 4.42 ve 4.48 ppm'de gözlenmiştir.

Hidrazin hidrat ile reaksiyonlar sonrası elde edilen **3a-c** nolu benzohidrazit türevlerinin benzaldehit ile reaksiyonu sonucu oluşan hidrazon türevleri incelenmiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda **4a-c**

bileşikleri sentezlenmiştir (Şekil 2) (Gao ve Wei, 2013). Spektrumlarda NH<sub>2</sub> gruplarının kaybolduğu gözlenmiştir. Bunun dışında, yapıya kazandırılan fenil halkasından kaynaklı artan aromatik protonlarla beraber, sırasıyla 8.48, 8.45 ve 8.46 ppm'de gözlenen sinyaller hidrazon yapısındaki CH protonuna aittir. Yine **3a-c** bileşiklerinin salisilaldehit ile reaksiyonları neticesinde ise **4d-f** nolu hidrazon bileşikleri elde edilmiştir (Şekil 2). Bu bileşiklerin spektrumlarında ise yapıdaki salisilaldehitten kaynaklı OH sinyallerinin sırasıyla 11.40, 11.36 ve 11.34 ppm'de rezonans oldukları gözlenmiştir. Ayrıca yine hidrazon yapısındaki CH protonları sırasıyla 8.64, 8.62 ve 8.64 ppm'de sinyal vermiştir.

Son basamakta ise çalışmanın hedefi olan 1,3,4-oksadiazol türevi bileşiklerin sentezi

gerçekleştirilmiştir. Substitüe benzohidrazit moleküllerinin uygun şartlarda halkalanma reaksiyonu ile 1,3,4-oksadiazol bileşiklerini meydana getireceği literatürde bilinmektedir. Bu sebeple en uygun metot olan asetik asit ve asetik anhidrit bileşiklerinin varlığında halkalanma reaksiyonları denenmiş ve **5a-f** bileşiklerinin oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 2) (Yan vd., 2012). Bu bileşiklerden 5 konumda fenil halkası içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin (**5a-c**) <sup>1</sup>H-NMR spektrumları incelendiğinde, NH protonuna ait sinyallerin kaybolduğu ve bunun yerine oksadiazol halkasında azota bağlı COCH<sub>3</sub> grubuna ait protonların sırasıyla 2.27, 2.25 ve 2.27 ppm'de sinyal verdiği gözlenmiştir. Bileşiklerin 5 konumundaki CH sinyalleri ise yine sırasıyla 7.17, 7.15 ve 7.24 ppm'de tespit edilmiştir. 5 konumda 2-fenilasetat içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin (**5d-f**) <sup>1</sup>H-NMR spektrumları incelendiğinde ise oksadiazol halkasında yer alan COCH<sub>3</sub> grubuna ait protonlar sırasıyla 2.14, 2.13 ve 2.13 ppm'de gözlenirken, halkanın yine 5 konumundaki CH sinyalleri 7.17, 7.15 ve 7.18 ppm'de tespit edilmiştir. Bu bileşiklerde ayrıca hidroksil grubunun da asetillendiği 2.20, 2.19 ve 2.20 ppm'de gözlenen sinyaller ile anlaşılmıştır.

#### Antimikrobiyal Aktivitelerini Belirlenmesi

1,3,4-oksadiazol halkası içeren bileşiklerin antibakteriyel (Kanthiah vd., 2011; Naveena vd., 2010; Sridhara vd., 2010) ve antifungal (Akhter vd., 2009; Jayashankar vd., 2009) özelliklerinin bilinmesi sebebiyle yeni türevlerin sentezi ardından biyolojik aktivite çalışmalarına başlanmıştır. Bu nedenle, sentezlenen bileşiklerin *Escherichia coli* ATCC 36218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve ökaryotik maya olan *Candida albicans* ATCC 10231 mikroorganizmalarına karşı davranışları araştırılmıştır. Bu bileşiklerin en etkili dozunun besi yerinde meydana getirdiği minimum inhibisyon çap genişliğine dayalı veriler tabloda toplanmıştır (Tablo 1).

Tabloya göre, 5 konumda fenil halkası içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin (**5a-c**) gram pozitif ve gram negatif bakteriler ile ökaryotik mayaya karşı aktiviteye sahip olmadığı gözlenirken, 5 konumda 2-fenilasetat içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin (**5d-f**) biyolojik aktiviteye sahip oldukları gözlenmiştir.

Bu bileşiklerden benzoil grubu içeren **5d** nolu ve tiyofen grubu içeren **5f** nolu oksadiazol bileşikleri, ökaryotik maya olan *Candida albicans* mikroorganizmasına karşı sırasıyla 12 mm ve 13

mm minimum inhibisyon çapı oluşturmuştur. Fakat aynı bileşiklerin gram negatif ve gram pozitif bakterilere karşı aktiviteye sahip olmadıkları gözlenmiştir. Bunun yanı sıra 5 konumda 2-fenilasetat içeren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinin asetil türevi olan **5e** nolu bileşik, gram negatif bakteri olan *Escherichia coli* mikroorganizmasına karşı 12 mm minimum inhibisyon çapı oluştururken, gram pozitif bakteriye karşı aktivite göstermemiştir. Aynı bileşiğin ökaryotik mayaya karşı minimum inhibisyon çapı ise 18 mm'dir.

**Tablo 1.** En yüksek aktivite gösteren 1,3,4-oksadiazol bileşiklerin mikroorganizmalara karşı minimum inhibisyon çapları

Minimum İnhibisyon Zon (mm)			
Maddeler	Gram negatif bakteri	Gram pozitif bakteri	Mantar türü
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Candida albicans</i>
<b>5a</b>	-	-	-
<b>5b</b>	-	-	-
<b>5c</b>	-	-	-
<b>5d</b>	-	-	12mm
<b>5e</b>	12mm	-	18mm
<b>5f</b>	-	-	13mm
<b>Gentamisin</b>	17mm	19mm	-
<b>Fluconazole</b>	-	-	33mm

#### 4. Sonuç

Önemli biyolojik aktiveleri sebebiyle araştırmacılar tarafından ilgiyle türevlerinin yapılmasına devam edilen 1,3,4-oksadiazol bileşiklerinden bu çalışmayla literatürde daha önce yer almayan altı farklı türevin sentez ve karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Prokain bileşiğinde yola çıkılarak elde edilen **4a-c** bileşiklerinin halka kapanması reaksiyonu ile 5 konumunda fenil halkası içeren 2,5-disubstitüe 1,3,4-oksadiazol türevleri (**5a-c**) ve yine salisilaldehit ile sentezlenen **4d-f** bileşiklerinden, 5 konumunda 2-fenilasetat içeren türevler (**5d-f**) elde edilmiştir. Yapıların karakterizasyonu <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C-NMR ve LC/MS spektral verileriyle aydınlatılmıştır. Bu bileşiklerin antibakteriyel ve antifungal aktivitelerinin araştırılması neticesinde ise **5a-c** bileşiklerinin *Escherichia coli* ATCC 36218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve ökaryotik maya olan *Candida albicans* ATCC 10231 mikroorganizmalarına karşı herhangi bir aktivite göstermediği, **5d-f** bileşiklerinin ise biyolojik aktiviteye sahip olduğu gözlenmiştir. Yapı-aktivite ilişkisi incelendiğinde; salisilaldehitten yola çıkılarak elde edilen

oksadiazollerin biyolojik aktivitesinden, bileşiklerin 5 konumunda bulunan fenil halkasına bağlı olan ve moleküle lipofilitite kazandıran asetat grubunun sorumlu olabileceği düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Ahsan, M.J., Samy, J.G., Khalilullah, H., Nomani, M.S., Saraswat, P., Gaur, R. ve Singh, A., 2011. Molecular Properties Prediction and Synthesis of Novel 1, 3, 4-oxadiazole Analogues as Potent Antimicrobial and Antitubercular Agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 21(24), 7246-7250.
- Akhtar, T., Hameed, S., Al-Masoudi, N.A., Loddo, R. ve Colla, P.L., 2010. In Vitro Antitumor and Antiviral Activities of New Benzothiazole and 1,3,4-oxadiazole-2- thione Derivatives. *Acta Pharmazie*, 58, 135-149.
- Akhter, M., Husain, A., Azad, B. ve Ajmal, M., 2009. Aroylpropionic Acid Based 2,5- disubstituted-1,3,4-oxadiazoles: Synthesis and Their Anti-Inflammatory and Analgesic Activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44, 2372-2378.
- Bishayee, A., Karmakar, R., Mandal, A., Kundu, S.N. ve Chatterjee, M., 1997. Vanadium-mediated Chemoprotection Against Chemical Hepatocarcinogenesis in Rats: Haematological and Histological Characteristics. *European Journal of Cancer Prevention*, 6(1), 58-70.
- Buslov, I. ve Hu, X., 2014. Transition Metal-Free Intermolecular  $\alpha$ -C-H Amination of Ethers at Room Temperature. *Advanced Synthesis and Catalysis*, 356, 3325-3330.
- De Oliveira, C.S., Lira, B.F., Barbosa-Filho, J.M., Lorenzo, J.G.F. ve De Athayde-Filho, P.F., 2012. Synthetic Approaches and Pharmacological Activity of 1,3,4-Oxadiazoles: A Review of the Literature from 2000-2012. *Molecules*, 17, 10192-10231.
- Dilmaghani, K.A., Jazani, N.H., Pur, F.N., Shokoufeh, N., Ghadiri, F. ve Fakhræe, F.M., 2012. Synthesis of 5-(4-aminophenyl)-2-(arylamino)-1,3,4-thiadiazoles and Their Schiff Base Derivatives as Antimycobacterial Agents. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 48, 362-367.
- Gao, P. ve Wei, Y., 2013. Efficient oxidative cyclization of N-acylhydrazones for the Synthesis of 2,5-disubstituted 1,3,4-oxadiazoles Using t-BuOI Under Neutral Conditions. *Heterocyclic Communications*, 19(2), 113-119.
- Hirao, I., Yashuhiko, K. ve Toshiyuki, H., 1971. Studies of the Synthesis of Furan Compound XXIV. The Synthesis of 5-[2-(5-nitro-2-furyl)-1-(2-furyl)-vinyl] 1,3,4-oxadiazole and Its Related Compounds. *Bulletin of Chemical Society of Japan*, 44, 1923-1927.
- Husain, A., Ahmad, F.J., Ajmal, M. ve Ahuja, P., 2008. Synthesis of 1-(4-phenoxyphenyl)-3-[5-(substituted aryl)-1, 3, 4-oxadiazol-2-yl] propan-1-ones as Safer Anti-Inflammatory and Analgesic Agents. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 73(8-9), 781-791.
- Ibrahim, E.S.A., Soliman, R. ve Gabr, M., 1979. Synthesis of 4-Substituted Aminobenzoate Quaternary Salts as Potent Antispasmodic Agents. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 68(3), 332-335.
- James, N.D. ve Growcott J.W., 2009. Zibotentan Endothelin ETA Receptor Antagonist Oncolytic. *Drugs of the Future*, 34, 624-633.
- Jayashankar, B., Rai, K.M.L., Baskaran, N. ve Sathish, H.S., 2009. Synthesis and Pharmacological Evaluation of 1,3,4- oxadiazole Bearing Bis(Heterocycle) Derivatives as anti-Inflammatory and Analgesic Agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44, 3898-3902.
- Kalyoncuoğlu, N., Rollas, S., Sür-Altiner, D., Yeğenoğlu, Y. ve Anđ, O., 1992. 1-[p-(Benzoylamino) benzoyl]-4-substituted thiosemicarbazides: Synthesis and Antibacterial and Antifungal Activities. *Die Pharmazie*, 47(10), 796-797.
- Kanthiah, S., Kalusalingam, A., Velayutham, R., Vimala, A.T. ve Beyatricks, J., 2011. 5-(2-aminophenyl)-1, 3, 4-oxadiazole-2 (3H)-thione derivatives: Synthesis, Characterization and Antimicrobial Evaluation. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 6(1), 64-67.
- Mamolo, M.G., Zampieri, D., Vio, L., Fermeglia, M., Ferrone, M., Pricl, S., Scialino, G. ve Banfi, E., 2005. Antimycobacterial Activity of New 3-Substituted 5-(pyridin-4-yl)-3H-1,3,4-oxadiazol-2-one and 2-thione derivatives. Preliminary Molecular Modeling Investigations. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 13(11), 3797-3809.
- Naveena, C.S., Boja, P. ve Kumari, N.S., 2010. Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Some Disubstituted 1,3,4-Oxadiazoles Carrying 2-(aryloxymethyl)phenyl Moiety. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 45, 4708-4719.
- Offe, H.A., Siefken, W. ve Domagk, G., 1952. Hydrazinderivate und ihre Wirksamkeit Gegenüber Mycobacterium Tuberculosis. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 7(8), 446-462.

- Ogata, M., Atobe, H., Kushida, H. ve Yamamoto, K., 1971. In Vitro Sensitivity of Mycoplasma Isolated from Various Animals and Sewage to Antibiotics and Nitrofurans. *The Journal of Antibiotics*, 24, 443-451.
- Parmar, S.S., Gupta, A.K., Gupta, T.K. ve Stenberg, V.I., 1975. Synthesis of Substituted Benzylidinohydrazines and Their Monoamine Oxidase Inhibitory and Anticonvulsant Properties. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 64(1), 154-157.
- Partyka, R.A. ve Crenshaw, R.R., 1977. 1, 3, 4-Oxadiazole Amides. U.S. Patent 4001-238.
- Rostom, S.A.F., Shalaby, M.A. ve El-Demellawy, M.A., 2003. Synthesis of New 1-(4-chlorophenyl)-4-hydroxy-1H-pyrazole-3-Carboxylic Acid Hydrazone Analogs and Some Derived Ring Systems. A Novel Class of Potential Antitumor and Anti-HCV Agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 38, 959-974.
- Savarino, A., 2006. A Historical Sketch of the Discovery and Development of HIV-1 Integrase Inhibitors. *Expert Opinion on Investigational Drugs*, 15, 1507-1522.
- Schlecker, R. ve Thieme, P.C., 1988. The Synthesis of Antihypertensive 3-(1,3,4-oxadiazol-2-yl) Phenoxypropanolamines. *Tetrahedron*, 44, 3289-3294.
- Seki, H., Kawaguchi, T. ve Higuchi, T., 1988. Specificity of Esterases and Structure of Prodrug Esters: Reactivity of Various Acylated Acetaminophen Compounds and Acetylamino benzoated Compounds. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 77(10), 855-860.
- Sengupta, P., Mal, M., Mandal, S., Singh, J. ve Maity, T. K., 2008. Evaluation of Antibacterial and Antifungal Activity of Some 1,3,4-oxadiazoles. *Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics*, 7(2), 165-167.
- Shyma, P.C., Balakrishna, K., Peethambar, S.K. ve Vijesh, A.M., 2015. Synthesis, Characterization, Antidiabetic and Antioxidant Activity of 1,3,4-Oxadiazole Derivatives Bearing 6-methyl Pyridine Moiety. *Der Pharma Chemica*, 7(12), 137-145.
- Sridhara, A.M., Reddy, K.R.V., Keshavayya, J., Goud, P.S.K., Somashekar, B.C., Bose, P., Peethambar, S.K. ve Gaddam, S.K., 2010. Synthesis and Antimicrobial Activity of 2-Substituted [4-(1,3,4-oxadiazol-2-yl methyl)] phthalazin-1(2H)-one derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 45, 4983-4989.
- Thakkar, S.S., Thakor, P., Doshi, H. ve Ray, A., 2017. 1, 2, 4-Triazole and 1, 3, 4-oxadiazole Analogues: Synthesis, MO Studies, in Silico Molecular Docking Studies, Antimalarial as DHFR Inhibitor and Antimicrobial Activities. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 25(15), 4064-4075.
- Vardan, S., Smulyan, H., Mookherjee, S. ve Eich, R., 1983. Effects of Tiodazosin, a New Antihypertensive, Hemodynamics and Clinical Variables. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 34(3), 290-296.
- Yan, R., Zhang, Z.M., Fang, X.Y., Hu, Y. ve Zhu, H.L., 2012. Synthesis, Molecular Docking and Biological Evaluation of 1,3,4-oxadiazole Derivatives as Potential Immunosuppressive Agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 20(4), 1373-1379.

## Gümüşhane İli Meralarına Ait Vegetasyon ve Bazı Çevresel Özelliklerin Jeoistatistiksel Analizi

### *Geostatistical Analysis of Gümüşhane Grasslands According to Vegetation and Some Environmental Features*

Mustafa SÜRME<sup>1,a</sup>, Tamer YAVUZ<sup>2,b</sup>, Burak SÜRME<sup>\*3,c</sup>, Ali İMAMOĞLU<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 09010, Aydın

<sup>2</sup>Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 40200, Kırşehir

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 70100, Karaman

<sup>4</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 50300, Nevşehir

• Geliş tarihi / Received: 24.10.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 30.01.2020

#### Öz

Meralar yeryüzünün genelinde olduğu gibi Türkiye’de de küçük ve büyükbaş hayvanların beslenmesinde kullanılan en önemli yem kaynaklarından. Son yıllarda iklim değişikliği gibi küresel ölçekte meydana gelen faktörlerin yanı sıra, aşırı otlama ve arazi kullanımında yapılan hatalar meraların kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma ile Gümüşhane ili meralarının vejetasyon özellikleri ile bazı çevresel faktörlere göre değerlendirilmesinin yanında jeoistatistik yöntemlerle çizilen haritalar ile Gümüşhane ilindeki tüm mera ve yaylaların durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu yayla ve meraların eğim, toprak derinliği, erozyon derecesi, otlama baskısı ve taşlık çevresel faktörleri ile azalıcı, çoğalıcı, istilacı bitkilerin kompozisyon oranları, baklagiller ve buğdaygiller familyasına ait bitkilerin kompozisyon oranları ve mera sağlık sınıfı ile mera durum sınıfına ait özelliklerin dağılım haritaları çizilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre meraların %65’inde orta ve yüksek dereceli erozyon görülürken, meraların büyük çoğunluğu çok sığ ve sığ derinlikte topraklara sahiptir. 12 merada aşırı otlama tespit edilmiştir. Son olarak mera kalitelerine baktığımızda; 10 meranın kalitesinin kötü olduğu diğerlerinin ise orta ve daha iyi seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enterpolasyon, Jeostatistik, Mera

#### Abstract

Rangelands are the most important sources used in animal feedings in Turkey as Earth. In recent years, global factors such as climate change, overgrazing and land use mistakes adversely affect the quality of rangelands. This study aims to evaluate the quality of the rangelands and uplands in the Gümüşhane according to vegetation features and some environmental factors and additionally the maps drawn by geo-statistical methods will reveal the status of all rangelands Gümüşhane. The slope, soil depth, degree of erosion, grazing pressure and stony from environmental factors and composition ratios of decreaser, increaser, invader plants, composition ratios of legume, grasses and other families and distribution maps of range health classifications and range condition classification were draw. According to the results, moderate and high erosion is observed in 65% of the rangelands, while the majority of the rangelands have very shallow and shallow depth soils. Overgrazing was detected in 12 pastures. Finally, when we look at the rangelands quality; the quality of 10 site was found to be poor and the others were found to be moderate and better.

**Keywords:** Interpolation, Geostatistic, Rangeland

\*c Burak SÜRME; buraksurmen@gmail.com, Tel: (0554) 725 06 61, orcid.org/0000-0002-4055-613X

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-9748618X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7374-7899

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-9197-1029

## 1. Giriş

Yeryüzündeki meralar hayvancılık için önemli besin alanlarını oluştururlar. Türkiye’de özellikle Karadeniz bölgesindeki meralar besin kalitesi yönünden en verimli alanlar olarak kabul edilmektedir (Ayan vd., 2007). Kaba yem ihtiyacının önemli bir kısmının sağlandığı meralar özellikle Anadolu’da küçükbaş hayvancılığın şekillenmesinde önemlidir. Ülkemizde uzun yıllardır meralar kullanılmasına rağmen, bu alanlar için ıslah ve amenajman gibi teknik uygulamalar, bitkilerinin büyüme ve gelişmesi için gereksinimlerinin neler olduğu ve hayvan otlatmanın düzenlenmesi gibi uygulamaların yapılmaması nedeni ile bu alanların aşırı şekilde kullanılmasına yol açmıştır (Cevher vd., 2015). Bu sebeple mera arazileri yıllar içerisinde çeşitli sebeplerle kullanılamaz ya da verimi düşük araziler haline gelmiştir. Günümüzde meralarda yem değeri yüksek bitkilerin yoğunluklarının azalması, istilacı ve yem değeri düşük olan diğer familyalara ait bitkilerin artması botanik kompozisyonda değişmelere neden olmaktadır (Büyükburç, 1983).

Doğal alanlar olarak kabul edilen mera ekosistemleri, birçok çevresel faktörün etkisi altındadır. Özellikle; iklim, topoğrafya, toprak ve canlı organizmalar başlıca faktörlerdir (Şengönül vd., 2009). Son yıllarda özellikle biyosferde meydana gelen farklılıkların yeryüzünde etkilediği birçok ekosistem gibi meraları da olumsuz etkilemektedir (Sürmen vd., 2015). Bunun sonucu olarak mera vejetasyonlarının sahip olduğu bitki çeşitliliğinin giderek azalmasına neden olmaktadır (Karagüllü ve Kendüzler, 2008). Meraların maruz kaldığı bir diğer olumsuz faktör ise aşırı otlatmadır. Özellikle Karadeniz bölgesi meraları ilkbahar, yaz ve sonbaharın belirli dönemlerinde yoğun otlatma ile karşı karşıya kalmaktadır (Sürmen vd., 2015). Bu durum otlatmaya karşı dirençli olan ve yem değeri olmayan bitki türlerinin çoğalmasına neden olmaktadır (Sürmen ve Kara, 2018).

İklim faktörleri, toprak ve topoğrafya özellikleri meraların vejetasyonlarının oluşumunda ve klimaksa ulaşmasında en önemli etkenlerdir. Meraların klimaksa ulaşması uzunca bir süreç olup, eğer çevresel faktörlerin değişmesi veya çeşitli faktörler (otlatma, yapılaşma vb.) ile baskılanması durumunda meraların vejetasyon yapısı olumsuz yönde etkilenecektir (Blanchet vd., 2003). Sonuç olarak; meralarda vejetasyon sabit olmayıp sürekli değişkenlik gösteren dinamik bir yapıya sahiptir. Ülkemiz meralarında

önceki yıllarda yapılan mera etüdü çalışmalarında, meraların botanik kompozisyonlarındaki klimaks bitki türlerinin büyük çoğunluğunun sayı ve oran olarak oldukça azaldığı, bazılarının ise tamamen kaybolduğu ifade edilmektedir (Yavuz vd., 2012; Ünal vd., 2014; Turan vd., 2015).

Günümüzde bir yöreye veya bir bölgeye ait özelliklerin mekânsal dağılımları farklı jeoistatistik metotlarla belirlenmektedir (İmamoğlu ve Dengiz, 2019). Bu metotların kullanılarak çizilen haritalar ile zaman içinde meydana gelebilecek değişimler izlenebilmektedir. 1951 yılında kullanılmaya başlanan bu yöntemler günümüzde yaygın hale gelmiştir. Özellikle son yıllarda vejetasyon ve çevresel özelliklere ait verilerin mekânsal dağılımlarını belirlemek için çizilen haritalar ile bu alanların çeşitli parametrelere ait verimlilik, risk, değişim, baskınlık vb. haritaları çizilerek bölge için yapılacak planlamalar için faydalı veri tabanları oluşturulmaktadır (McGrath vd., 2004; Ongun, 2008; Aksakal ve Öztas, 2010; Turgut ve Öztas, 2012).

Bu çalışmada, meraların botanik kompozisyonlarına ve çevresel özelliklerine ait veriler jeoistatistiksel yöntemler ile analiz edilerek ele alınan meraların haritaları çizilerek ileride yapılması planlan çalışmalar için gerekli veri tabanları oluşturulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

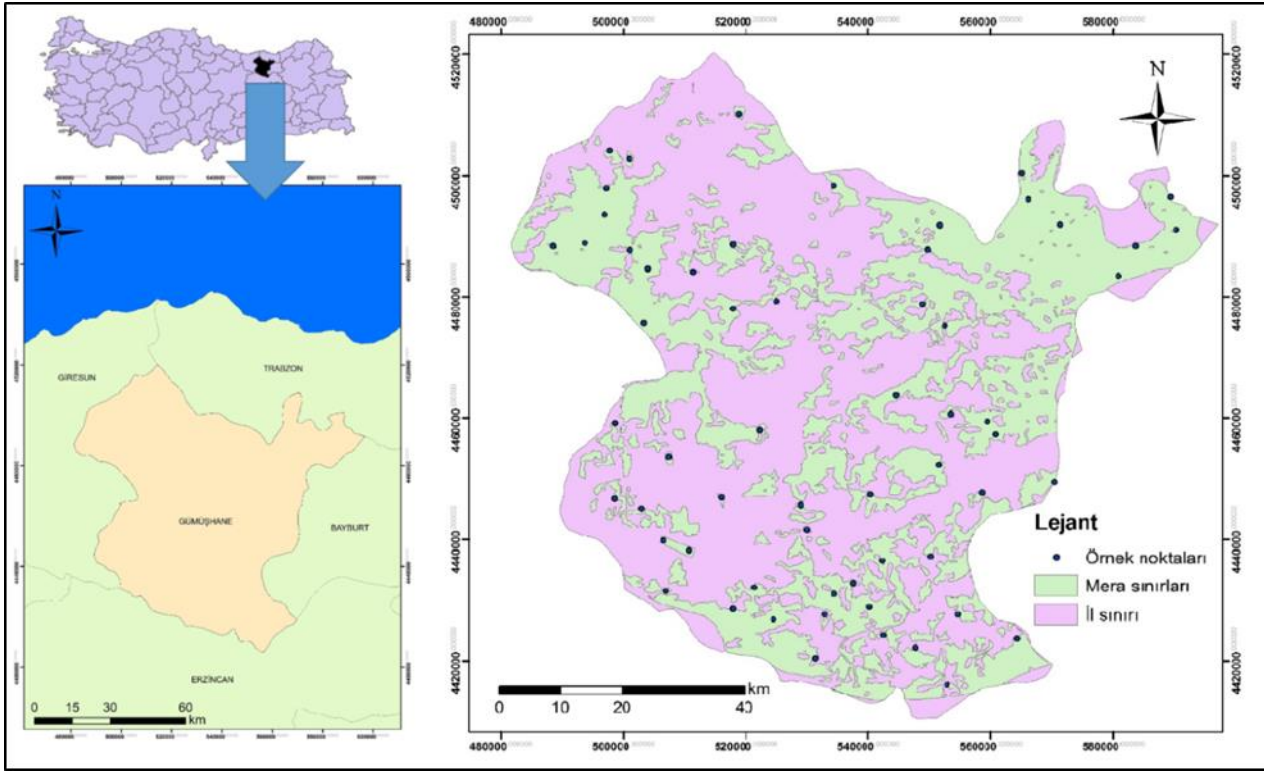
### 2.1. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

Araştırma sahası kuzeyinde Trabzon, batısında Giresun, doğusunda Bayburt ve güneyinde Erzincan illerinin komşusu olan Gümüşhane ili sınırları içerisinde yer alan mera arazilerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Gümüşhane ili, 6.575 kilometrekare yüz ölçüme sahiptir. İlin güney kesimleri Harşit çayı tarafından derince yarılmıştır. İl merkezi de bu vadi üzerinde kurulmuştur. Kuzeyde ise akarsular tarafından derince yarılmış yüksek sahalarda bulunmaktadır. Zigana dağları, Gümüşhane dağları ve Çimen dağları ilin doğu batı doğrultusunda uzanan yüksek dağlık kütleleridir. Gümüşhane ilinin yıllık toplam yağış değeri 816 mm’dir. En çok yağış Nisan (60.7 mm) ve Mayıs (65.8 mm) aylarında meydana gelmektedir. İlin yıllık ortalama sıcaklık değerleri 7.9° C dir. Ortalama sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında 0° C’nin altına düşmektedir. En sıcak aylar 20.1° C ile Temmuz ve Ağustos aylarıdır.



Meraların vejetasyon ölçümleri modifiye edilmiş tekerlekli lup (halka) metodu kullanılarak, meralardaki hâkim bitkilerin çiçeklenme evresinde (Koç ve Çakal, 2004) gerçekleştirilmiştir. Bitki teşhisinde Davis (1965, 1985), Davis vd. (1988), Güner vd. (2000) kaynaklarından faydalanılmıştır. Okuma neticesinde tespit edilen bitki türleri azalıcılar, çoğalcılar ve istilacılar olmak üzere 3 sınıfa ayrılmışlardır. Tespit edilen bitkilerden

azalıcıların tamamı ve çoğalcıların ise %20'si dikkate alınarak çalışılan meralarda mera durumu ve mera sağlık sınıflaması yapılmıştır (Koç vd., 2003). Bitki örtüsünün toprağı kaplama oranı, vejetasyon etüdü sırasında bitkiye rastlanan nokta sayısının ölçülen toplam nokta sayısına oranlanması ile belirlenmiştir (Gökkuş vd., 2000). Okunan her bir bitki türüne ait değerler, toplam bitki sayısına oranlanarak türlerin botanik kompozisyondaki oranları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Gümüşhane ili coğrafi konumu ve örnekleme alanları

Meraların çevresel özelliklerine ait olan erozyon derecesi, taşlılık, toprak derinliği ve otlatma şiddetine ait değerler arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Meraların taşla kaplılık oranları modifiye edilmiş tekerlekli lup (halka) metodu kullanılarak hesaplanmıştır. İl arazi raporuna göre örnekleme alanlarının eğim dereceleri belirlenirken, erozyon dereceleri arazi gözlemleri ve il envanter bilgilerine dayanarak tespit edilmiştir. Meraların toprak derinliği ise arazi çalışmalarından ve alınan toprak örneklerinin

büyük toprak grupları belirlenerek tespit edilmiştir. Son olarak otlatma şiddeti, arazi çalışmalarında gözlemlenen mera toprağındaki sıkışma durumu ve mera vejetasyonlarında bulunan bitki türlerine göre değerlendirilmiştir. Elden edilen sonuçlar mera amenajman ve ıslah çalışmalarında kullanılan standart yöntemlere göre sınıflandırılmıştır. Meradaki etüt çalışmaları esnasında alınan gözlemler Tablo 1'deki skalaya göre kaydedilmiştir (Anonim, 2005).

Tablo 1. Çevresel özelliklerin sınıflandırma değerleri

Sınıflandırma değeri	Erozyon derecesi (ton/ha)	Taşlılık (%)	Derinlik (cm)	Otlatma
1	Çok hafif<2	Çok az<1	Çok sığ<19	Yok
2	2<Hafif<4	2<Az<4	20<Sığ<49	Hafif
3	2<Orta<4	5<Orta<14	50<Orta derin<89	Orta
4	2<Yüksek<4	15<Çok<39	90<Derin<149	Yoğun
5	2<Şiddetli<4	40<Aşırı<79	150<Çok derin	Çok yoğun
6	2<Çok şiddetli<4	80<Baskın		

## 2.2. Jeoistatistiksel Analizler

Bu çalışmada; vejetasyon özelliklerine (azalcı, çoğalcı, istilacı, baklagil, buğdaygil ve mera durum sınıfı) ve çevresel özelliklere (erozyon derecesi, taşlılık, toprak derinliği ve otlama şiddeti) ait alansal dağılım haritaları çizilmiştir. Ayrıca il arazi raporu kullanılarak arazi kullanım haritası çizilmiştir. Harita çizimleri vejetasyon ve çevresel parametrelere ait semivariogram değerlerinin hesaplanması sonrası, en çok kullanılan IDW, RBF ve Kriging yöntemlerinden doğal (ordinary), evrensel (universal), basit (simple) kriging enterpolasyon hesaplamaları kullanılmıştır. Yöntemlere ait enterpolasyon hesaplamalarının karşılaştırılmalarında ölçülen değerler ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi sorgulayabilmek, ölçülen değerlere en yakın sonucu veren başka bir ifade ile yöntemler arasından en uygun olanının seçebilmek için literatürde farklı karşılaştırma yöntemlerinin dikkate alındığı görülmektedir (İmamoğlu ve Dengiz, 2017). Analizler için kullanılan indekslerin hesaplanması ve alan içerisinde bu indekslerin dağılımlarının belirlenmesi amacıyla

ArcGIS 10.2v jeoistatistiksel modellerinden yararlanılmıştır (İmamoğlu vd., 2016). Bu çalışmada birden çok yöntem kullanılarak harita çizimi için en uygun olanı hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerine göre belirlenmiştir. Çünkü en düşük RMSE değerini veren yöntem en uygun yöntemdir (Arslan, 2012). Bu çalışma için vejetasyon ve çevresel özelliklere ait RMSE değerleri incelenmiş ve en düşük RMSE değerlerine sahip yöntemler haritaların çizimi için seçilmiştir (Tablo 2, Tablo 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(z_i^* - z_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Eşitlikte;  $Z_i$ : tahmin edilen değer,  $Z_i^*$  ölçülen değer ve  $n$  örnek sayısını ifade etmektedir (Arslan, 2012).

Eğim ve arazi kullanımına ait bilgiler il envanterinde yer alan arazi raporlarından elde edilmiştir. Bu iki özelliğe ait haritaların çizimi için herhangi bir jeoistatistik hesaplamaya ihtiyaç olmadığı için RMSE değerleri de hesaplanmamıştır.

**Tablo 2.** Vejetasyon parametrelerine uygulanan jeoistatistiksel yöntemler

Enterpolasyon Models	Power Semivariogram	RMSE					MSD
		Azalcı	Çoğalcı	İstilacı	Baklagil	Buğdaygil	
İDW	1	11.03	10.62	14.87	13.37	12.59	0.87
	2	11.55	11.13	15.89	13.66	12.34	0.90
	3	12.36	11.68	17.06	14.23	12.65	0.95
RBF	Completely Regularized Spline	11.09	11.01	15.32	13.17	12.22	0.89
	Spline With Tension	11.03	10.90	15.15	13.15	12.22	0.88
	Multiquadric	11.9	12.00	17.10	14.05	12.55	0.96
	İnverse Multiquadric	<b>10.97*</b>	10.34	14.40	13.12	12.32	0.86
	Thin Plate Spline	13.68	13.05	19.79	15.70	14.15	1.12
Ordinary Kriging	Spherical	11.04	10.32	14.50	13.13	12.20	0.87
	Exponential	11.00	10.36	14.57	13.19	12.46	0.85
	Gaussian	10.99	<b>10.28*</b>	14.45	<b>13.10*</b>	12.40	0.85
Simple Kriging	Spherical	10.41	10.31	14.25	13.11	12.42	<b>0.83*</b>
	Exponential	10.35	10.31	14.30	13.21	<b>12.13*</b>	0.84
	Gaussian	10.37	10.48	<b>14.23*</b>	13.04	11.97	0.84
Universal Kriging	Spherical	11.04	10.32	14.74	13.13	12.49	0.87
	Exponential	11.00	10.36	14.83	13.19	12.60	0.85
	Gaussian	10.99	10.29	14.65	13.11	12.56	0.85

**Tablo 3.** Toprak parametrelerine uygulanan jeoistatistiksel yöntemler

Enterpolasyon Models	Power Semivariogram	RMSE			
		Erozyon	Taşlılık	Derinlik	Otlatma
İDW	1	1.31	1.07	0.76	0.74
	2	1.34	1.10	0.85	0.77
	3	1.41	1.16	0.93	0.82
RBF	Completely Regularized Spline	1.33	1.10	0.80	0.76
	Spline With Tension	1.32	1.09	0.79	0.75
	Multiquadric	1.46	1.25	0.92	0.86
	İnverse Multiquadric	1.34	1.07	0.73	0.74
	Thin Plate Spline	1.84	1.53	1.11	1.06
Ordinary Kriging	Spherical	1.29	1.11	0.72	0.75
	Exponential	1.31	1.10	0.72	0.75
	Gaussian	1.28	1.11	0.72	0.74
Simple Kriging	Spherical	1.28	<b>1.01*</b>	<b>0.69*</b>	0.73
	Exponential	1.31	1.02	0.69	0.73
	Gaussian	1.28	1.01	0.69	<b>0.73*</b>
Universal Kriging	Spherical	1.29	1.11	0.72	0.74
	Exponential	1.31	1.10	0.72	0.75
	Gaussian	<b>1.28*</b>	1.11	0.72	0.74

### 3. Bulgular

Gümüşhane il merkezi dâhil 5 ilçeye (Kelkit, Köse, Kürtün, Şiran ve Torul) ait tüm mera ve yaylara ait detaylı bilgiler Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Gümüşhane ili yaylalarının meralarına ait vejetasyon özellikleri

İLÇESİ	KÖYÜ	BKA	BKÇ	BKİ	TKO	BKBa	BKBu	BKD	MSS	MDS
Kelkit	Aydoğdu	20.28	27.61	52.11	88.75	21.41	46.76	31.83	Sağlıklı	Orta
Kelkit	Babakonağı	24.26	15.90	59.84	92.75	7.31	37.08	55.61	Sağlıklı	Orta
Kelkit	Balkaya	16.90	10.80	72.30	53.25	21.13	25.35	53.52	Sorunlu	Orta
Kelkit	Cemalli	25.71	11.43	62.86	52.50	10.48	33.33	56.19	Sorunlu	Orta
Kelkit	Çamur	29.95	7.37	62.67	54.25	15.56	27.56	56.89	Sorunlu	Orta
Kelkit	Deliler	24.55	17.69	57.76	69.25	4.33	38.63	57.04	Riskli	Orta
Kelkit	Deredolu	31.54	28.52	39.93	74.50	4.28	51.68	44.04	Sağlıklı	İyi
Kelkit	Devekorusu	43.87	20.80	35.33	87.75	41.13	40.00	18.87	Sağlıklı	İyi
Kelkit	Doğankavak	32.12	10.91	56.97	82.50	38.79	21.21	40.00	Sağlıklı	Orta
Kelkit	Gerdekhisar	56.58	2.63	40.79	76.00	22.04	48.68	29.28	Sağlıklı	İyi
Kelkit	Gürleyik	20.18	15.70	64.13	55.75	19.28	36.77	43.95	Riskli	Orta
Kelkit	Karacaören	38.74	13.61	47.64	47.75	36.92	32.31	30.77	Sorunlu	İyi
Kelkit	Karşıyaka	25.52	5.17	69.31	72.50	15.79	21.64	62.57	Sağlıklı	Orta
Kelkit	Kılıçlı	9.04	5.08	85.88	44.25	4.42	13.81	81.77	Sorunlu	Zayıf
Kelkit	Sögütlü bld,	33.24	21.97	44.79	88.75	11.27	47.89	40.85	Sağlıklı	İyi
Kelkit	Şen	17.12	13.70	69.18	73.00	8.56	23.97	67.47	Sağlıklı	Orta
Kelkit	Tütenli	14.77	7.69	77.54	81.25	6.46	32.92	60.62	Sağlıklı	Zayıf
Kelkit	Yeniköy	25.77	16.84	57.39	72.75	8.93	35.74	55.33	Sağlıklı	Orta
Köse	Kayadibi	5.99	13.48	80.52	66.75	31.84	13.48	54.68	Riskli	Zayıf
Köse	Salyazı bld,	34.27	15.73	50.00	71.50	11.72	42.07	46.21	Sağlıklı	Orta
Köse	Yaylım	22.22	15.63	62.15	72.00	26.74	39.58	33.68	Sağlıklı	Orta
Köse	Yuvacık	10.18	6.91	82.91	68.75	21.82	17.09	61.09	Riskli	Zayıf
Kürtün	Arpacık	23.89	14.44	61.67	45.00	3.86	49.76	46.38	Sorunlu	Orta
Kürtün	Elçiğen	25.24	14.70	60.06	78.25	30.99	29.07	39.94	Sağlıklı	Orta
Kürtün	Günyüzü	26.58	27.57	45.85	75.25	58.14	21.59	20.27	Sağlıklı	Orta

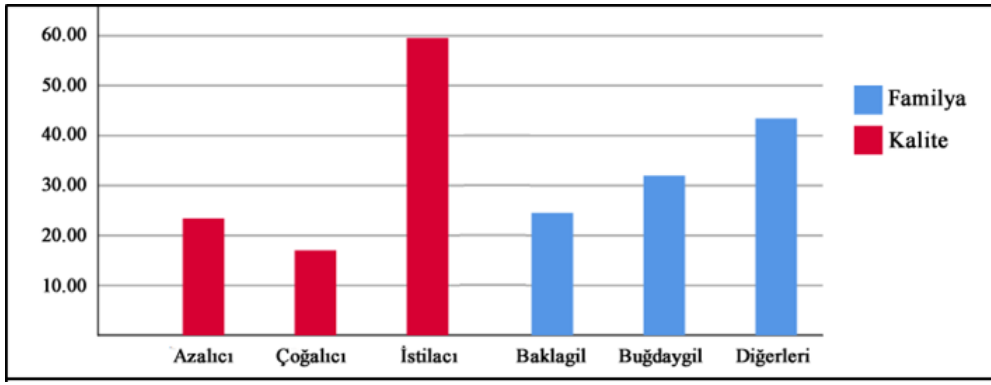
**Tablo 4.** devamı

İLÇESİ	KÖYÜ	BKA	BKÇ	BKİ	TKO	BKBa	BKBu	BKD	MSS	MDS
Kürtün	Söğüteli	32.63	0.00	67.37	59.00	34.32	22.46	43.22	Riskli	Orta
Kürtün	Tilkicek	32.63	0.00	67.37	59.00	34.32	22.46	43.22	Riskli	Orta
Kürtün	Beşirköy	17.20	14.52	68.28	46.50	17.74	32.26	50.00	Sorunlu	Orta
Kürtün	Göndere	15.06	26.64	58.30	64.75	9.27	34.75	55.98	Riskli	Orta
Kürtün	Söğüteli	21.86	34.13	44.01	83.50	34.13	39.52	26.35	Sağlıklı	Orta
Kürtün	Damlı	34.90	34.56	30.54	74.50	34.82	48.56	16.61	Sağlıklı	İyi
Merkez	Arslanca	33.88	4.61	61.51	76.00	29.28	37.17	33.55	Sağlıklı	Orta
Merkez	Beyçam	20.59	20.59	58.82	68.00	10.29	41.18	48.53	Riskli	Orta
Merkez	Boğalı	11.50	16.50	72.00	50.00	50.50	33.50	16.00	Sorunlu	Orta
Merkez	Çayırardı	13.36	25.63	61.01	69.25	12.64	23.47	63.90	Riskli	Orta
Merkez	Çorak	11.50	16.50	72.00	50.00	50.50	33.50	16.00	Sorunlu	Orta
Merkez	Güngören	38.01	33.33	28.65	85.50	20.86	48.29	30.86	Sağlıklı	İyi
Merkez	Harmancık	31.46	15.73	52.81	44.50	24.72	40.45	34.83	Sorunlu	Orta
Merkez	Kabaköy	0.00	14.05	85.95	30.25	38.84	10.74	50.41	Sorunlu	Zayıf
Merkez	Kocapınar	32.93	22.16	44.91	83.50	10.78	55.69	33.53	Sağlıklı	İyi
Merkez	Olucak	16.30	20.65	63.04	46.00	27.17	9.24	63.59	Sorunlu	Orta
Merkez	Olucak 2	0.00	0.00	100.00	52.75	58.29	8.06	33.65	Sorunlu	Zayıf
Merkez	Yağlıdere	41.67	16.67	41.67	72.00	12.14	41.53	46.33	Sağlıklı	İyi
Merkez	Yağmurdere	26.42	10.94	62.64	66.25	25.37	32.46	42.16	Riskli	Orta
Merkez	Yaydemir	42.68	19.82	37.50	82.00	47.46	14.03	38.51	Sağlıklı	İyi
Merkez	Yukarı alıçlı	30.99	6.61	62.40	60.50	49.17	21.90	28.93	Riskli	Orta
Merkez	Yuvalı	9.89	10.60	79.51	70.75	61.84	13.78	24.38	Sağlıklı	Zayıf
Merkez	Dumanlı	20.90	27.99	51.12	67.00	48.13	16.04	35.82	Riskli	Orta
Şiran	Alıç	26.00	18.50	55.50	50.00	19.00	54.50	26.50	Sorunlu	Orta
Şiran	Aritaş	16.58	17.62	65.80	48.25	21.24	34.20	44.56	Sorunlu	Orta
Şiran	Çakırkaya	31.29	23.62	45.09	81.50	15.34	54.60	30.06	Sağlıklı	İyi
Şiran	Çal	20.74	11.48	67.78	67.50	14.44	42.59	42.96	Riskli	Orta
Şiran	Çevre pınarı	3.80	35.44	60.76	79.00	12.03	28.48	59.49	Sağlıklı	Zayıf
Şiran	Karaşeyh	27.44	13.72	58.84	82.00	18.60	28.66	52.74	Sağlıklı	Orta
Şiran	Kırıntı	23.47	11.73	64.80	49.00	18.37	33.16	48.47	Sorunlu	Orta
Şiran	Kozağaç	10.34	10.34	79.31	58.00	12.07	38.36	49.57	Riskli	Zayıf
Şiran	Yedibölük	12.66	50.21	37.13	59.25	25.74	40.08	34.18	Riskli	Orta
Torul	Arılı	15.02	10.58	74.40	73.25	30.41	8.11	61.49	Sağlıklı	Zayıf
Torul	Büyükçit	23.11	16.73	60.16	62.75	35.86	6.37	57.77	Riskli	Orta
Torul	Dağdibi	15.46	35.33	49.21	79.25	14.68	55.35	29.97	Sağlıklı	Orta
Torul	Gümüştüğ	33.75	24.15	42.11	80.75	35.60	17.34	47.06	Sağlıklı	İyi
Torul	Güzeloluk	20.53	20.53	58.94	75.50	11.00	38.51	50.49	Sağlıklı	Orta
Torul	Zigana	22.50	19.06	58.44	80.00	36.25	26.88	36.88	Sağlıklı	Orta
	Ortalama	23.45	17.03	59.51	67.18	24.55	32.00	43.45		

BKA: Azalıcı bitkilerin kompozisyon oranı, BKÇ: Çoğalıcı bitkilerin kompozisyon oranı, BKİ: İstilacı bitkilerin kompozisyon oranı, TKO: Toprağı kaplama oranı, BKBa: Baklagiller familyasına ait bitkilerin kompozisyon oranı, BKBu: Buğdaygiller familyasına ait bitkilerin kompozisyon oranı, BKD: Diğer familyalara ait bitkilerin kompozisyon oranı, MSS: Mera sağlık sınıfı, MDS: Mera durum sınıfına ait

Gümüşhane mera ve yaylalarında toprağın ortalama bitkiyle kaplılık oranı %67.18, bu oran içinde baklagillerin ortalama oranı %24.55, buğdaygillerin oranı %46.76 ve diğer familyaların oranı da %43.45 olarak hesaplanmıştır. Türlerin

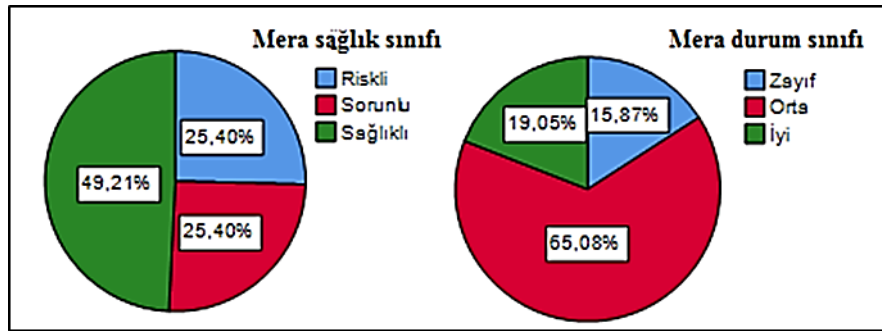
kalite derecesine göre ise azalıcı bitki türlerinin oranı %23.43, çoğalıcı bitki türlerinin oranı %17.03 ve istilacı türlerin oranı da %59.51 olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Familya ve kalitelere göre bitki türlerinin yoğunlukları

Özellikle mera ve yaylaların vejetasyonlarındaki istilacı türlerin yoğun olduğu alanlar dikkate alındığında bu alanların mera sağlık sınıflarının riskli ve sorunlu, mera durum sınıflarının ise zayıf ve orta olduğunu söyleyebiliriz. Alanların durum sınıflarına genel olarak baktığımızda ise mera sağlık sınıfı bakımından, alanların %49.21'i sağlıklı iken sorunlu ve riskli alanların oranının

%25.40 olduğu hesaplanmıştır. Mera durum sınıfına göre ise alanların %65.08'i orta, %19.05'i iyi ve %15.87'si zayıf mera durum sınıfına sahip olduğu bulunmuştur (Şekil 3). Mera durum sınıfı ile mera sağlık sınıfının iyi olmadığı alanlarda azalıcı türlerin vejetasyondaki oranlarının artırılması ve istilacı türlerle mücadele yöntemlerinin uygulanması gereklidir.

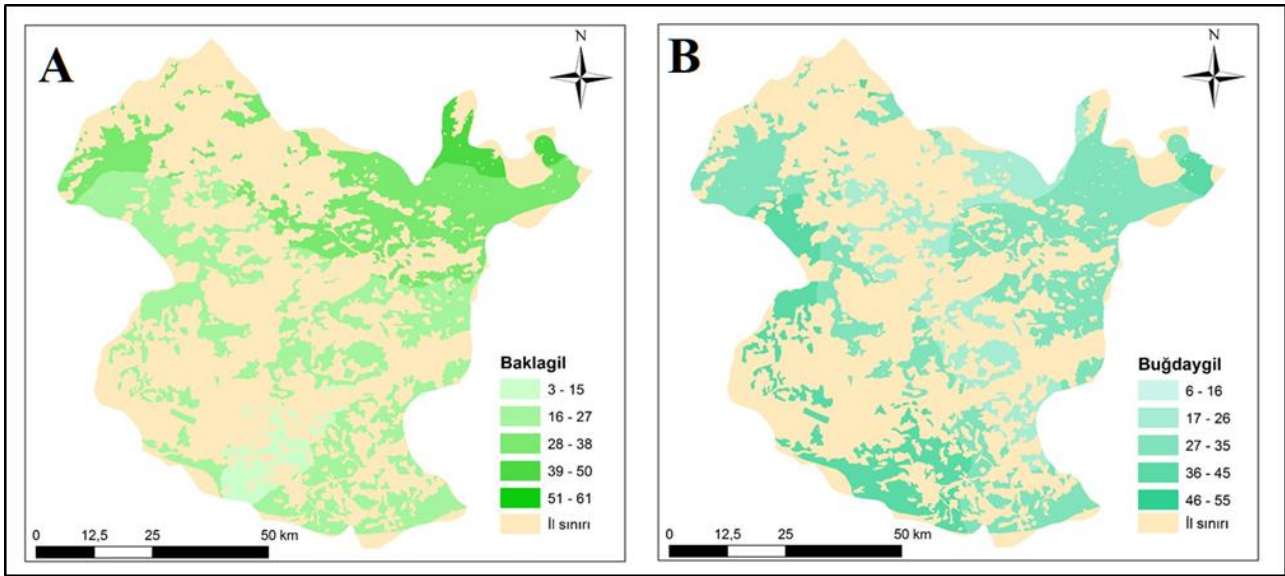


Şekil 3. Mera ve yaylaların sağlık ve durum sınıfları

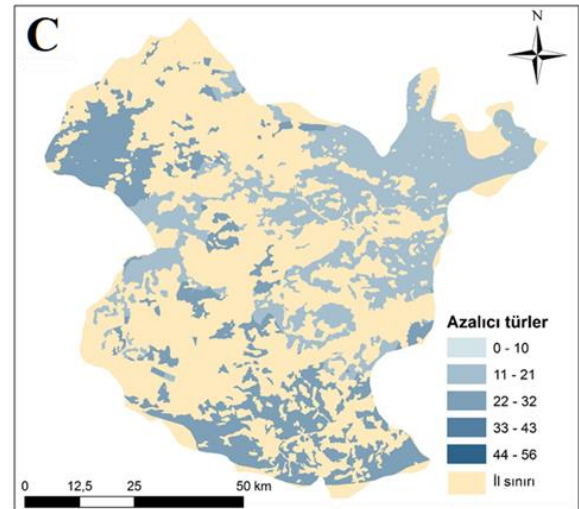
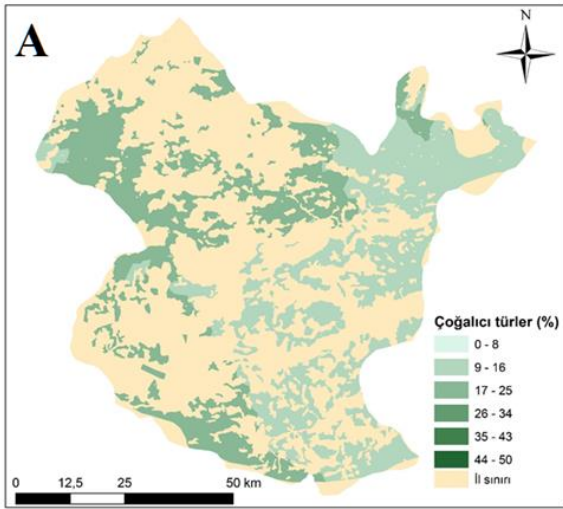
Meraların vejetasyon özelliklerine ait çizilen haritalar incelendiğinde; baklagiller familyasına ait türlerin en yoğun olduğu (%51-61) yerlerin Trabzon il sınırına yakın olan yaylalar olduğu jeo-istatistik analiziyle belirlenmiştir. Bunu yanı sıra bu yerlere yakın olan yaylalar ile Giresun il sınırına yakın olan Torul ilçesindeki alanlarda baklagiller familyasına ait türlerin oranlarının %50'ye yakın olduğu belirlenmiştir. Özellikle Şiran ilçesinde yer alan mera ve yaylalardaki baklagiller familyasına ait türlerin yoğunluğunun %3-15 arasında değiştiği bulunmuştur (Şekil 4a).

Buğdaygiller familyasına ait türlerin dağılımına baktığımızda Bayburt ilinin kuzey ve batı sınırına

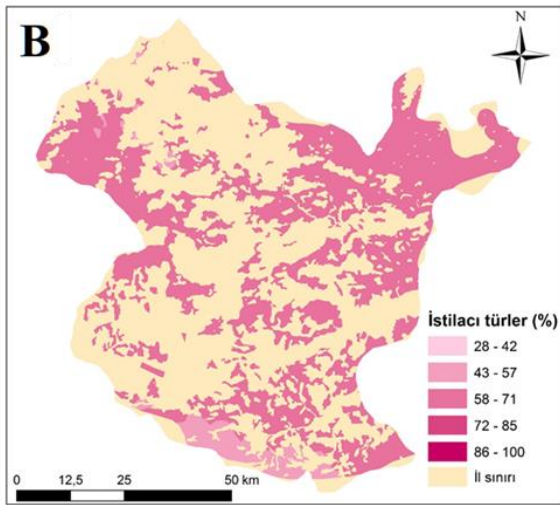
yakın yerler, Giresun ilinin Alucra ve Çamoluk ilçelerine yakın sınırlar ile Erzincan ili sınırına yakın yerlerde buğdaygiller familyasına ait türlerinin yoğunluğunun %46-55 arasında değiştiği görülmektedir. Buğdaygiller familyası türlerine ait yoğunluğun az olduğu mera ve yaylalar ise Gümüşhane ilinin orta kesimlerindedir. Sonuç olarak; baklagiller familyasına ait tür yoğunluğunun kuzeyden güneye doğru azaldığı, buğdaygiller familyasına ait türlerin yoğunluğunu ise Gümüşhane merkezine doğru azaldığını söyleyebiliriz (Şekil 4b).



Şekil 4. Mera ve yaylalara ait baklagiller (a) ve buğdaygillere (b) ait türlerin yoğunluk haritaları



Şekil 5. Mera ve yaylalara ait çoğalcı (a), istilacı (b) ve azalcı (c) türlerin yoğunluk haritaları



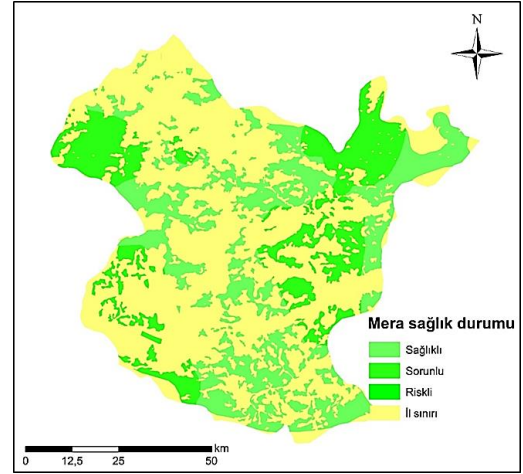
Türlerin kalite derecelerine göre çizilen haritalar incelendiğinde; çoğalcı türlerin yoğunluğunun bazı mera ve yaylalarda %50'ye çıktığı görülmektedir. Genel olarak Gümüşhane ilinin doğusunda kalan mera ve yaylalarda çoğalcı türlerin yoğunluğunun batıdaki mera ve yaylalara göre daha az olduğu söylenebilir. Özellikle Bayburt il sınırına yakın yerlerde çoğalcı tür yoğunluğunun %5 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5a).

Son olarak istilacı türlerin yoğunluğunu gösteren harita incelendiğinde; genel olarak Gümüşhane ilindeki mera ve yaylalarda yoğun olduğu görülmektedir. İstilacı tür yoğunluğunun az

olduğu yerler ise Erzincan il sınırlarına yakın olan yayla ve meralardır. Yoğun olduğu yayla ve meralar özellikle çoğalıcı ve azalıcı tür yoğunluğunun az olduğu Trabzon ve Bayburt il sınırına yakın olan yerlerdir (Şekil 5b).

Azalıcı tür yoğunluğunun gösterildiği harita incelendiğinde ise; Gümüşhane ilinin Erzincan ili sınırlarına ve Giresun ili Alucra ve Çamoluk ilçelerine yakın yayla ve meralarda %33-56 arasında değiştiği görülmektedir. Azalıcı tür yoğunluğunun az olduğu yayla ve meralar ise daha çok Trabzon ve Bayburt il sınırına yakın yerler ile Gümüşhane merkezinde yer alan yayla ve meralardır (Şekil 5c).

Meralarının sağlık durumu haritası incelendiğinde; genel olarak mera ve yaylaların sağlıklı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sorunlu alanlarda bulunmaktadır. Mera durum sınıflarına baktığımızda meraların genel durumunun iyi ve orta dereceli olduğu görülmektedir. 10 farklı mera alanında ise mera durumunun zayıf olduğu görülmüştür (Şekil 6).



**Şekil 6.** Mera ve yaylaların mera sağlık durumu haritası

Coğrafi konumundaki farklılıklardan dolayı Gümüşhane ili mera ve yaylaları eğim, erozyon derecesi, taşlılık ve toprak derinliği bakımından oldukça farklılık gösterir. Ayrıca otlatma şiddeti de çalışılan her bir mera alanı içinde ayrı ayrı belirlenmiştir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Gümüşhane ili yaylalarının meralarına ait çevresel özellikler

İlçesi	Köyü	Otlatma	Eğim	Erozyon derecesi	Taşlılık	Derinlik
Kelkit	Aydoğdu	2- Hafif	4- Dik Eğimli	2- Hafif	2- Az	1- Çok Sığ
Kelkit	Babakonağı	2- Hafif	4- Dik Eğimli	3- Orta	4- Çok	2- Sığ
Kelkit	Balkaya	4- Yoğun	5- Çok Dik Eğimli	6- Çok Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Cemalli	4- Yoğun	3- Orta Eğimli	5- Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Çamur	2- Hafif	6- Arızalı	3- Orta	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Deliler	3- Orta	6- Arızalı	4- Yüksek	5- Aşırı	1- Çok Sığ
Kelkit	Deredolu	3- Orta	3- Orta Eğimli	2- Hafif	2- Az	3- Orta Derin
Kelkit	Devekorusu	2- Hafif	4- Dik Eğimli	2- Hafif	2- Az	2- Sığ
Kelkit	Doğankavak	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	3- Orta	2- Az	1- Çok Sığ
Kelkit	Gerdekhisar	3- Orta	1- Hemen Hemen Düz	1- Çok Hafif	1- Çok Az	4- Derin
Kelkit	Gürleyik	3- Orta	3- Orta Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Karacaören	3- Orta	3- Orta Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Karşıyaka	2- Hafif	3- Orta Eğimli	2- Hafif	2- Az	1- Çok Sığ
Kelkit	Kılıçlı	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	2- Sığ
Kelkit	Söğütlü bld.	2- Hafif	2- Hafif Eğimli	2- Hafif	1- Çok Az	3- Orta Derin
Kelkit	Şen	3- Orta	4- Dik Eğimli	3- Orta	2- Az	2- Sığ
Kelkit	Tütenli	3- Orta	4- Dik Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	1- Çok Sığ
Kelkit	Yeniköy	4- Yoğun	3- Orta Eğimli	6- Çok Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Köse	Kayadibi	3- Orta	4- Dik Eğimli	4- Yüksek	3- Orta	1- Çok Sığ
Köse	Salyazı bld.	2- Hafif	3- Orta Eğimli	3- Orta	2- Az	2- Sığ
Köse	Yaylım	4- Yoğun	5- Çok Dik Eğimli	5- Şiddetli	3- Orta	1- Çok Sığ
Kürtün	Arpacık	2- Hafif	3- Orta Eğimli	3- Orta	3- Orta	2- Sığ
Köse	Yuvacık	4- Yoğun	3- Orta Eğimli	4- Yüksek	3- Orta	1- Çok Sığ
Kürtün	Elçiğen	3- Orta	1- Hemen Hemen Düz	2- Hafif	2- Az	2- Sığ
Kürtün	Günyüzü	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	2- Hafif	2- Az	1- Çok Sığ
Kürtün	Söğüteli	3- Orta	6- Arızalı	3- Orta	3- Orta	1- Çok Sığ

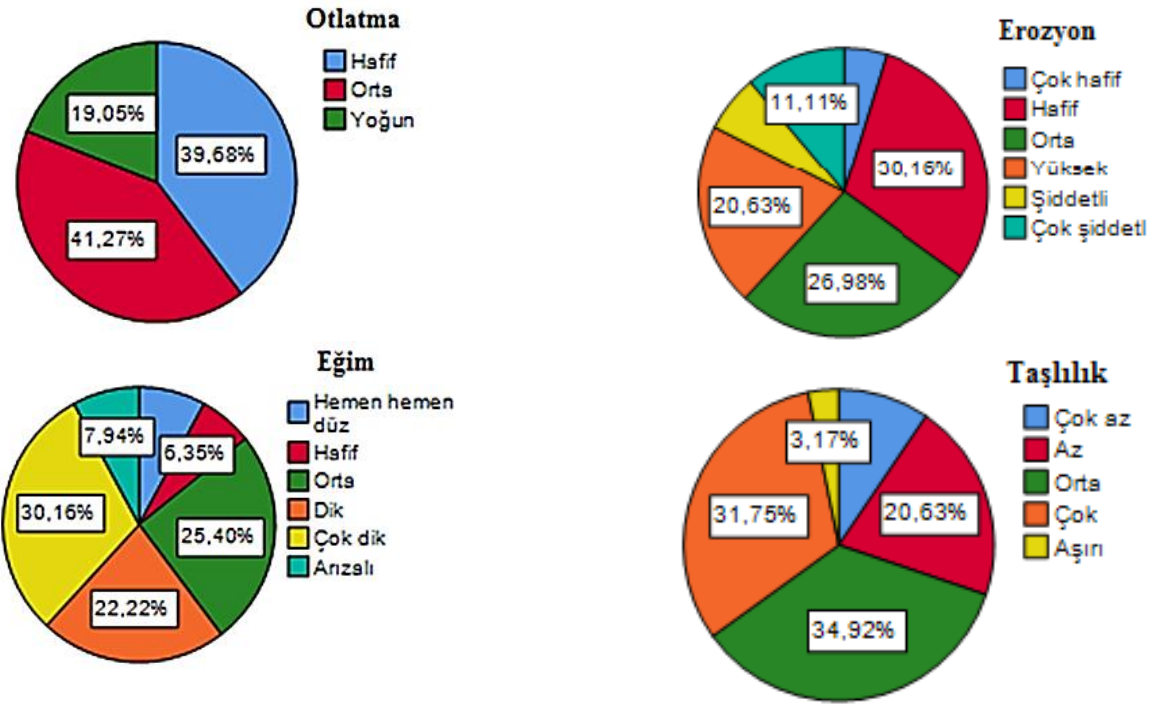
**Tablo 5.** devamı

İlçesi	Köyü	Otlatma	Eğim	Erozyon derecesi	Taşlılık	Derinlik
Kürtün	Tilkicek	3- Orta	6- Arızalı	3- Orta	3- Orta	1- Çok Sığ
Kürtün	Beşirköy	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	2- Sığ
Kürtün	Göndere	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	3- Orta	3- Orta	2- Sığ
Kürtün	Söğüteli	2- Hafif	3- Orta Eğimli	2- Hafif	3- Orta	1- Çok Sığ
Kürtün	Damlı	2- Hafif	4- Dik Eğimli	2- Hafif	3- Orta	2- Sığ
Merkez	Arslanca	3- Orta	3- Orta Eğimli	2- Hafif	1- Çok Az	3- Orta Derin
Merkez	Beyçam	4- Yoğun	4- Dik Eğimli	4- Yüksek	3- Orta	1- Çok Sığ
Merkez	Boğalı	3- Orta	2- Hafif Eğimli	2- Hafif	1- Çok Az	2- Sığ
Merkez	Çayırardı	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	5- Şiddetli	3- Orta	1- Çok Sığ
Merkez	Çorak	3- Orta	3- Orta Eğimli	2- Hafif	2- Az	3- Orta Derin
Merkez	Güngören	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	2- Hafif	2- Az	1- Çok Sığ
Merkez	Harmancık	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	5- Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Merkez	Kabaköy	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	6- Çok Şiddetli	4- Çok	2- Sığ
Merkez	Kocapınar	2- Hafif	4- Dik Eğimli	3- Orta	4- Çok	1- Çok Sığ
Merkez	Olucak	2- Hafif	3- Orta Eğimli	3- Orta	4- Çok	1- Çok Sığ
Merkez	Olucak 2	4- Yoğun	4- Dik Eğimli	2- Hafif	3- Orta	2- Sığ
Merkez	Yağlıdere	3- Orta	4- Dik Eğimli	2- Hafif	3- Orta	3- Orta Derin
Merkez	Yağmurdere	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	3- Orta	4- Çok	1- Çok Sığ
Merkez	Yaydemir	3- Orta	2- Hafif Eğimli	2- Hafif	3- Orta	2- Sığ
Merkez	Yukarı alıçlı	4- Yoğun	6- Arızalı	6- Çok Şiddetli	5- Aşırı	1- Çok Sığ
Merkez	Yuvalı	3- Orta	3- Orta Eğimli	2- Hafif	3- Orta	1- Çok Sığ
Merkez	Dumanlı	2- Hafif	4- Dik Eğimli	3- Orta	3- Orta	1- Çok Sığ
Şiran	Alıç	4- Yoğun	2- Hafif Eğimli	6- Çok Şiddetli	3- Orta	1- Çok Sığ
Şiran	Aritaş	4- Yoğun	3- Orta Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	1- Çok Sığ
Şiran	Çakırkaya	2- Hafif	1- Hemen Hemen Düz	1- Çok Hafif	1- Çok Az	2- Sığ
Şiran	Çal	4- Yoğun	5- Çok Dik Eğimli	6- Çok Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Şiran	Çevre pınarı	3- Orta	4- Dik Eğimli	4- Yüksek	3- Orta	1- Çok Sığ
Şiran	Karaşeyh	3- Orta	2- Hafif Eğimli	1- Çok Hafif	3- Orta	2- Sığ
Şiran	Kırıntı	4- Yoğun	5- Çok Dik Eğimli	6- Çok Şiddetli	4- Çok	1- Çok Sığ
Şiran	Kozağaç	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	4- Yüksek	3- Orta	1- Çok Sığ
Şiran	Yedibölük	3- Orta	5- Çok Dik Eğimli	4- Yüksek	4- Çok	1- Çok Sığ
Torul	Arılı	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	3- Orta	3- Orta	1- Çok Sığ
Torul	Büyükçit	2- Hafif	4- Dik Eğimli	3- Orta	3- Orta	1- Çok Sığ
Torul	Dağdibi	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	3- Orta	4- Çok	1- Çok Sığ
Torul	Gümüştüğ	3- Orta	4- Dik Eğimli	2- Hafif	2- Az	2- Sığ
Torul	Güzeloluk	2- Hafif	1- Hemen Hemen Düz	2- Hafif	2- Az	2- Sığ
Torul	Zigana	2- Hafif	5- Çok Dik Eğimli	2- Hafif	1- Çok Az	2- Sığ

Mera ve yaylaların otlatma şiddeti ve eğim dereceleri incelendiğinde; otlatma şiddetinin yoğun olduğu mera oranının %19.05 olduğu, hafif olduğu mera oranı ise %39.68 olarak bulunmuştur. Eğim derecesine baktığımızda ise

çok değişken olduğu görülmektedir. 6 farklı eğim sınıfına sahip olan çalışma alanlarının %30.16'sı çok dik eğime sahiptir. Hemen hemen düz ve hafif eğime sahip alanların oranı ise %14.30 olarak bulunmuştur (Şekil 7).



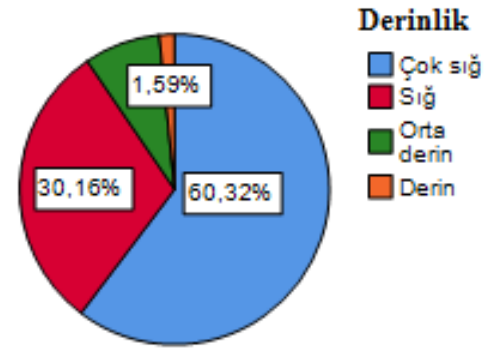


Şekil 7. Mera ve yaylalara ait otlatma ve eğim sınıflarının dağılımı

Erozyon, taşlılık ve derinlik sınıflandırmalarına göre alanlar incelendiğinde her bir özelliğin çok değişken olduğu söylenebilir. Erozyon derecelerine göre alanların %30,16'sında hafif derecede erozyon görülürken, %11,1'inde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Taşlılık yönünden aşırı ve çok taşlı olan alanların oranı %34,94, çok ve az taşlı olan alanların oranı ise %30,20 olarak bulunmuştur (Şekil 8).

Çalışma alanının özellikle eğim değerlerinin yüksek oluşu sahip olduğu akarsu sayısının çok olması arazinin fazla sayıda parçalanmasına neden olmaktadır. Bu parçalanmalardan dolayı çalışılan mera ve yaylalar farklı bakılara sahiptir. Güneyde bulunan sahalar eğimi düşük yüksek plato özelliği göstermesine karşın, vadi tabanlarının ise düz ve düze yakın eğime sahip bir özellik sergilemektedir. Düz alanların büyük bir kısmı yine güneyde bulunan Kelkit ve Şiran ovalarından oluşmaktadır (Şekil 9a).

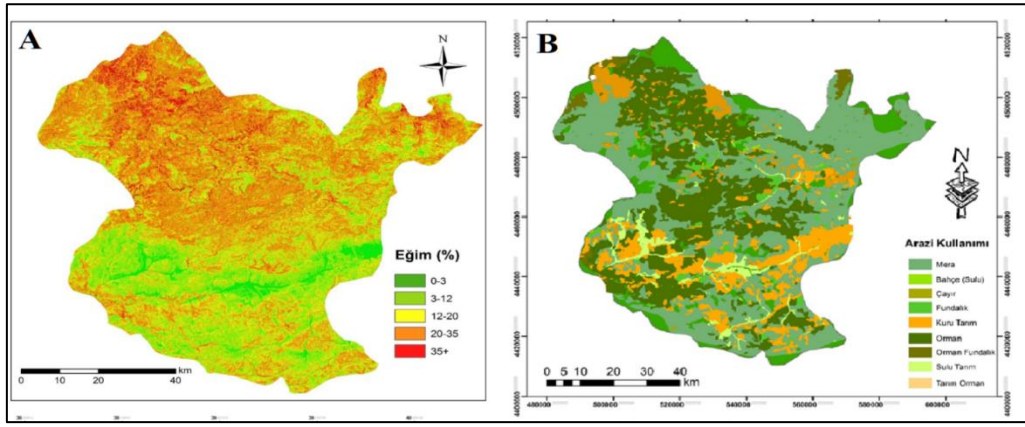
İl envanterlerinde yer alan arazi bilgilerine göre çizilen eğim ve arazi kullanım haritaları incelendiğinde; mera alanlarının yaygın olduğu, sonrasında ise orman alanlarının ilde hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 9b). Yer yer fundalık alanları bulunmaktadır. Ormanlık alanlar il arazilerinin yaklaşık %25 ini kaplamaktadır. Tarım alanları yaklaşık 1130 kilometrekarelik bir alanda görülmektedir.



Şekil 8. Mera ve yaylalara ait erozyon, taşlılık ve toprak derinliği sınıflarının dağılımı

Fakat nadasa bırakılan ve bırakılmayan kuru tarım alanları yaygındır. Plato seviyelerinde kuru tarım alanlarının daha yaygın olduğu, güneye doğru vadi tabanlarında ise sulu tarım yapıldığı görülmektedir. Mera alanlarının Trabzon güneyinde kalan kesimlerde ve Bayburt sınırına doğru daha yaygın olduğu görülmektedir. İlin arazilerinin yaklaşık %35'lik bir kısmında bulunan mera alanları yaklaşık 2800 kilometrekaredir.

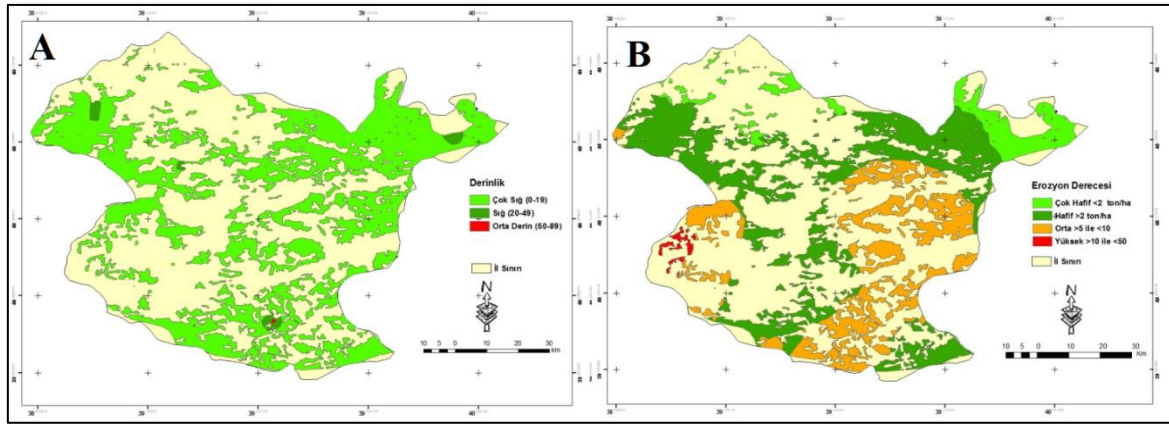
Mera arazilerinin toprak derinlik durumu incelendiğinde toprak derinliğinin oldukça düşük olduğu görülmektedir (Şekil 10a). Meralarının erozyon değerlendirme haritasına göre ilde, hafif ve orta şiddetli erozyon görülen sahaların yaygın olduğu görülmektedir. Orta şiddetli erozyon sahaları Harşit çayı ve büyük kollarının yayılış gösterdiği alanda görülmektedir.



Şekil 9. Mera ve yaylalara ait eğim haritası (a) ve Gümüşhane ili arazi kullanım haritası (b)

İlin batısında küçük bir alanda ise yüksek erozyon olduğu görülmektedir. Erozyon miktarının beklenenden düşük olması toprak derinliklerinin

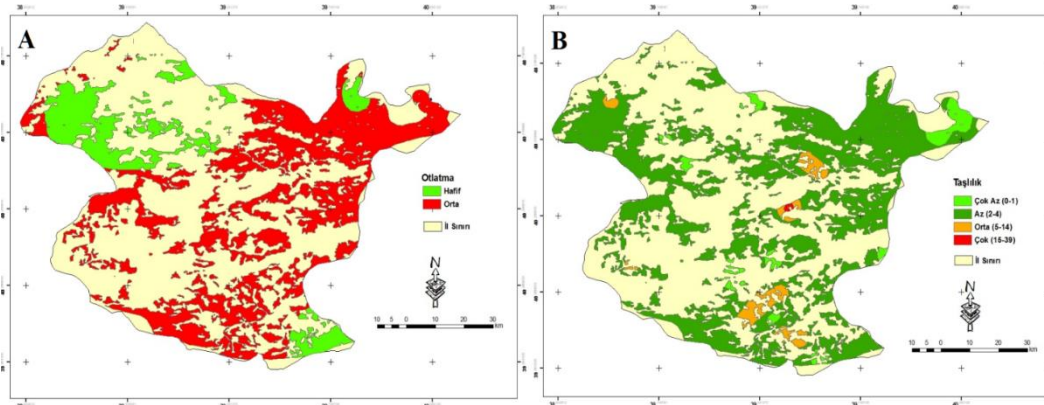
düşük olması ve kayalık alanların bol olmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 10b).



Şekil 10. Mera ve yaylalara ait toprak derinliği (a) ve erozyon derecesi (b) haritaları

Otlatma durumu incelendiğinde, orta dereceli otlatma alanlarının ağırlıkta olduğu görülmektedir. Yoğun otlatmanın görüldüğü 12 adet mera alanı belirlenmiştir. İlin kuzeybatısında ve güneydoğusunda küçük alanlarda ise otlatmanın hafif dereceli olduğu görülmüştür. İlin kuzeybatısında ve güneydoğusunda küçük alanlarda ise otlatmanın hafif dereceli olduğu

görülmüştür (Şekil 11a). Taşlılık toprak özellikleri, jeolojik formasyon özellikleri ve erozyon gibi çeşitli sebeplere bağlı olarak değişkenlik gösteren bir durumdur. Meralarda taşlılık probleminin çok fazla olmadığı görülmektedir. Az derecede taşlılık hâkim görülürken birkaç mera arazisinde orta derecede taşlılık görülmektedir (Şekil 11b).



Şekil 11. Mera ve yaylalara ait otlatma şiddeti (a) ve taşlılık (b) haritaları

#### 4. Tartışma

Meralarda uygulanacak her türlü amenajman çalışmalarının başarılı olabilmesi için, meraların botanik kompozisyonu hakkında yeterli bilgiye sahip olunması gereklidir (İspirli vd., 2016). Bunun yanında meralara ait çevresel özelliklerin belirlenmesi de yapılacak çalışmalara katkı sağlaması açısından önemlidir. Bu çalışmada; Gümüşhane ili mera ve yaylaların hem vejetasyon hem de çevresel özelliklerine ait bilgiler ortaya konmuştur. Bunun yanında bu özelliklere ait alansal dağılım haritalarının çizilmesi, Gümüşhane ilindeki tüm mera ve yaylalara ait vejetasyon ve çevresel özellikler hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Meraları oluşturan türlerin kompozisyonu bölgeden bölgeye farklılıklar göstermekle birlikte özellikle buğdaygiller familyasına ait türlerin her yerde yüksek orana sahip olduğu belirtilmiştir (Koç vd. 2005). Bulgular Gümüşhane mera ve yaylalarının botanik kompozisyonlarının sonuç değerleri ile uygunluk göstermektedir. Ayrıca bu çalışmadaki meraların çoğunda buğdaygiller familyasına ait türlerin yüksek olduğu, baklagiller familyasına ait türlerin yoğunluğunun ise daha az olduğu ancak yoğun olduğu yerlerde de %61'e kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Türlerin kalite derecelerine göre ise istilacı türlerin yoğunluğunun çoğalcı ve azalcı türlere göre çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat bu yüksek oran Trabzon ve Bayburt sınırlarına yakın yerlerde yoğunlaştığı için Gümüşhane ili genelinde bu durum söz konusu değildir. Mera sağlığı, meralarda farklı çevresel faktörler altında devamlılığın sağlanmasını (Altın vd., 2011), mera durumu ise floristik kompozisyona göre vejetasyonun mevcut durumu ifade eder (Bakır, 1999). Bu çalışmada genel olarak mera ve yaylaların sağlıklı olduğu görülmektedir. Mera durum sınıflarına göre ise meraların genel durumunun iyi ve orta derecede olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ülkemiz meralarının ortalamasına yakın bir oran göstermiştir (Töngel ve Ayan, 2005; Yavuz vd., 2012; Seydoşoğlu vd., 2018). Mera durumunun riskli sınıfa girdiği alanlarda bitki türlerinin zayıf olduğu görülmüş, arazi çalışmaları sırasında erozyonun nispeten fazla olduğu meralarda kapalılığın da az olduğu gözlemlenmiştir.

Besin değeri yüksek bitkilerin meralardan aşırı otlatma nedeniyle uzaklaştığı ve bu türlerin yerine yem değeri düşük bitkilerin yerleştiği bilinmektedir (Türk vd., 2015). Bu çalışmada orta

dereceli otlatma alanlarının ağırlıkta olduğu, aşırı otlatmanın ise merkez ve Şiran ilçelerinde yer alan bazı meralarda tespit edilmiştir. Aşırı otlatmanın görüldüğü alanlarda özellikle diğer familyalara ait türlerin yoğun olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Buna karşın yıllar içerisinde hayvancılıkta bir değişimin yaşanması meralarda aşırı otlatma problemini ortadan kaldırmıştır (Sürmen ve Kara, 2018). Meralarda otlatma süreci başlangıç tarihi belirlenirken dikkatli olunmalıdır. Ayrıca açık meralarda salma hayvancılık yapma yerine artık kapalı ya da yarı kapalı ahırlarda besi hayvancılığı tercih edilmektedir (Alkan ve Ersin, 2018). Bitkilerin bahar döneminde henüz otlatma olgunluğuna gelmeden otlatılması bitki gelişimini engellemekte ve yeterli ot bulamayan hayvanların bitkileri tamamen yok etmesine sebep olabilmektedir. Bu da zamanla meralar üzerindeki hayvan baskısının azalmasına sebep olmuştur. Amiri vd. (2008), otlatma miktarının toprağın fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediğini belirtirken; Curtis ve Wright (1993) ile Sun ve Liddle (1993) otlatma derecesinin, mera ve mera toprağı üzerinde değişikliklere neden olduğu ortaya konmuştur. Yine başka bir çalışmada otlatmanın mera topraklarının sıkışmasını kolaylaştırdığını ortaya koymuştur (Bari vd., 1993).

Artan eğim ile birlikte meralarda otlatma şiddeti azalmakta erozyonun neden olduğu toprak kaybı ile verimde de azalmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum, Altın vd. (2011)'ne göre eğim arttıkça yüzey akışının arttığını bundan dolayı da taban meranın eğimli meraya göre daha verimli olduğunu; Koç vd. (2005)'ne göre de taban suyu seviyelerinin mera kesimleri arasındaki verim farklılıklarına neden olduğu yaptıkları çalışmalarda belirtmişlerdir. İlin arazi yapısında gözlemlenen formasyonların cinsi ve özellikleri toprak gelişimine uygun olmadığı, oluşan az toprağın ise yüksek eğim değerlerine, erozyona bağlı aşınma ve taşınmaya neden olduğu belirlenmiştir (Altın vd., 2005). Ülkemizdeki meraların çoğunluğunun eğimli ve arızalı arazilerde olduğu dikkate alındığında (Büyükburç, 1999), özellikle eğim artışı ile birlikte yaş ot veriminin düştüğü Sürmen ve Kara (2018) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalar farklı eğimlere sahip meraların ot verimlerinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır (Şen vd., 2017).

Bunların yanında otlatmanın, erozyon riskinin daha az olduğu mera alanlarında daha basit ve uygulanabilir olması ile yararlı bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin daha az olması açısından daha

tercih edilebilir olduğu kabul edilmektedir (Gökbulak, 1997). Bu sahalarda erozyon probleminin önüne geçilmesi, mevcut bitki yoğunluğunun artırılması gerekmektedir. İspirli vd. (2016) tarafından Kastamonu Taşköprü sınırlarında kalan bazı meralarda yaptıkları çalışmalarda, örtünün yoğun olmasına rağmen yıllar içinde erozyona bağlı toprakların taşındığı ve derinliğin sığ olduğu görülmüş ve Karadeniz Bölgesi meraları için bitki kapalılığının yüksek olmasının hayati önemi olduğu vurgulanmıştır. Örnek parsellere bakıldığında düşük erozyon miktarının olduğu parsellerde toprak derinliğinin sığ ya da çok sığ olduğu görülmektedir.

Taşlılık; toprak özellikleri, jeolojik formasyon özellikleri ve erozyon gibi çeşitli sebeplere bağlı olarak değişkenlik gösteren bir durumdur. Meralarda taşlılık probleminin çok fazla olmadığı görülmektedir. Az derecede taşlılık, hâkim görülürken birkaç mera arazisinde orta derecede taşlılık görülmektedir. Taşlılık probleminin yüksek olması mera arazilerindeki bitki ile kaplılık, ot verimi ve mera sağlık durumunun düşmesine sebep olmaktadır (Ünal vd., 2012). Çok sığ (0-19 cm) derinlik seviyesinde olan mera arazileri otsu bitkilerin yetişmesine yetecek seviyede olmakla birlikte fazla gelişmelerine de imkân tanımamaktadır (İspirli vd., 2016). Mera arazilerinin toprak derinlik durumu incelendiğinde toprak derinliğinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak Gümüşhane ili yayla ve meralarının genel olarak sağlıklı olduğu, sorunlu ve riskli olan meraların ise aşırı otlatılan ve toprak derinliğinin daha düşük meralar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada jeostatistik yöntemler ile mera ve yaylalara ait vejetasyon ve çevresel özelliklerin haritaları çizilmiştir. Günümüzde meralara ait vejetasyon ve çevresel özelliklerin haritalanması özellikle mera amenajman ve ıslah çalışmalarının başarısını arttırmaktadır. Böylece meraların doğal yapısına kavuşması sağlanmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 106G017 numaralı proje ile desteklenmiştir.

### **Kaynaklar**

Aksakal, E.L. ve Öztaş, T., 2010. Changes in Distribution Patterns of Soil Penetration Resistance Within a Silage-Corn Field

Following The Use Of Heavy Harvesting Equipments. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34(2), 173-179.

Alkan, H. ve Ersin, M.Ö., 2018. Korunan Doğal Alanlarda İnsan-Yaban Hayatı Çatışması. Türkiye Ormancılık Dergisi, 19(3), 284-292.

Altın, M., Gökkuş, A. ve Koç, A., 2011. Çayır ve Mera Yönetimi. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 186s.

Altın, M., Tuna, C., Nizam, İ. ve Ateş, E., 2005. Pirinççi Köyü Meraları Dolgu Alanlarını Bitkilendirme Uygulamaları, VI. Tarla Bitkileri Kongresi, Eylül 2005, Antalya, Türkiye, s.1157-1162.

Amiri, F., Ariapour, A. ve Fadaei, S., 2008. Effects of Livestock Grazing on Vegetation Composition and Soil Moisture Properties in Grazed and Non-Grazed Range Site. Journal of Biological Sciences, 8(8), 1289-1297.

Anonim, 2005. Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı, [http://www.tarim.gov.tr/Belgeler /Mevzuat/ Talimatlar/ Toprak Arazi Siniflamasi Standartlari Teknik TalimativeIlgiliMevzuat\\_yeni.pdf](http://www.tarim.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Talimatlar/Toprak_Arazi_Siniflamasi_Standartlari_Teknik_TalimativeIlgiliMevzuat_yeni.pdf).

Arslan, H., 2012. Spatial and Temporal Mapping of Groundwater Salinity Using Ordinary Kriging and Indicator Kriging: The Case of Bafra Plain, Turkey. Agricultural Water Management, 113, 57-63.

Ayan, İ., Mut, H., Acar, Z., Başaran, U., Töngel, M.Ö. ve Önal Aşçı, Ö., 2007. Samsun İli Kıyı Kesiminde Yer Alan Taban Meraların Bitki Örtüsü, Toprak Özellikleri ve Bazı Sorunlar, Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi, Haziran 2007, Erzurum, Türkiye, s.54-57.

Bakır, Ö., 1999. Otlama Kapasitesi. Mera Kanunu Eğitim ve Uygulama El Kitabı. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 314s.

Bari, F., Wood, M.K. ve Murray, L., 1993. Livestock Grazing Impacts on Infiltration Rates in a Temperate Range of Pakistan. Journal of Range Management, 46(4), 367-372.

Blanchet, K., Moechnig, H. ve DeJong-Hughes, J., 2003. Grazing Systems Planning Guide. University of Minnesota Extension Service, BU-07606-S, [http://www.extension.umn.edu/agriculture/ beef/ components/ docs/ grazingsystemsplanning.guide.pdf](http://www.extension.umn.edu/agriculture/beef/components/docs/grazingsystemsplanning.guide.pdf).

- Büyükburç, U., 1983. Ankara İli Yavrucak Köyü Meralarının Gübreleme ve Dinlendirme Yolu ile Islahı Olanakları Üzerinde Bir Araştırma, Çayır Mera ve Zootekni Araştırma Enstitüsü Yayınları, 79, Ankara, 161s.
- Büyükburç, U., 1999. Mera ve Çayırların Önemi ve Özellikleri. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Çayır-Mera Yem Bitkileri ve Havza Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara.
- Cevher, C., Altınkaynak, B., Ataseven, Y., Köksal, Ö., Yavuz, G.G., Gül, U. ve Ataseven Yasan, Z., 2015. Türkiye’de Islah Edilmiş Meraların Sürdürülebilirliği Üzerine Bir Araştırma: Edirne, Afyonkarahisar, Aksaray, Niğde ve Uşak, Ardahan, Artvin, Çorum, Erzurum ve Kars İlleri Örneği. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Yayınları, 252, Ankara, 101s.
- Curtis, D. ve Wright, T., 1993. Natural Regeneration and Grazing Management a Case Study. Australian Journal of Soil and Water Conservation, 6(4), 30-34.
- Davis, P.H., 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 1-9: Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. ve Tan, K., 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands (supplement), Vol. 10: Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Gökbulak, F., 1997. Otlatmanın Otlak Ekosistemi İçin Önemi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47, 57-61.
- Gökkuş, A., Koç, A. ve Çomaklı, B., 2000. Çayır-Mera Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayın No: 142, Erzurum.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. ve Başer, K.H.C., 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Supplement, Vol. 11: Edinburgh University Press, Edinburgh.
- İmamoğlu, A. ve Dengiz, O., 2017. Determination of Soil Erosion Risk Using RUSLE Model and Soil Organic Carbon Loss In Alaca Catchment (Central Black Sea region, Turkey). Rendiconti Lincei, 28(1), 11-23.
- İmamoğlu, A. ve Dengiz, O., 2019. Evaluation of Soil Quality Index to Assess The Influence of Soil Degradation and Desertification Process In Sub-Arid Terrestrial Ecosystem. Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, 1-12.
- İmamoğlu, A., Bahadır, M. ve Dengiz, O., 2016. Çorum Alaca Havzasında Toprak Erozyon Duyarlılık Faktörünün Farklı Enterpolasyon Modeller Kullanılarak Konumsal Dağılımlarının Belirlenmesi. Toprak Su Dergisi, 5(1), 8-15.
- İspirli, K., Alay, F., Uzun, F. ve Çankaya, N., 2016. Doğal Meralardaki Vegetasyon Örtüsü ve Yapısı Üzerine Otlatma ve Topografyanın Etkisi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 3, 14-22.
- Karagüllü, O. ve Kendüzler, M., 2008. CORINE Sınıflandırması Raporu. Orman Genel Müdürlüğü, Orman Harita ve Fotogrametri Müdürlüğü, Ankara.
- Koç, A. ve Çakal, Ş., 2004. Comparison of Some Rangeland Canopy Coverage Methods. International Soil Congress Natural Resource Management for Sustainable Development, June 2004, Erzurum, Türkiye, s.41-45.
- Koç, A., Gökkuş, A. ve Altın, M., 2003. Mera Durumu Tespitinde Dünyada Yaygın Olarak Kullanılan Yöntemlerin Mukayesesi ve Türkiye İçin Bir Öneri, Türkiye V. Tarla Bitkileri Kongresi, Ekim 2003, Diyarbakır, Türkiye, s.36-42.
- Koç, A., Sürmen, M. ve Kaçan, K., 2005. Erzincan Ovası Taban Meralarının Bitki Örtülerinin Mevcut Durumu. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi Bildiri Kitabı, Eylül 2005, Antalya, Türkiye, Cilt II, s. 847-850.
- McGrath, D., Zhang, C. ve Carton, O.T., 2004. Geostatistical Analyses and Hazard Assessment on Soil Lead in Silvermines Area. Ireland. Environmental Pollution, 127(2), 239-248.
- Ongun, A.R., 2008. Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Uzaysal Değişkenliğinin Saptanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 139s.
- Seydoşoğlu, S., Kökten, K. ve Sevilmiş, U., 2018. Basic Vegetation Characteristics of Village Pastures Connected to Mardin Province and Its Provinces. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 5(4), 406-413.
- Sun, D. ve Liddle, M.J., 1993. A Survey of Trampling Effects On Vegetation and Soil in Eight Tropical and Sub-Tropical Areas. Environmental Management, 17(4), 497-510.
- Sürmen, M. ve Kara, E., 2018. Aydın İli Ekolojik Koşullarında Farklı Eğimlerdeki Mera Vegetasyonlarının Verim ve Kalite Özellikleri. Derim, 35(1), 67-72.

- Sürmen, M., Yavuz, T., Sürmen, B. ve Kutbay, H.G., 2015. Determination of the Population Densities of İnvative Species in Meadows and Pastures of Samsun. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 18(3), 9-10.
- Şen, C., Günay, S., Kurt, C. ve Tuna, Y.T., 2017. Farklı Eğim Derecelerindeki Korunan ve Otlatılan Meralarda Bazı İslah Metotlarının Bitki Örtüsü Üzerine Etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 52-59.
- Şengönül, K., Kara, Ö., Palta, Ş. ve Şensoy, H., 2009. Bartın Uluyayla Yöresindeki Mera Vejetasyonunun Bazı Kantitatif Özelliklerinin Saptanması ve Ekolojik Yapının Belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(16), 81-94.
- Töngel, M.Ö. ve Ayan, İ., 2005. Samsun İli Çayır ve Meralarında Yetişen Bazı Zararlı Bitkiler ve Hayvanlar Üzerindeki Etkileri. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 84-93.
- Turan, N., Özyazıcı, M.A. ve Tantekin, G.Y., 2015. Siirt İlinde Çayır Mera Alanlarından ve Yem Bitkilerinden Elde Edilen Kaba Yem Üretim Potansiyeli. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 69-75.
- Turgut, B. ve Öztaş, T., 2012, Assessment of Spatial Distribution of Some Soil Properties with Geostatistics Method. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2),10-22.
- Türk, M., Albayrak, S. ve Bozkurt, Y., 2015. Otlatmanın Farklı Yapay Meralarda Botanik Kompozisyon Üzerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), 27-34.
- Ünal, S., Mutlu, Z., Mermer, A., Urla, Ö., Ünal, E., Özaydın, K.A., Avağ, A., Yıldız, H., Aydoğmuş, O., Şahin, B. ve Aslan, S., 2012. Çankırı İli Meralarının Mera Durumu ve Sağlığının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 131-135.
- Ünal, S., Mutlu, Z., Urla, Ö., Yıldız, H., Aydoğdu, M., Şahin, B. ve Aslan, S., 2014. Improvement Possibilities and Effects of Vegetation Subjected to Long-Term Heavy Grazing In The Steppe Rangelands Of Sivas. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 22-30.
- Yavuz, T., Sürmen, M., Töngel, M.Ö., Avağ, A., Özaydın, K. ve Yıldız, H., 2012. Amasya Mera Vejetasyonlarının Bazı Özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1), 181-185.

# Elektrodepozisyon Yapılan ZnO İnce Filmlerinin Korozyon Davranışı

## Corrosion Behaviour of Electrodeposited ZnO Thin Films

Kübra ÇINAR DEMİR\*

Atatürk Üniversitesi, Oltu Yerbilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 25400 Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 09.09.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 31.01.2020

### Öz

Elektrokimyasal büyütme metodu, homojen ince filmlerin oluşumunun mümkün olması, düşük maliyeti, nano-yapıların elde edilebilirliğinin kolaylığı, büyük yüzey alanlı büyütme yöntemlerinin gerçekleştirilebilirliği ve stokiometriyede kontrolü gibi avantajlara sahip olması nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, nano-yapılı çinko oksit (ZnO) ince filmler elektrokimyasal büyütme metodu kullanılarak indiyum tin oksit (ITO) kaplı cam altlıklar üzerine büyütülmüştür. Filmlerin kalitesi üzerine katodik potansiyel, zaman, sıcaklık ve pH etkileri analiz edilmiştir. ZnO ince filmler dimetil sülfoksit'te (DMSO) 130 °C sıcaklıkta 3600 sn büyütme süresinde -1.0 V katodik potansiyelde elde edilmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) analizi, ZnO ince filmlerin açıkça (0002) tercihi yöneliminde tek kristal özelliğe sahip olduğunu doğrulamaktadır. Soğurma ölçümlerine göre, ZnO filminin optik band aralığı (Eg) 3.4 eV olarak hesaplanmıştır. ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filmlerin korozyon özellikleri elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve Tafel ölçümleriyle incelenmiştir. Nyquist, açık devre potansiyeli (OCV) ve Bode analizi ZnO'nun yapısal değişimini ve korozyon davranışını anlamak için oluşturulmuş ve Nyquist eğrisine fit yapılarak elde edilen çözelti direnci (Rs), polarizasyon direnci (Rp), sabit faz elementi (CPE<sub>dl</sub>) ve sabit faz elementi üstel değeri (n) sırasıyla 49.61 Ω, 4.97x10<sup>-6</sup> Ω, 6.75x10<sup>-6</sup> Ω<sup>-1</sup>.s.cm<sup>-2</sup> ve 0.940 olarak hesaplanmıştır. Tafel eğrisine fit yapılarak elde edilen korozyon potansiyeli (E<sub>kor</sub>) ve korozyon akımı (I<sub>kor</sub>) sırasıyla -0.199 V ve 2.97x10<sup>-8</sup> A olarak elde edilmiştir. Tüm ölçümler dikkate alındığında, büyük korozyon direncinin nedeninin büyütme sırasında oluşan kusurların artışıyla ilgili olarak yüzey pasivasyonu açıklanabilir.

**Anahtar kelimeler:** EIS, Elektrodepozisyon, Tafel, XRD, ZnO

### Abstract

Electrochemical deposition method (ECD) has been widely used due to its advantages in stoichiometry control, large area growth, easy to form nano-structures, being low cost, possible formation of homogeneous thin films. In this study, nanostructured zinc oxide (ZnO) thin films were deposited on Indium tin oxide (ITO)-coated glass substrate using ECD. The effects of cathodic potential, time, temperature and pH on quality of the films were examined. ZnO thin films were achieved with in cathodic potential with -1.0 V and deposition time with 3600 seconds at temperature 130°C in dimethyl sulfoxide (DMSO). X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed clearly that the ZnO thin films have single crystalline properties with a strong c-axis (0002) preferential orientation. According to the absorption measurements, the optical bandgap of the ZnO film was calculated as Eg 3.4 eV. ZnO thin films electrodeposited on ITO substrate were studied with Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Tafel measurements. Nyquist, open circuit potential and Bode analysis were evaluated to find out the structural changing of ZnO and its corrosion behavior. With the help of these plots, solution resistance (Rs), polarization resistance (Rp), a constant phase element (CPE) and a CPE exponent (n) were calculated as 49.61 Ω, 4.97x10<sup>-6</sup> Ω, 6.75x10<sup>-6</sup> Ω<sup>-1</sup>.s.cm<sup>-2</sup>, 0.940, respectively. Also, we examined the ZnO thin films corrosion features with the help of tafel measurements. Considering all these measurements, the possible reason of increasing corrosion resistance can be interpreted as surface passivation depending on increasing defects caused by deposition.

**Keywords:** EIS, Electrodeposition, Tafel, XRD, ZnO

\* Kübra ÇINAR DEMİR; kubra.cinar@atauni.edu.tr, Tel: (0442) 816 5935, orcid.org/0000-0001-7528-3138

## 1. Giriş

ZnO, 3.3 ile 3.5 eV arasında değişen direkt band aralıklı n-tipi bir yarıiletkenidir. ZnO'nun diğer geniş band aralıklı yarıiletkenlere göre en önemli avantajlarından biri de üç kat daha büyük eksiton bağlanma enerjisine sahip olmasıdır (60 meV). Yarıiletken teknolojisinde geniş bir uygulama alanına sahip olan ZnO bileşik yarıiletkeni, moleküler demet epitaksi (MBE) (Przedziecka vd., 2019), radyo frekansı magnetron saçılma (RF magnetron sputtering) (Wittkamper vd., 2019), kimyasal buhar biriktirme (CVD) (Fay vd., 2005), sprey proliz (Tharsika vd., 2019), kimyasal banyo biriktirme (CBD) (Pellegrino vd., 2019) ve elektrodepozisyon (Pan vd., 2019; Pei vd., 2019; Sharma vd., 2019; Wang vd., 2019) gibi pek çok farklı teknikle büyütülmektedir.

Fahoume vd. (2006) ZnO ince filmlerini, çinko klorür kullanarak hazırlanan çözeltide ve hava akışının sürekli olduğu bir ortamda elektrodepozisyon işlemiyle hem indiyum kalay oksit kaplı cam altlıklar hem de bakır altlıklar üzerine büyüttüklerini açıklamışlardır. ZnO filmlerin yapısal ve morfolojisi üzerine pH etkisini araştırmışlar ve optimum şartlarını belirlemişlerdir. Ayrıca filmlerin büyüme kinetiklerini de incelemişlerdir. Asidik çözeltilerde ZnO büyüme hızının bazik bir çözeltiden daha hızlı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Filmlerin yapısını XRD, geçirimli elektron mikroskobu kullanılarak çalışmışlar ve XRD analizleriyle filmlerin pH:4'te hegzagonal krsital yapıya sahip polikristal olduğunu göstermişlerdir. ZnO'nun optik geçirgenliğinin değişen film kalınlığıyla azaldığını göstermiş ve optik enerji band aralığını 3.26 eV olarak hesaplamışlardır (Fahoume vd., 2006).

Weng vd. (2005) ZnO ince filmleri indiyum kaplı cam altlıklar üzerine 65 °C'de bir Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sulu çözeltisinde elektrodepozisyon yaparak büyüttüklerini açıklamışlardır. XRD çalışmaları da elde edilen ZnO filmlerin hegzagonal wurtzite yapıya sahip polikristal olduğunu göstermiştir. Uygulanan voltajlar, büyüme zamanı ve tavlama sıcaklığı gibi çeşitli çalışma koşulları kontrol edilmiş ve uygulanan şartlara göre ZnO filmler hemen hemen 180 nm'den 320 nm'ye kadar değişen tanecik büyüklüğüne sahip farklı morfolojiler sunduğu gözlenmiştir. Büyütmeler -0.9 ile -1.0 V potansiyede yürütülmüştür. ZnO filmler kompakt ve homojen bir yapıda ve filmlerin geçirgenliğinin 500 nm'de % 95'e yakın olduğunu açıklamışlardır. Yine farklı şartlar altında büyütülen ZnO filmlerin band aralığındaki

değişimleri de incelediklerini açıklamışlardır (Weng vd., 2005).

Gao vd. (2006) ZnO ince filmleri iletken altlıklar üzerine elektrokimyasal büyüme metoduyla hazırladıklarını açıklamışlardır. ZnO ince filmlerin oldukça şiddetli (002) yöneliminde hegzagonal wurtzite yapıya sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Spesifik kristal morfolojisi, mevcut proses için kendine has özelliklerden biri olan oryantasyon eki modu vasıtasıyla büyüme mekanizmasına katkıda bulunabilir. Çünkü yüksek çözünürlüklü AFM görüntülerinde katlı yapı ortaya çıkmıştır. Filmin yüksek geçirgenlik özelliği gösterdiği ve 3.3 eV optik bant aralığı enerjisine sahip olduğu açıklanmıştır. N<sub>2</sub> ve Ar gazı ortamında tavlama sonrası, güçlü yeşil emisyon tek başına iyonize olmuş oksijen kusurlarının ortaya çıkışıyla ilişkili olduğu gözlenmiştir. Tavlama şartlarını optimize ederek emisyon şiddetinin oldukça iyileştirilmesiyle bu metodun ZnO yeşil fosforunun hazırlanması için kullanılan geleneksel metodun yerini almasının umut verici olabileceği açıklanmıştır (Gao vd., 2006).

Taleb vd. (2019) ITO altlık üzerine elektrokimyasal olarak -0.5 V ile -0.8 V arasında değişen farklı potansiyelerde büyüttükleri ZnO ince filmlerin kalıcı zayıf manyetik alandaki etkilerini incelemişlerdir. Büyütmeler SEM, EDX ve elektrokimyasal testlerle karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, -0.5 V altında magnetik alan varlığında kristal boyutunda artış ve -0.8 V büyüme potansiyeli altında ZnO büyütmelerin büyük kristallerinin sayısında azalma gözlenmiştir. Bir hafta korozyondan sonra zayıf magnetik alan altında mevcut büyütmelerin açık devre potansiyelinin, polarizasyon eğri parametrelerinin ve kristalografik parametrelerin değiştiği açıklanmıştır (Taleb vd., 2019).

Xie vd. (2011) Cu altlıklar üzerine radyo frekanslı magnetron saçırma metoduyla amorf Zn ve ZnO ince filmleri hazırladıklarını ve XRD, SEM ve Raman spektroskopisi ile karakterize ettiklerini açıklamışlardır. İnce filmlerin elektrokimyasal performansı galvanostatik dönüşüm ve dönüşümlü voltametri ile çalışılmıştır. Filmlerin, Li-iyon kimyasal difüzyon katsayıları galvanostatik aralıklı titrasyon tekniği ve elektrokimyasal empedans spektroskopisiyle belirlenmiştir. Amorf Zn ve ZnO filmlerinin hemen hemen 10<sup>14</sup>'ten 10<sup>12</sup> cm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> arasında değişen benzer difüzyon değerleri gösterdiğini açıklamış ve benzer Li-iyon taşıma karakteristikleri hem galvanostatik aralıklı titrasyon tekniğiyle hem de elektrokimyasal



empedans spektroskopisiyle tekniğiyle belirlendiğini ifade etmişlerdir (Xie vd., 2011).

Kouhestanian vd. (2016) son yıllarda ZnO nanoyapıların, eşsiz taşıma özellikleri nedeniyle, boya sentezli güneş pili foto-anotlarının oluşumunda oldukça dikkat çektiğini açıklamışlardır. Bu çalışmada TiO<sub>2</sub> tabanlı boya duyarlı güneş hücreleri (DSSC) performansı korunurken, bir kronoamperometrik metod, rekombinasyon merkezlerini azaltmak ve TiCl<sub>4</sub> ön işlemine uygun bir alternatif olarak ZnO yapıları oluşturmak için gerçekleştirilmiştir. Büyütmeyi kontrol etmek için ZnO elektrodepozisyonu üzerine polivinil alkolün etkisi ve ZnO yapıların kristalleşmesi araştırılmıştır. ZnO/TiO<sub>2</sub> tabanlı boya duyarlı güneş pilleri N719 rutenyum boyası kullanılarak oluşturulmuş ve tüm fotovoltaiik parametreler karakterize edilmiştir. Akım verimi için uyarıcı fotonun (IPCE) elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), dönüşümlü voltametri (CV) ve pil performansında önemli bir gelişme ile sonuçlanan pil özelliklerini çalışmak için VOC bozunum teknikleri kullanılmıştır (Kouhestanian vd., 2016).

Maleki-Ghaleh vd. (2016) nanoyapılı ZnO ince filmleri elektrodepozisyon işlemiyle flor katkılı kalay oksit (FTO) altlık üzerine sentezlediklerini açıklamışlardır. Filmlerin yapısı ve fotokatalitik davranışı üzerine uygulanan voltajın etkisini incelemişlerdir. Büyütmeler, 70 °C sıcaklıkta ve 0.5, 0.7, 0.9 ve 1.1 V farklı potansiyellerde 1000 sn süre ile çinko nitrat ve sodyum nitrat içeren sulu elektrolit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ZnO filmlerin morfolojisi ve elementel analizi, sırasıyla taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ve enerji ayrımlı x-ışını spektroskopisi (EDX) kullanarak incelenmiştir. Numunelerin fotokatalitik davranışı bir sodyum sülfat çözeltisinde 375 nm uv-ışını ışınlaması altında lineer taramalı voltametri, amperometri ve elektrokimyasal impedans testleriyle oluşturulmuştur. Sonuçlar, -1.1 V'ta sentezlenen filmin diğer filmlerle kıyaslandığında en iyi fotokatalitik davranışı göstermiştir. Nyquist eğrilerinde, daha küçük çaplı yarımların elektronlar ve iyon transferlerine karşı daha küçük katalizör yüzey direnci gösterdiği açıklanmıştır. FTO altlık üzerine ZnO kaplı filmlerin EIS grafiklerinin eş değer devreleri verilmiş ve devre özellikleri elektrolit direnci (R<sub>s</sub>), ZnO filminin direnci (R<sub>film</sub>), ZnO filminin kapasitansı (C<sub>film</sub>) ve çift tabaka direncinden (C<sub>dl</sub>) oluştuğu ortaya konulmuştur. Elektrik çift tabaka direnç değeri FTO altlık için 9.81x10<sup>5</sup>'den numune için 2.3x10<sup>3</sup>'e azaldığı ifade edilmiştir. Bu nedenle,

ZnO tabakasının varlığının büyütmeye yapılmamış olan FTO örneğiyle karşılaştırıldığında FTO yüzeyinde elektron ve iyon transferinin artırılması üzerine önemli bir etki oluşturduğu açıklanmıştır (Maleki-Ghaleh vd., 2016).

Dabbabi vd. (2019) Nikel (Ni) ve Lantan (La) katkı maddelerinin, ZnO ve SnO<sub>2</sub> ince filmlerinin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırdıklarını açıklamışlardır. Her iki oksit malzemesi de sprey proliz tekniği kullanılarak, cam altlıklar üzerine büyütülmüştür. Yapısal analiz, tanecik boyutunun katkılı ZnO ve La'dan ziyade Ni içeren SnO<sub>2</sub> için daha iyi arttığını göstermiştir. Optik çalışmalar, Ni ve La katkılı ZnO filmlerinin görünür bölgeden kızıl ötesine kadar yaklaşık % 80-85 oranında yüksek geçirgenlik sergilediğini ortaya çıkarmıştır. La katkılı ZnO, Ni katkılı ZnO ile kıyaslandığında, enerji band değerinde hafif bir artış gözlenmiştir, Ni-katkılı SnO<sub>2</sub> için filmlerin enerji bant değeri 3.46 eV ve La-katkılı SnO<sub>2</sub> filmler için 3.34 eV değerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da La-katkılamanın enerji band değerinde bir azalmaya yol açtığı gözlenmiştir Elektriksel özelliklerde oda sıcaklığında elektrokimyasal empedans spektroskopisi kullanarak hesaplanmıştır. Tüm katkılı oksit filmlerin Nyquist grafiklerinin (hem karanlıkta hem de görünür ışık altında) tek bir yarımlar daire şeklinde oluştuğu gözlenmiştir. Nyquist grafiklerine fit yapılarak elde edilen eş değer devre parametreleri, sırasıyla seri direnç (R<sub>1</sub>), paralel direnç (R<sub>2</sub>), sabit kapasite ya da sabit faz elementinden (C ya da CPE<sub>1</sub>) oluşmaktadır. La:ZnO filmler için karanlık altında R<sub>1</sub>: 2.039x10<sup>3</sup> Ω, R<sub>2</sub>: 8.720x10<sup>3</sup> Ω ve CPE<sub>1</sub>: 2.404x10<sup>-8</sup> F olarak hesaplanmıştır. Yine La:ZnO filmler için aydınlık şartlar altında R<sub>1</sub>: 1.922x10<sup>3</sup> Ω, R<sub>2</sub>: 7.101x10<sup>3</sup> Ω ve CPE<sub>1</sub>: 3.607x10<sup>-8</sup> F olarak belirlenmiştir. Karanlık şartlar altında Ni:ZnO filmler için R<sub>1</sub>: 76.705x10<sup>3</sup> Ω, R<sub>2</sub>: 697.060x10<sup>3</sup> Ω ve C: 0.112x10<sup>-8</sup> F'dir. Aydınlık şartlar altında Ni:ZnO filmler için R<sub>1</sub>: 57.166x10<sup>3</sup> Ω, R<sub>2</sub>: 112.800x10<sup>3</sup> Ω ve C: 0.848x10<sup>-8</sup> F olarak hesaplanmıştır (Dabbabi vd., 2019).

Elektrodepozisyonla büyütülmüş metal-oksit filmler, günümüzde bilinen ve yaygın şekilde kullanılan diğer tekniklere göre pek çok avantajlara sahiptir (Izaki, 1999). Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- i. filmin yapısı ve kalınlığı elektrokimyasal parametrelerle kontrol edilebilir
- ii. istenilen şekillere sahip altlıklar üzerine tek tip film elde edilebilir

- iii. filmler, 100 °C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda altlık üzerine elektrodepozisyon yapılabilir.
- iv. büyütme hücresi atmosfere açık olduğu için büyütme sırasında katkılama yapılabilir (Demir vd., 2019)
- v. düşük maliyetlidir
- vi. elektrodepozisyon, çevre dostu ve düşük risklidir

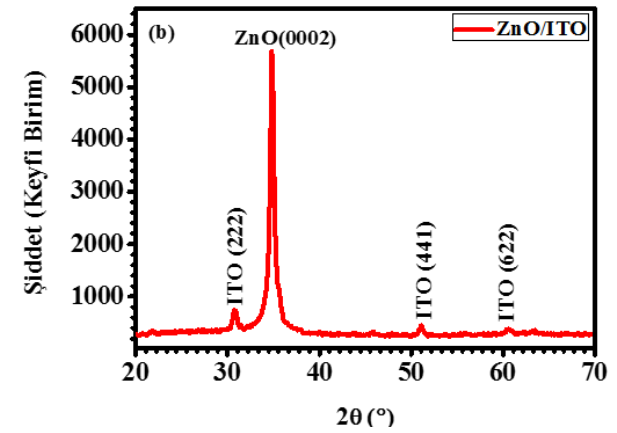
Bu çalışmada, ZnO geçirgen ince filmler, elektrokimyasal büyütme metodu kullanılarak indiyum kalay oksit (ITO) altlık üzerine büyütülmüştür. Filmlerin yapısal optik özellikleri, sırasıyla X-ışını kırınım (XRD) metodu ve soğurma spektrumu ile incelenmiştir. Yine, ZnO ince filmlerin korozyon davranışı Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Tafel teknikleriyle araştırılmıştır. Bu çalışmada temel amaç, korozyonun elektrokimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmasından dolayı korozyon süreçlerini incelemek ve malzemenin yapısında meydana gelen değişiklikleri araştırmaktır. Çünkü EIS, sabit bir potansiyelde tutulan elektrokimyasal bir ara yüzü karakterize etmek için kullanılır. EIS, kaplanan malzemelerde batarya araştırması, elektrot kinetiği araştırması ve endüstriyel elektroliz çalışmalarında kullanılan güçlü bir araçtır. Bu çalışmada hazırlanan nanoyapılı ZnO ince filmlerin detaylı yapısal, optik ve morfolojik analizleri nedeniyle malzeme bilimi üzerine çalışan çoğu araştırmacı için oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı makalede, ZnO ince filmlerin korozyon davranışının araştırılması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuç olarak, yarıiletken malzemeler ve cihazlar üzerine çalışan araştırmacılar için, yıllar sonra bile malzemelerin korozyon davranışının önemini yitirmeyeceği düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

ZnO geçirgen ince filmler ITO altlık (Sigma-Aldrich firmasından temin edilen ve 15-25  $\Omega$ .cm sahip ) üzerine 0.05 M  $Zn(ClO_4)_2$  ve 0.1M  $Li(ClO_4)$  kullanılarak hazırlanan DMSO çözeltisinde, -1.0 V katodik potansiyelde, 1 saatlik sürede ve 130 °C'de büyütülmüştür (Tekmen vd., 2010). Büyütmeleri gerçekleştirmek için hazırlanan çözeltinin, pH'ı 6 olarak ölçülmüş, Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi, ince filmlerin elektrokimyasal büyütülmesi ve ölçümleri Gamry Reference 600 Potentiostat / Galvanostat cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Büyütmeler  $Ag/AgCl_2$  referans elektrot, Zn karşıt elektrot ve

ITO çalışma elektrodu olmak üzere geleneksel üç elektrotlu sistem kullanılarak yürütülmüştür. Büyütme öncesinde, ITO altlıklar özel temizleme prosedürüne uygun bir şekilde temizlenmiş ve daha sonra azot gazıyla kurutulmuş 300 °C'de 30 dk azot gazı ortamında tavlansmıştır. ZnO geçirgen ince filmler XRD, soğurma, EIS ve Tafel ölçüm teknikleri ile yapısal, optik ve korozyon özellikleri araştırılmıştır. EIS ve Tafel ölçümleri 0.5 M  $Na_2SO_4$  sulu çözeltide oda sıcaklığında yürütülmüştür. Nyquist ve Bode analizleri, 0.01Hz ile 100kHz frekans aralığında ve 10mV AC voltaj şartlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ince filmlerin kristal yapısını belirlemek için x-ışını kırınım (XRD) spektrumları BRUKER D2 Phaser XRD cihazı ile monokromatik  $\lambda=1,54059\text{Å}$  dalgaboyuna sahip  $CuK\alpha$  ışını üreten x-ışını katod tüpü kullanılmıştır. X-ışını tüpünün gücü 300 watt'dır. Korozyon analizleri Tafel ölçümleri vasıtasıyla +0.25 ile -0.25 V arasında 1 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma



Şekil 1. (a), Elektrokimyasal büyütme tekniği (Gamry Reference 600 Potentiostat / Galvanostat) ve (b), ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filminin XRD grafiği

Şekil 1(a) elektrodepozisyonun yapıldığı geleneksel üç elektrotlu sistemi göstermektedir. Şekil 1(b) ise 130 °C sıcaklıkta DMSO’da ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filminin XRD grafiğini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sırasıyla (222), (441) ve (622) yönelimlerinde ve yaklaşık 30.36, 50.75° ve 60.34° açılarındaki ITO altlığın pikleri baskın olmadığı için gözükmemektedir. ZnO ince filmlerin XRD grafiği incelendiğinde (0002) düzleminde ve hegzagonal (wurtzite) yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (Asil vd., 2009).

Tablo 1’de büyütülen ZnO ince filminin XRD grafiğiyle hesaplanan parametreler verilmektedir. XRD ölçümü, elde edilen pikin maksimum şiddetinin gözlemlendiği açıdaki yarı yükseklikteki genişlik (FWHM) ile alakalıdır. Filmlerin kristal büyüklüğü aşağıda gösterildiği gibi Debye Scherrer eşitliği kullanılarak elde edilmiştir;

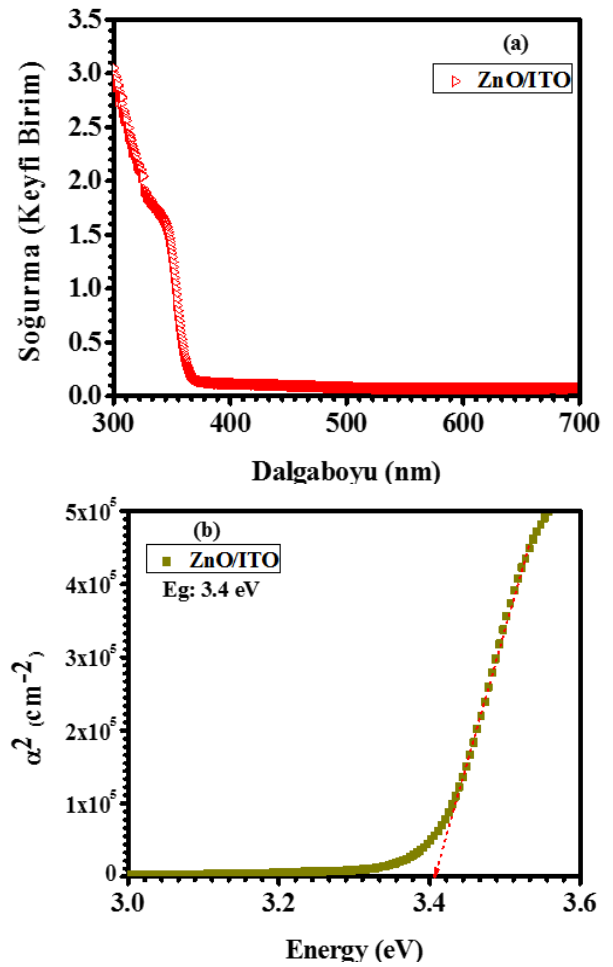
$$\beta = \frac{\lambda}{t \cos \theta} \quad (1)$$

burada  $\beta$  XRD’de elde edilen, pikin yarı yükseklik genişliği ve  $t$  ise kristal büyüklüğü,  $\lambda$  kullanılan x-ışının dalgaboyu ve  $\theta$  Bragg açısıdır. Scherrer denklemi normalde polikristal malzemelere uygulanır ve K, 0 ile 1 arasında değerler alan bir faktördür. Scherrer formülü aşağıdaki şekle dönüşmektedir;

$$\beta = \frac{K\lambda}{t \cos \theta} \quad (2)$$

K sabiti ZnO yarıiletkeni için 0.9 değerini almaktadır. Yarı yükseklikteki pik genişliği ile kristal büyüklüğü arasında ters bir ilişki vardır. Piklerin geniş olması kristal boyutunun düşük olduğunu ifade etmektedir ki bu da istenmeyen bir durumdur. Polikristal malzemede pik genişliğinin küçük olması tek kristal bölgelerin büyüklüğü ile açıklanabilir ve bu durum gerçekte kristalin kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 2(a) ve (b), sırasıyla elektrokimyasal büyütme metoduyla DMSO’da büyütülen ZnO ince filmlerin soğurma karşılık dalgaboyu ve soğurma katsayısına karşılık enerji grafiğini göstermektedir. İnce filmlerin enerji band aralığı  $E_g$ , soğurma katsayısının karesine ( $\alpha^2$ ) bağlı enerji(hv) grafiğine fit yapılarak belirlenmektedir. DMSO’da elektrokimyasal olarak büyütülen ZnO ince filmlerin band aralığı yaklaşık 3.4 eV olarak hesaplanmıştır.

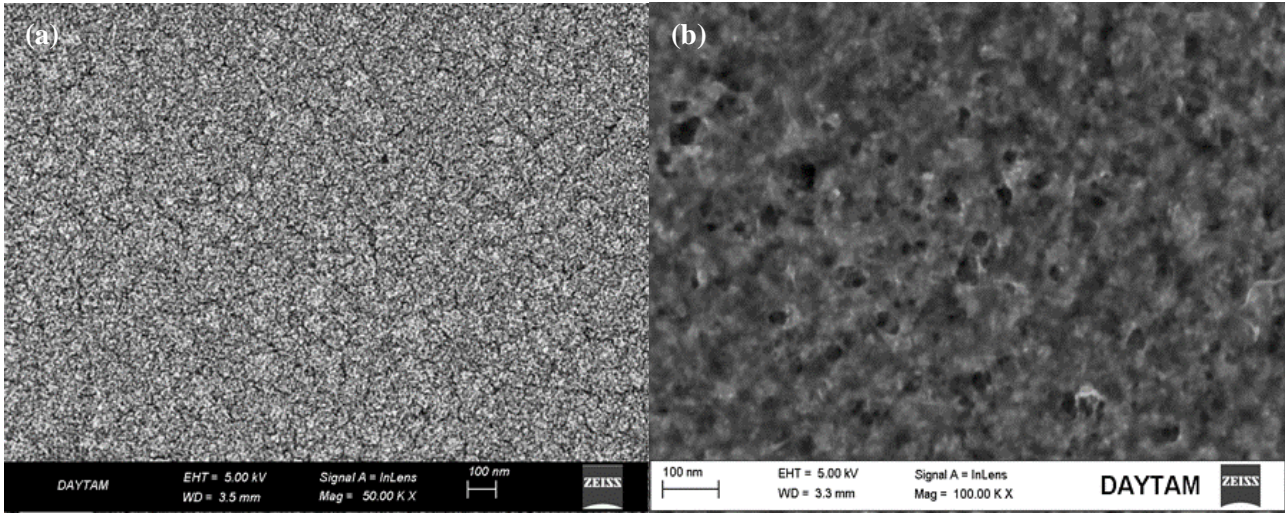


Şekil 2. ITO altlık üzerine DMSO’da 130 °C sıcaklıkta büyütülen ZnO ince filmlerin (a) Soğurmaya karşı dalgaboyu ve (b)  $\alpha^2$ ’ye karşı enerji (hv) grafikleri

Şekil 3(a) ve (b) ITO altlık üzerine 130 °C’de elektrokimyasal olarak büyütülen ZnO ince filminin korozyon öncesi ve sonrası SEM görüntülerini göstermektedir. Korozyon öncesinde elde edilen SEM görüntüsü incelendiğinde altlık üzerine büyütülen ZnO ince filmi, tüm yüzeye homojen bir şekilde dağılmıştır. Büyütme koşulları, ZnO ince filmlerinin yüzey görüntülerini etkilemektedir. Elektrolit sıcaklığı, büyütme potansiyeli ve pH, büyüyen filmin kalitesini etkilediği gibi yüzey morfolojisini de etkilediği açıkça ortaya çıkmıştır. Ayrıca, elektrodepozisyon işleminin hava akışına açık olduğu oksijen ortamında gerçekleştirilmesi ve kullanılan elektrolit çözeltisinin DMSO ile hazırlanması da yine ZnO ince filmlerin yüzey morfolojisini ve kristal kalitesini etkilediği anlaşılmaktadır. Yine büyütme potansiyeli ve süresi ITO altlık üzerine elde edilen ZnO film yapısını ve özelliklerini de etkilemektedir. Çünkü uzun süreli ve sıcaklığa bağlı büyütme iyon hareketini etkilediği için ZnO filminin yapısında bir değişikliğe neden olur ve bu filmin

stokiyometrisinde önemli bir değişikliğe neden olur. Şekil 3(b)'de görüldüğü gibi, ITO altlık üzerine elde edilen ZnO ince filminin korozyon sonrası yüzeyinde değişimler söz konusudur. Korozyon sonrası filmin yapısında gözenekli yapı

belirginleşmiştir ve filmin yapısı bozulmuştur. ITO altlık üzerine elde edilen ZnO ince filminin kalınlığı "dokunarak taramalı profilometre" ölçüm sonuçlarına göre yaklaşık olarak 197 nm olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.** ITO altlık üzerine elektrokimyasal olarak büyütülen ZnO ince filminin (a) korozyon öncesi (b) korozyon sonrası SEM görüntüleri

**Tablo 1.** ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filminin XRD, EIS ve Tafel parametreleri

XRD Parametreleri						
(hkl)	FWHM	Şiddet	2θ (°)	d- değeri	Tanecik büyüklüğü (Å)	
ZnO (002)	0.44	5721.24	34.79	2.57	190.96	
EIS Parametreleri				Tafel Parametreleri		
Numune	Rs (ohm)	Rp (ohm)	Q <sub>dl</sub> (Ω <sup>-1</sup> .s.cm <sup>-2</sup> )	n	E <sub>kor.</sub> (V)	I <sub>kor.</sub> (A)
ZnO/ITO	49.61	4.97x10 <sup>6</sup>	6.75x10 <sup>-6</sup>	0.940	-0.199	2.97x10 <sup>-8</sup>

Şekil 4'te, elektrodepozisyon yapılan ZnO numunelerinin EIS ölçümlerini göstermektedir. Bilindiği gibi Nyquist eğrisi yük transferi hakkında bilgi vermektedir (Dalvand vd., 2019). Küçük çaplı Nyquist eğrileri daha düşük direnç ve daha hızlı yük geçişi sağlamaktadır (Yılmaz vd., 2019). ZnO ince filmlerin empedans parametreleri, elde edilen Nyquist eğrisine Kramers Kronig fit yapılarak elde edilen ve Şekil 4 içerisine yerleştirilmiş olan basit bir RC eş değer devresi yardımıyla belirlenmektedir. Burada çözelti direnci (Rs), polarizasyon direnci (Rp) ve sabit faz elemanından (CPE<sub>dl</sub>) oluşmaktadır. Nyquist eğrisine fit yapılarak elde edilen eş değer empedans parametreleri Rs, Rp, CPE<sub>dl</sub> ve n yaklaşık olarak sırasıyla 49.61 ohm, 4.97 x10<sup>-6</sup> ohm, 6.75 x10<sup>-6</sup> Ω<sup>-1</sup>.s.cm<sup>-2</sup>, 0.940 olarak hesaplanmıştır. Rs, elektrokimyasal hücrenin empedansında önemli bir parametredir. Geleneksel üç elektrot potansiyostatı, karşıt ve referans elektrotları arasındaki çözelti direncini telafi etmektedir. Ancak çalışma ve referans elektrotları arasındaki çözelti direnci dikkate

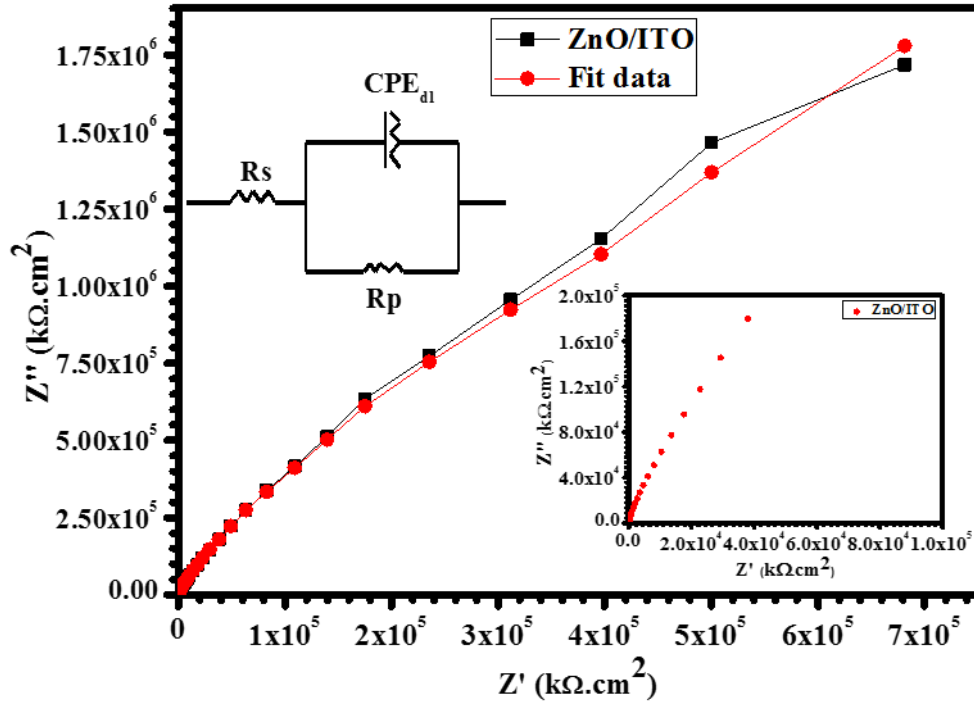
alınmalıdır. Ayrıca, Rs akım taşıdığında yüzey alanına, sıcaklığa, iyon tipine ve iyonik konsantrasyona bağlıdır. Bir elektrotun potansiyeli, açık bir devredeki değerinden uzak tutulurken buna elektrotun polarize edilmesidir. Bir elektrot polarize olur ve elektrot yüzeyinden oluşan elektrokimyasal reaksiyonlardan akımın akmasına neden olabilir. Ek olarak, CPE elektrot potansiyeli, sıcaklık, iyonik konsantrasyonlar, iyon tipi, oksit katmanları, elektrot pürüzlülüğü ve safsızlık gibi pek çok faktöre bağlı olan elektrot / elektrolit arayüzündeki elektriksel çift tabakanın ideal olmayan kapasitif davranışını modellemek için kullanılmaktadır. CPE'nin empedans değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Çınar Demir, 2020);

$$Z_{CPE} = \frac{1}{Q(j\omega)^n} \quad (3)$$

burada; Q, ω, j ve n, CPE sabiti, açıl frekans (rad / s cinsinden), hayali bir sayıdır ve sırasıyla yüzeyin heterojenliği veya pürüzlülüğünün

göstergesi olarak kullanılabilen bir CPE üssüdür. n'ye bağlı olarak sabit faz elementi direnci (n = 0, Q = R), kapasitansı (n = 1, Q = C), indüktansı (n =

-1, Q = L) veya Warburg empedansını (n = 0.5, Q = W) temsil etmektedir.



Şekil 4. ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO geçirgen ince filminin Nyquist grafiği

Daha küçük yük transfer direnci değeri, elektrokimyasal ölçüm sırasında elektrot ve elektrolit arasındaki arayüzlerde etkili bir elektron transferinin gerçekleştiğini göstermektedir. Yüksek elektrolit direnci de bu fikri desteklemektedir. Ek olarak, Nyquist eğrisi, döngü yarıçapının artan frekansla büyüdüğünü gösteriyor. Bu özellik, elektrolitlerin sızmasını engelleyen kararlı bir yapı oluşumu nedeniyle malzemelerin korozyon direncinde bir gelişme olarak yorumlanabilmektedir. Rp değerinin, malzemenin sergilediği korozyon oranı ile ters orantılı olduğu dikkate alınmalıdır. Böylece, daha yüksek Rp değerinin malzemelerin daha yüksek korozyon direnci anlamına geldiği kolayca söylenebilir. Eşdeğer devrenin basit bir RC devresi olduğu ve yük iletimini önlemek için seçilen elektrolit nedeniyle yük transferinden sorumlu olan paralel direncin çok yüksek olduğu göz önüne alınmalıdır.

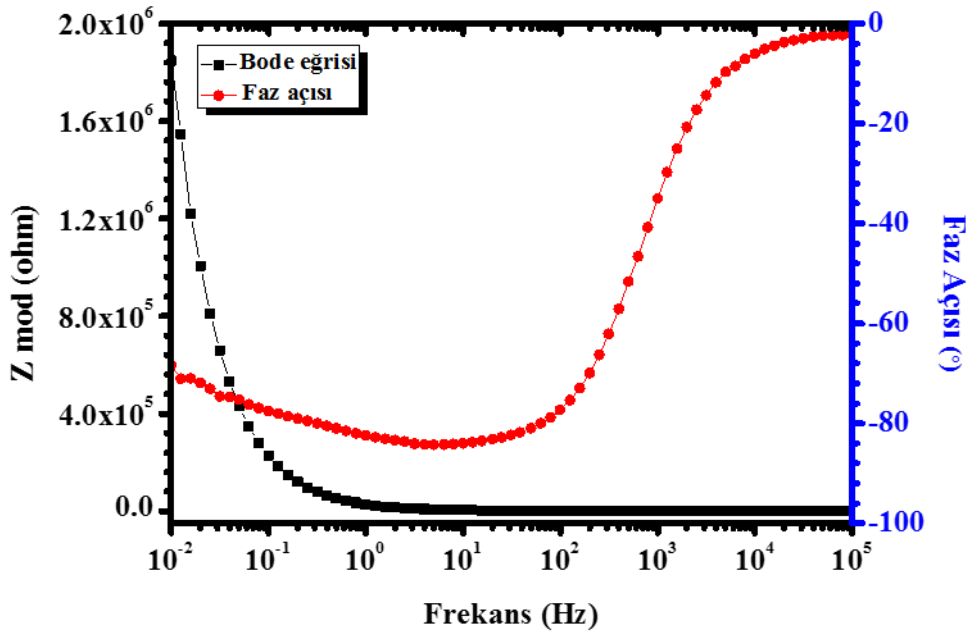
Bu çalışmada, EIS analizi ile elde edilen Nyquist eğrilerinin, ZnO filmlerin korozyon direncindeki artış eğilimine işaret ettiği gösterilmiştir. Bu durum, pasif film yaklaşımları dikkate alınarak açıklanabilir. Bu modele göre pasif filmde, ZnO'nun kristal yapısına ek katyon boşluğu oluşumu meydana gelebilir. ZnO ince filmdeki katyonlar, çok yüksek oksidasyon durumlarında

oluşur ve katyon boşluklarının enerjisi, oksijen boşluklarından daha yüksektir. Yine, metal-film ve film-çözelti arayüzlerinde kusurların oluşması daha da yaygındır. Elektrokimyasal reaksiyonlarda hem metal-film hem de film-çözeltisi arasında pozitif ve negatif kusur oluşumu çok farklı değildir (Vazquez ve Gonzalez, 2007). Aslında, pasif filmler, altlık yüzeyinde kendiliğinden oluşan, ekstra kimyasal reaksiyonu önleyen ultra ince film anlamına gelmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, tane büyüklüğünün azaltılmasının, elektronların tane sınırları yakınındaki elektronların aktivitesinde bir artışa yol açabileceği, buna bağlı olarak yüzeyin daha reaktif olacağı ve dolayısıyla ZnO'nun yüzeyinde stabil bir pasif film oluşturacağı tahmin edilmektedir. Bu olgunun literatürdeki bazı çalışmalarla da uyumlu olduğu görülmektedir (Balakrishnan vd., 2008; Ralston ve Birbilis, 2010).

Şekil 5, ITO üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filmlerinin Bode ve faz açısı grafiklerini göstermektedir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi, faz açısı daha yüksek değerlere doğru artmaya meyilli olup, bu durum, ZnO elektrot üzerinde pasive bir yüzey oluşmasıyla açıklanabilmektedir. Ek olarak, ZnO kaplı elektrotla karşılaştırıldığında faz açısında yüksek değişim gözlenmektedir. Film

yüzeyinde oluşan pasivasyon, oksit filmlerde, Bode analizinde görülen daha yüksek açılı değişikliklerden kaynaklı olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca film ile aşındırıcı elektrolit arasındaki sınırdaki elektriksel çift tabaka ile açıklanmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, Nyquist grafiğinde tek bir kapasitif ark gözlenmiş ve Şekil 5'te yüksek frekanslarda küçük yarım daire gözlenmediği ortaya çıkmıştır. Bode eğrileri ayrıca, ITO altlığın sistemin elektrokimyasal tepkisine katkıda bulunduğu dair bir kanıt olarak görülebilecek tek bir zaman sabiti ortaya koymaktadır. ZnO filmlerin korozyon direncinin büyük olmasında, kaplanan filmlerdeki kusurların ve düzensizliklerin sorumlu olduğu düşünülmektedir (G-Berasategui vd., 2015). Tane boyutu, filmin yapısını önemli ölçüde etkilemektedir ve filmin yapısında farklı değişimlere sebep olmaktadır. Filmin yapısındaki

değişim aynı kayma düzlemi üzerinde hareket eden dislokasyonların tane yakınlıklarına birikerek dislokasyon yığınları oluşturmasına ve dislokasyon yoğunluğunun değişimi ile sonuçlanmaktadır. Büyütme sırasında artan dislokasyon yoğunluğu tane sınırlarının önünde bulunan dislokasyon yığınlarının kaymasına ve diğer bir tane sınırına ulaşarak yapı içerisinde hareketine neden olmaktadır. Bu da filmin yapısının değişmesine neden olmaktadır ve film yapısında oluşan kusurlu yapının korozyon direncinin artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Yukarıdaki açıklamalar göz önüne alındığında, ZnO tabakaları için elde edilen tane sınırlarının varlığıyla ilgili olan dislokasyon yoğunluğu, Bode analizinden elde edilen sonuçların ZnO yüzeyi ile anlamlı bir şekilde karşılaştırıldığı sonucuna varılabilir.

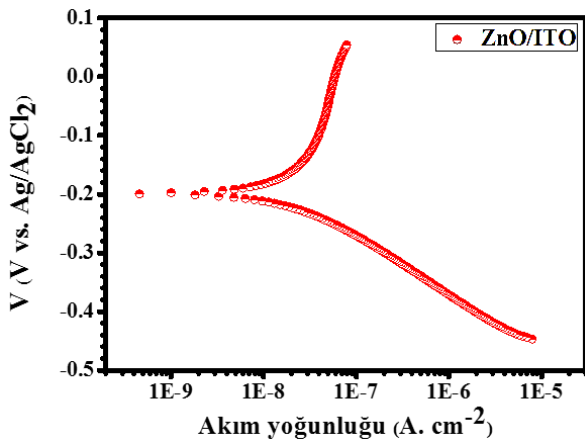


Şekil 5. ITO üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filmlerinin Bode ve faz açısı grafikleri

Şekil 6, ZnO ince filmlerin Tafel grafiğini göstermektedir. Tafel eğrisine fit yapılarak elde edilen korozyon potansiyeli ( $E_{kor}$ ) ve korozyon akımı ( $I_{kor}$ ), sırasıyla -0.199 V ve  $2.97 \times 10^{-8}$  A olarak hesaplanmıştır (Tablo 1'de gösterildiği gibi). Bütün bu ölçümler dikkate alınarak artan korozyon direncinin nedeninin büyütme sırasında oluşan kusurların artmasına bağlı olarak yüzey pasivasyonuna neden olmasıyla açıklanabilir. Korozyon gerçekte anodik ve katodik elektrokimyasal reaksiyonlar arasındaki bir dengeyle belirlenen bir hızda oluşmaktadır. Şekil 6'da gösterildiği gibi, birinci eğri, pozitif voltaj değerlerinde elektronların bu numuneye doğru aktığı ZnO'nun oksitlendiğinin anodik cevabıdır.

Diğer bükülme, bir çözeltinin özelliklerinde (sıklıkla  $O_2$  veya  $H^+$ ) azalmanın olduğu ve ZnO'dan elektronların dışarı doğru hareket ettiği katodik tepkidir. Bir başka deyişle, Şekil 6'da gözlenen doğrusallık ya da lineerlik suyun katodik indirgeme tepkisi ve hidrojen gazı oluşumunu örnekleyen katodik reaksiyon ile ilişkilidir. Aksine, iki kayda değer karakteristik özelliği olan anodik reaksiyonda bükülme noktalarında gözlenir ve korozyon voltajına kıyasla daha pozitif voltajda eğilmektedir. Bu olay, yüksek anodik aşırı gerilimde korozyon öğeleri tarafından oluşan bir yüzey filminin birikmesiyle sonuçlanan ve çözülmeye yol açan kinetik bariyer etkisine katkıda bulunmaktadır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, bu iki anodik ve katodik reaksiyon dengededir, her bir reaksiyonda elektron akışı dengelenir ve net elektronik akım oluşmaz. Anodik ve katodik reaksiyonlar veya her bir reaksiyondan elektronların akışı dengededir ve net elektrik akımı oluşmaz. Anaodik ve katodik reaksiyonlar, ya tek bir numunede ya da elektriksel olarak bağlı olan iki farklı malzeme üzerinde oluşur. Bu süreç Şekil 6'da detaylıca gözükmemektedir. Grafikte dikey eksen voltajdır ve yatay eksen kesin akımın logaritmasıdır. Eğri çizgi ise anodik ve katodik akımların toplamıdır. Numunenin voltajı tarandığında akım ölçülür. Bükülmedeki keskin nokta, logaritmik bir eksenin kullanımından kaynaklanmaktadır. Normalde, sinyal oluşmadan önce akımın istisnai derecede az olduğu nokta burasıdır. Numunenin voltajı, yukarıda belirtilen bu iki reaksiyonun dengede tutulmasıyla açıklanmaktadır. Her yarı reaksiyondan gelen akımın, ZnO'nun elektrokimyasal voltajına bağlı olduğunu detaylı olarak incelenmiştir. Anodik reaksiyonun malzemeye çok fazla elektron saldırdığını unutulmamalıdır. Artık elektronlar, ZnO'nun voltajını giderek daha negatif değere kaydırmakta ve bu da anodik reaksiyonu yavaşlatmakta ve katodik reaksiyonu da hızlandırmaktadır. Le Châtelier'in ilkesi bu reaksiyon sistemin ilk düzensizliğini ortadan kaldırmaktadır. Bu olay ZnO'nun korozyon davranışının normal tane büyüklüğünün ultra ince kristalin aralığına indirgenmesiyle normal olarak etkilendiğini açıklayabilir. Film üzerinde yapılan araştırmalar, tane büyüklüğünün azalmasına, elektronların tane sınırlarındaki hareketinin iyileştirilmesinde önemli bir iş üstlendiğini göstermiştir.



**Şekil 6.** ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filminin Tafel grafiği

Bu genişletilmiş elektron hareketi, elektron iş fonksiyonunun azalmasına neden olmaktadır ve yüzey tamamen katı ve kararlı bir pasif filmin

hızlı bir şekilde gelişmesine yol açmakta ve pasivasyon kapasitesinde bir artmaya sebep olmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, geçirgen ZnO ince filmler elektrokimyasal büyüme tekniği ile ITO altlık üzerine büyütülmüştür. Filmlerin kalitesi üzerine katodik büyüme potansiyeli, büyüme zamanı, sıcaklık ve pH etkileri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar en iyi kaliteli filmlerin -1.0 V katodik büyüme potansiyelinde, 1 saat büyüme zamanı, pH: 6 'da ve 130 °C sıcaklıkta elde edildiğini göstermiştir. XRD analizleri altlık üzerine hazırlanan filmlerin tek kristal faza sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Soğurma ölçümleri kullanılarak ZnO ince filmin band aralığı  $E_g$ 'nin 3.4 eV olduğu belirlenmiştir. ITO altlık üzerine elektrodepozisyon yapılan ZnO ince filmlerin korozyon davranışı EIS ve Tafel ölçümleriyle belirlenmiş, Nyquist eğrisine fit yapılarak elde edilen çözelti direnci ( $R_s$ ), polarizasyon direnci ( $R_p$ ), sabit faz elementi ( $CPE_{dl}$ ) ve sabit faz elementi üstel değeri ( $n$ ) sırasıyla 49.61  $\Omega$ ,  $4.97 \times 10^6 \Omega$ ,  $6.75 \times 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot s \cdot cm^{-2}$  ve 0.940 olarak hesaplanmıştır. Tafel eğrisine fit yapılarak, elde edilen korozyon potansiyeli ( $E_{kor}$ ) ve korozyon akımı ( $I_{kor}$ ), sırasıyla -0.199 V ve  $2.97 \times 10^{-8}$  A olarak elde edilmiştir. Bütün bu çalışmalar göz önünde bulundurularak hazırlanan ince filmlerin yapısındaki korozyon direncinin nedeninin büyüme sırasında oluşan kusurların artışına bağlı olarak yüzey pasivasyonu ile açıklanabilir.

#### Kaynaklar

- Asil, H., Gur, E., Cinar, K. ve Coskun, C., 2009. Electrochemical Growth of n-ZnO onto the p-Type GaN Substrate: p-n Heterojunction Characteristics. Applied Physics Letters, 94, 253501.
- Balakrishnan, A., Lee, B.C., Kim, T.N. ve Pa, B.B., 2008. Corrosion Behaviour of Ultra Fine Grained Titanium in Simulated Body Fluid for Implant Application. Trends Biomaterials and Artificial Organs, 22, 58-64.
- Çınar Demir, K., 2020. Corrosion Behavior of Electrodeposited  $W_3$  Thin Films. Ceramics International, 46, 4358-4364.
- Dabbabi, S., Souli, M., Ben Nasr, T., Garcia-Loureiro, A. ve Kamoun, N., 2019. Effects of Ni and La Dopants on the Properties of ZnO and SnO<sub>2</sub> Thin Films: Microstructural, Optical and Impedance Spectroscopy Studies. Journal of Electronic Materials, 49, 1314-1321.

- Dalvand, R., Mahmud, S. ve Seeni, A., 2019. Chemical Sensing Performance of Flower-Like ZnO/PSi Nanostructures via Electrochemical Impedance Spectroscopy Technique. *Journal of Electronic Materials*, 48, 1604-1611.
- Demir, K.C., Demir, E., Yuksel, S. ve Coskun, C., 2019. Influence of Deposition Conditions on Nanostructured InSe Thin Films. *Current Applied Physics*, 19, 1404-1413.
- Fahoume, M., Maghfoul, O., Aggour, M., Hartiti, B., Chraibi, F. ve Ennaoui, A., 2006. Growth and Characterization of ZnO Thin Films Prepared by Electrodeposition Technique. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 1437-1444.
- Fay, S., Kroll, U., Bucher, C., Vallat-Sauvain, E. ve Shah, A., 2005. Low Pressure Chemical Vapour Deposition of ZnO Layers for Thin-Film Solar Cells: Temperature-Induced Morphological Changes. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 86, 385-397.
- G-Berasategui, E., Bayon, R., Zubizarreta, C., Barriga, J., Barros, R., Martins, R. ve Fortunato, E., 2015. Corrosion Resistance Analysis of Aluminium-Doped Zinc Oxide Layers Deposited by Pulsed Magnetron Sputtering. *Thin Solid Films*, 594, 256-260.
- Gao, Y.F., Nagai, M., Masuda, Y., Sato, F. ve Koumoto, K., 2006. Electrochemical Deposition of ZnO Film and Its Photoluminescence Properties. *Journal of Crystal Growth*, 286, 445-450.
- Izaki, M., 1999. Preparation of Transparent and Conductive Zinc Oxide Films by Optimization of the Two-Step Electrolysis Technique. *Journal of the Electrochemical Society*, 146, 4517-4521.
- Kouhestanian, E., Mozaffari, S.A., Ranjbar, M., SalarAmoli, H. ve Armanmehr, M.H., 2016. Electrodeposited ZnO Thin Film as an Efficient Alternative Blocking Layer for TiCl<sub>4</sub> Pre-Treatment in TiO<sub>2</sub>-Based Dye Sensitized Solar Cells. *Superlattices and Microstructures*, 96, 82-94.
- Maleki-Ghaleh, H., Shahzadeh, M., Hoseinizadeh, S.A., Arabi, A., Aghaie, E. ve Siadati, M.H., 2016. Evaluation of the Photo-Electro-Catalytic Behavior of Nano-Structured ZnO Films Fabricated by Electrodeposition Process. *Materials Letters*, 169, 140-143.
- Pan, Z.Z., Sun, F.Q., Zhu, X.M., Chen, Z.C., Lin, X., Zheng, Y.J., Zhong, W.Y., Zhuang, Z.F. ve Gu, F.L., 2019. Electrodeposition-Based in Situ Construction of a ZnO-Ordered Macroporous Film Gas Sensor with Enhanced Sensitivity. *Journal of Materials Chemistry A*, 7, 1287-1299.
- Pei, L.N., Zhang, B.X., Luo, H., Wu, X.C., Li, G.Q., Sheng, H.C. ve Zhang, L.L., 2019. Electrodeposition of ZnO Nanoprism-Zn Substituted Hydroxyapatite Duplex Layer Coating for Carbon Fiber. *Ceramics International*, 45, 14278-14286.
- Pellegrino, D., Franzo, G., Strano, V., Mirabella, S. ve Bruno, E., 2019. Improved Synthesis of ZnO Nanowalls: Effects of Chemical Bath Deposition Time and Annealing Temperature. *Chemosensors*, 7(2), 18.
- Przezdziecka, E., Paradowska, K.M., Lisowski, W., Wierzbicka, A., Jakiela, R., Zielony, E., Gumieny, Z., Placzek-Popko, E. ve Kozanecki, A., 2019. ZnO:Sb MBE layers with Different Sb Content-Optical, Electronic and Structural Analysis. *Journal of Alloys and Compounds*, 797, 1163-1172.
- Ralston, K.D. ve Birbilis, N., 2010. Effect of Grain Size on Corrosion: A Review. *Corrosion*, 66(7), 075005-13.
- Sharma, V., Prasad, M., Ilaiyaraja, P., Sudakar, C. ve Jadkar, S., 2019. Electrodeposition of Highly Porous ZnO Nanostructures with Hydrothermal Amination for Efficient Photoelectrochemical Activity. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 11459-11471.
- Taleb, S., Dokhan, N., Zazi, N. ve Chopart, J.P., 2019. Perpendicular Weak Permanent Magnetic Field Effect on the Electrodeposited Nanostructured ZnO Film and Its Kinetic Corrosion Behavior. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 55, 781-788.
- Tekmen, S., Gur, E., Asil, H., Cinar, K., Coskun, C. ve Tuzemen, S., 2010. Structural, Optical, and Electrical Properties of n-ZnO/p-GaAs Heterojunction. *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science*, 207, 1464-1467.
- Tharsika, T., Thanahaichelvan, M., Haseeb, A.S.M.A. ve Akbar, S.A., 2019. Highly Sensitive and Selective Ethanol Sensor Based on ZnO Nanorod on SnO<sub>2</sub> Thin Film Fabricated by Spray Pyrolysis. *Frontiers in Materials*, 6(122), 1-9.
- Vazquez, G. ve Gonzalez, I., 2007. Diffusivity of Anion Vacancies in WO<sub>3</sub> Passive Films. *Electrochimica Acta*, 52, 6771-6777.
- Wang, C., Wang, L.J., Zhang, L., Xi, R., Huang, H., Zhang, S.H. ve Pan, G.B., 2019. Electrodeposition of ZnO Nanorods onto GaN Towards Enhanced H<sub>2</sub>S Sensing. *Journal of Alloys and Compounds*, 790, 363-369.



- Weng, J., Zhang, Y.J., Han, G.Q., Zhang, Y., Xu, L., Xu, J., Huang, X.F. ve Chen, K.J., 2005. Electrochemical Deposition and Characterization of Wide Band Semiconductor ZnO Thin Film. *Thin Solid Films*, 478, 25-29.
- Wittkamper, F., Bikowski, A., Ellmer, K., Gartner, K. ve Wandler, E., 2019. Energy-Dependent RBS Channelling Analysis of Epitaxial ZnO Layers Grown on ZnO by RF-Magnetron Sputtering. *Crystals*, 9(290), 1-10.
- Xie, J., Imanishi, N., Hirano, A., Takeda, Y., Yamamoto, O., Zhao, X.B. ve Cao, G.S., 2011. Determination of Li-Ion Diffusion Coefficient in Amorphous Zn and ZnO Thin Films Prepared by Radio Frequency Magnetron Sputtering. *Thin Solid Films*, 519, 3373-3377.
- Yilmaz, M., Demir, K.C., Turgut, G. ve Aydoğan, S., 2019. Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis of ZnO Films: the Effect of Mg Doping. *Philosophical Magazine Letters*, 99, 243-252.

## En Az Beş Yıllık Olan Depolanmış Atık Ofis Kâğıtlarının Geri Dönüşüm Olanaklarının Araştırılması

### *Investigation of Recycling Possibilities of Stacked Waste Office Paper for at Least Five Years*

Selim KARAHAN\*

Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29810, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 18.08.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 27.01.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 01.02.2020

#### Öz

Bu çalışmada, arşiv niteliğindeki (en az 5 yıl depolanmış) ofis kâğıtlarının geri dönüşüm olanakları araştırılmaktadır. Bu kâğıtların imhaları çoğunlukla yakılarak yapılmaktadır. Bu ise tonlarca kâğıt hammaddesini yok etmektir. Bu kâğıtlar basit bir hamurlaştırma veya küçük parçalara ayırma işlemi ile geri dönüşüme sunulabilir. Bu ise ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Çalışmada ayrıca bu kâğıtların fiziksel ve optik özelliklerine bakılmıştır. Bu kâğıtlar depolandığı yerlerde gerek fiziki koşullardan (nem, sıcaklık) gerekse mantarlar ve böceklerden dolayı lif dirençlerinde ve parlaklıklarında kayıplar muhtemeldir. Ayrıca bu kâğıtlardan mürekkebi çıkarırken liflerin parlaklık ve direncinde de kayıplar meydana gelecektir. Çalışmada bu kayıpların ne kadar olduğu ise araştırılmıştır. Bu sayede kayıpları telafi etmek için bir takım uygulamalar da beraberinde yapılmıştır. Bu işlemler ile tonlarca atık kâğıt hammaddesine kavuşulacak ve istenilen kaliteye yakın yeni atık beyaz ofis kâğıtların üretilmelerine olanak sağlanacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Lazer Baskı, Mürekkep Giderme, Ofis Kâğıdı, Yüksek Kesafetli Hamurlaştırıcı, Yüzdürme

#### Abstract

*In this study, investigates recycling possibilities of office paper in archive form (stored for at least 5 years). These papers are mostly made by burning. This is to destroy tons of paper raw materials. These papers may be presented with a simple pulping or recycling with small fractionation. This will contribute greatly to the country's economy. The study will also look at the physical and optical properties of these papers. These papers are likely to lose fiber resistance and brightness due to the physical conditions (humidity, temperature) and the mushrooms and insects. In addition, loss of the shine and resistance of the fibers will come to the fore when the ink is removed from these papers. How much of these losses are in the study will be investigated. This will be done in conjunction with a number of applications to compensate for losses. With these operations, tons of waste paper raw materials will be obtained and new waste white office paper will be produced with the desired quality.*

**Keywords:** Laser Printing, Deinking, Office Paper, High Consistency Pulping, Flotation

\* Selim KARAHAN; selimkarahan@msn.com, Tel: (0456) 2331018 (dahili: 3402), orcid.org/0000-0002-8499-2427

## 1. Giriş

Ağaçların gerek doğada yaşayan canlılar için bir barınma ve gerekse de oksijen üretimi açısından faydası çok önemlidir. Çalışmada kâğıt hammadde kaynağı olarak ağaçların kesilmesini azaltıp elimizdeki kâğıt hammadde kaynaklarını kullanma olanakları araştırılmıştır. Bu sayede ülke hammadde yönünden dışa bağımlılığı azalacak ve ülke ekonomisi kazanç sağlayacaktır. Ülkemizdeki kâğıt sektörü açısından uluslararası pazarlarda devamını sağlayabilmesi için rekabet gücünü yükseltmesi için iyi nitelikli, ekonomik ve yeterli miktarlarda lifsel hammadde kaynaklarının sürdürülebilir olması gerekmektedir. Oduna esaslı lifsel hammadde üretiminin ise hem ekonomik yönden hem de teknoloji beraberinde getirmektedir. Ülkemizde ise kâğıt tüketimi her geçen gün fazlalaşmaktadır. Ekonomik ve kaliteli hammadde çözümü için geri dönüşüm büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı beş yılı aşkın süre bekleyen atık ofis kâğıtlarının değerlendirilme olanakları araştırılmıştır (Karahana vd., 2015a; Karahan ve Karademir, 2019).

Atık kâğıtların geri dönüşümündeki esas amaç; çok farklı kaynaklardan gelen ve homojen bir yapı sergilemeyen atık kâğıt hammaddesini istenilen türdeki kâğıt üretimi için uygun özellikte olan temiz ve homojen bir hamura çevirmektir (Kırcı, 2006; Karahan, 2017a). Atık kâğıtların üretim yöntemleri farklı olup, atık kâğıt balyaları çok çeşitli dolgu maddeleri ve çok farklı kimyasal katkı maddelerini bünyesinde barındırabilirler. Buna ise kâğıt hammaddesinde lif kalitesini, lifin işlenebilirliği özelliğini ve son ürünün veriminde, kalitesinde ve maliyetinde değişiklikler yapabilir (Karademir ve İmamoğlu, 2001; Karahan vd., 2015a; Karahan, 2017b; Karahan ve Karademir, 2019).

Lifsel hammadde kaynağı olarak kullanılan atık kâğıtlar daha çok işyerleri ve okullarda kullanılan fotokopi, defter, yazıcı kâğıtları gibi veya matbaa ve kesim tesislerinin mekanik hamur oranı düşük beyaz kâğıt içerikli atık veya artıkları, yüksek optik niteliklerinin istendiği temizlik ve yazı kâğıdı üretiminde kullanılan ikincil lif kaynaklarıdır (İmamoğlu, 2002). Atıl durumdaki ürün değerlendirildiği zaman ürünün kalite değerinin de artırılması sağlanacaktır. Bu sayede hem hammadde bulma hem de ülke ekonomisine katkı sağlama açısından faydalı olacaktır. Ticari olarak bu işlem her zaman sulu ortamda yapılmıştır, ancak özel durumlarda bir başka

çözücü madde kullanılmaması için bir sebep yoktur (Heise vd., 1996).

Mürekkep giderme işlemi en basit ifadesiyle atık kâğıtlardan lifsel olmayan yabancı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Bu işlem ise hamurlaştırma ve yüzdürme işlemlerinden oluşmaktadır (Kırcı, 2000; Karahan vd., 2015a). Mürekkep giderme işleminde, atık kâğıtların bünyesindeki mürekkep parçacıklarını en yüksek seviyede uzaklaştırıldıktan sonra temiz lifleri tekrar geri kazanıma katılması arzu edilmektedir (Kırcı vd., 2006; Karahan vd., 2015b).

## 2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, beyaz A4 ofis kâğıtları üzerine siyah lazer baskılar yapılmış ve en az 5 yıl bir süre ile kullanılmadan bekletilmiştir. Araştırmada standart yüzdürme metoduna göre mürekkep giderme işlemi yapılmıştır. Bu işlemde ise, sodyum hidroksit, hidrojen peroksit, sodyum silikat, oleik asit ve kalsiyum klorür'de Ingede 1 (Ingede, 2007a), 2 (Ingede, 2007b) ve 11 (Ingede, 2007c) metotlarına göre kullanılmıştır (Karahana, 2017b).

Çalışmada yeni atık ofis kâğıtları (1 sene) ve eski ofis kâğıtlarına (5 sene) iki farklı işlem uygulanmıştır. Önce eski ve yeni atık ofis kâğıtları farklı oranlarda karıştırılmıştır. Birinci işlemde bu karışım hamurlaştırıcı ile belirlenen parametrelerde hamurlaştırma işlemi yapılmıştır. İkinci işlemde ise bu karışıma belirlenen oranlarda kimyasal ilavesi yapılmıştır.

Kâğıt hamur karışımı hamurlaştırıcı ile belirlenen oranlarda yapılmıştır. Bu işlemlerin sonrasında ise işlem görmüş olan atık kâğıt hamuru, yüzdürme esaslı mürekkep giderme işlemine alınarak mürekkeplerinden tamamen uzaklaştırılmaya çalışılmıştır (Karahana, 2017b). Çalışma sonunda ise elde edilen test kâğıtları üzerinde fiziksel mukavemet ve optik testler yapılmıştır. Tablo 1'de kimyasallı ve kimyasalsız işlemlere ait hamur karışım oranları verilmiştir.

Ofis kâğıtları ingede standardına uygun olacak biçimde 2x2 cm boyutlarında el ile parçalara ayrılmıştır. Parçalanmış kâğıtlar daha sonra ağzı kapatılabilen polietilen poşetler içerisinde ışık ve sıcaklıktan korunarak depolanmıştır. Daha sonra ise baskı yapılan ofis kâğıtlarına standart Ingede metoduna göre hamurlaştırma işlemleri yapılmıştır. Ofis kâğıt rutubetleri ortalama %3 olarak bulunmuştur.

**Tablo 1.** Kimyasalı ve kimyasalsız işlemlere ait hamur karışım oranları

Hamur Tipleri	Hamur Karışım Oranları (%)				
	0	25	50	75	100
YO	EO	--	--	--	YO
EO	YO	--	--	--	EO
YB	--	--	--	--	YB
EB	--	--	--	--	EB
YB-EB-25	--	EB	--	YB	--
YB-EB-50	--	--	YB-EB	--	--
YB-EB-75	--	YB	--	EB	--

Hamurlaştırma işlemleri iki kademede yapılmıştır. Her kademede 103.11 g (Tam kuru) hamur kullanılmıştır. Hamurlaştırma işlemleri için Hobart tipi hamurlaştırıcı cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz ile belirlenen devir hızları ve sürelerinde (Tablo 2) hamurlaştırma işlemleri yapılmıştır (Karahana, 2017c).

Hamurlaştırma işleminde kullanılan kimyasal maddeler, Ingede standardında belirlenen ölçülere göre sabit alınmıştır. Ingede metodunda önerilen kimyasallardan sodyum hidroksit %0.6; hidrojen

peroksit %0.7; sodyum silikat %1.8 ve oleik asit %0.8 olarak kullanılmıştır. Ofis kâğıtları üzerindeki mürekkebin şişirilerek liflerden ayrılması için sodyum hidroksit, kâğıtların sararmadan beyazlatılması için hidrojen peroksit, lifler üzerindeki mürekkep parçacıklarının gevşemesi ve tekrardan liflerin üzerine birikmesini engellemek için sodyum silikat ve liflerden sökülen mürekkep parçacıklarını yakalayıp yüzeye taşınması işlemleri içinde oleik asit kullanılmıştır (Kırcı, 2000).

**Tablo 2.** Hamurlaştırma ile ilgili veriler

İşlem	Devir (devir/dk)	Kesafet (%)	Süre (dk)	Kağıt & Hamur miktarı (g)	Kimyasal Madde
Ön bekletme (Islatma)	---	15	5	103.11	-
1. Hamurlaştırma	55;85;150	15	9 (3;3;3)	103.11	+
2. Hamurlaştırma	150	14	9	103.11	-

Atık kâğıt hamurlarından sulu süspansiyon elde edilmesinde standart hammadde hazırlama metoduna göre yapılmıştır. Konsantrasyonu bilinen hamur süspansiyonlarından standart 80 g/m<sup>2</sup> gramajında laboratuvar tipi test kâğıtları üretilmiştir. El kâğıtları yapımında Standard British Handsheet Former cihazında belirlenen standarda göre el kâğıtları yapılmış ve bu kâğıtların optik analizleri ise Elrepho marka Optik test cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen bu deneme kâğıtlarına aşağıda belirtilen testler uygulanmıştır.

- El kâğıdı oluşturma (Tappi Test Metodu T 205, 1992).
- Rutubet belirleme (Tappi Test Metodu T 412, 1992).

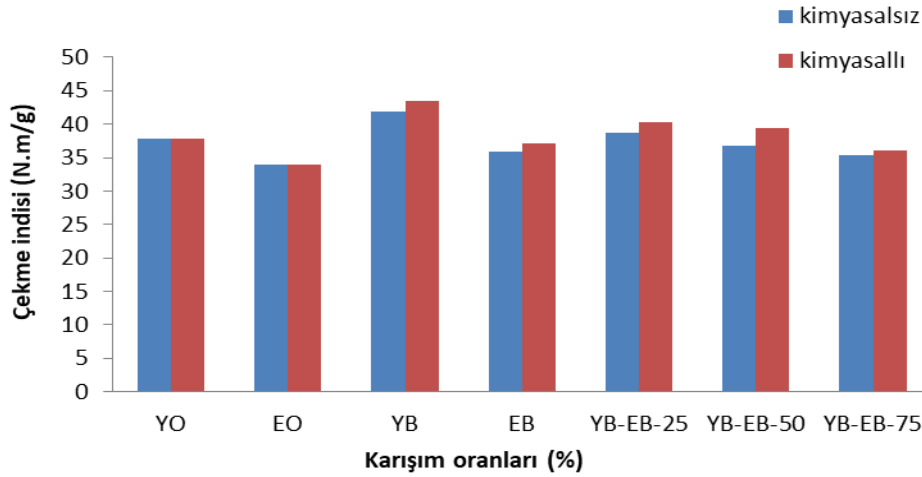
- Patlama direnci belirleme (Tappi Test Metodu T 403, 1992).
- Yırtılma dayanımı (Tappi Test Metodu T 414, 1992).
- Hava geçirgenliği belirleme (Tappi Test Metodu T 547, 1992).
- Kopma dayanımı (Tappi Test Metodu T 404, 1992).
- Gramaj belirleme (Uluslararası Standart DIS 536, 1993).
- Beyazlık belirleme (Uluslararası Standart DIS 11476, 1997).
- Opaklık belirleme (Uluslararası Standart DIS 2471, 1997).

Tablo 1’de belirtilen hamur tiplerinin değerleri;

- **YO** : Yeni baskısız ofis kağıdı (%100)
- **EO** : Eski baskısız ofis kağıdı (%100)
- **YB** : Yeni baskılı ofis kağıdı (%100)
- **EB** : Eski baskılı ofis kağıdı (%100)
- **YB-EB-25** : Yeni baskılı ofis kağıt oranı (%75) – Eski baskılı ofis kağıt oranı (%25)
- **YB-EB-50** : Yeni baskılı ofis kağıt oranı (%50) – Eski baskılı ofis kağıt oranı (%50)
- **YB-EB-75** : Yeni baskılı ofis kağıt oranı (%25) – Eski baskılı ofis kağıt oranı (%75) değerlerini belirtmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmalar sonucu üretilen test malzemelerine ait yapılan testlerde aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.

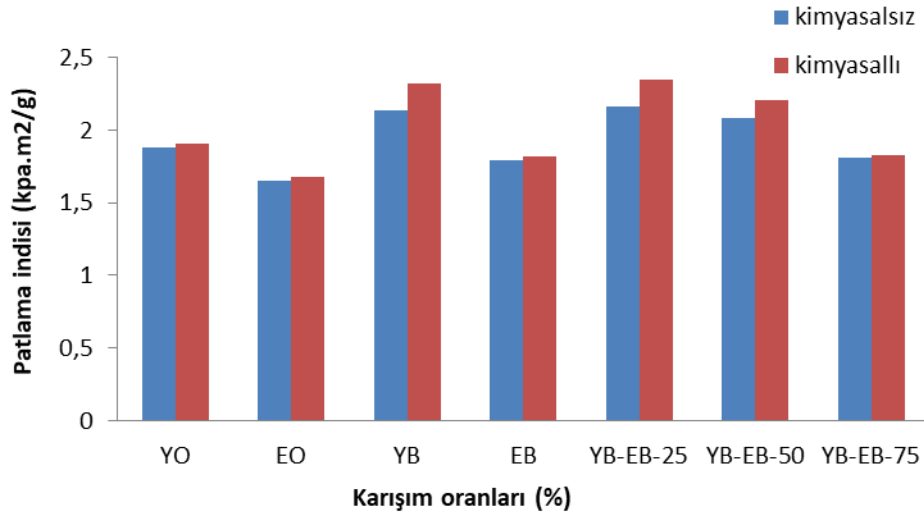


**Şekil 1.** Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin çekme indisi üzerine etkisi

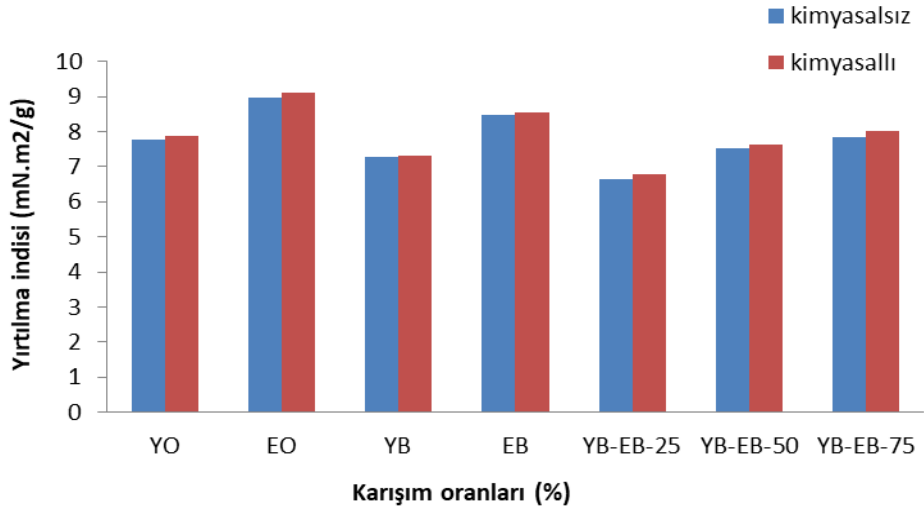
Belirlenen oranlarda hazırlanan eski ve yeni ofis kâğıt karışımları ile (beyaz ve baskılı ofis kâğıt) bu ofis kâğıt karışımları üzerine yine belirlenen oranlarda kimyasal katılımı sonucundaki yırtılma indisi (Şekil 3) üzerindeki etkisinde, genel olarak eski ofis kâğıtlarının yırtılma indisi değerleri daha yüksek çıkmıştır. Yırtılma indisi değeri ölçülen bir kuvvetten ziyade belirli bir

Belirlenen oranlarda hazırlanan eski ve yeni ofis kâğıt karışımları ile (beyaz ve baskılı ofis kâğıt) bu ofis kâğıt karışımları üzerine yine belirlenen oranlarda kimyasal katılımı sonucundaki çekme indisi (Şekil 1) ve patlama indisi (Şekil 2) değerlerinin her ikisinde de kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerdeki eski ve yeni beyaz ofis kâğıtları üzerinde bir değişikliğe neden olmamıştır. Baskılı ofis kâğıtlarında ise hem kimyasallı hem de kimyasalsız işlemlerde çekme indisi ve patlama indisi değerlerinde bir artışa neden olurken, Kimyasallı işlemlerdeki çekme indisi ve patlama indisi değerlerinde ise daha fazla bir artışa sebep olmuştur. Muhtemelen bu durum kimyasallı işlemde mürekkebin daha fazla uzaklaştırılması ile liflerin birbirine daha iyi tutunduğu söylenebilir. Çekme indisi ve patlama indisi değerinde en fazla artış yeni baskılı ofis kâğıtlarında (YB) iken en az artış ise eski baskılı ofis kâğıtlarında (EB) gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu durum lif yapısının zamanla daha fazla deforme olması kaynaklandığı söylenebilir. Eski ofis kâğıtlarına belirlenen oranlarda yeni ofis kâğıt karışımı eklenmesine paralel olarak ta çekme indisi ve patlama indisi değerlerinde de kademeli olarak bir artış gözlemlenmiştir.

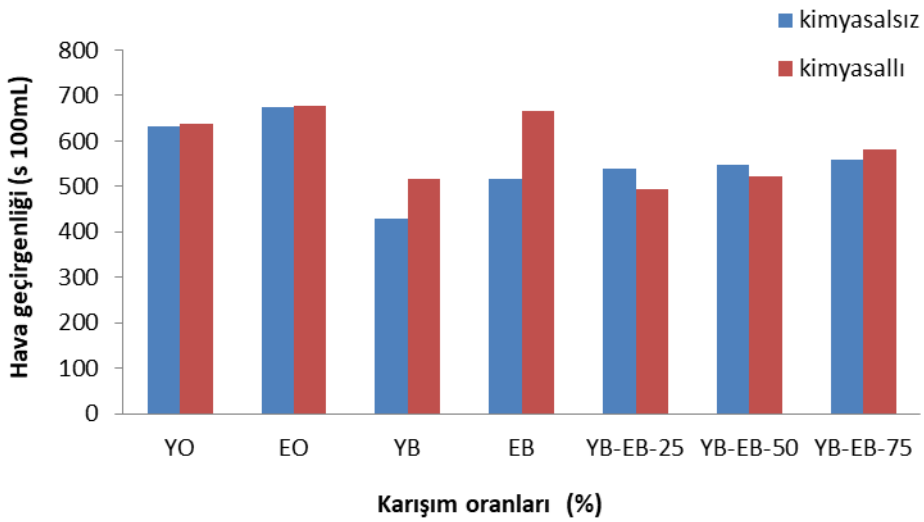
uzunluk boyunca kâğıdı yırtmak için yapılan iştir (Eroğlu ve Usta, 2004). Muhtemelen bu durum ise ofis kâğıtlarının zamanla liflerin deforme olması ve tekrar liflendirilmesi ile de eski ofis kâğıtlarının yeni ofis kâğıtlarından daha fazla lif boylarının kısalması ile daha yoğun bir yapı oluşmuş ve lifler kendi aralarında daha fazla bağ kurmuş olabilir.



Şekil 2. Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin patlama indisi üzerine etkisi



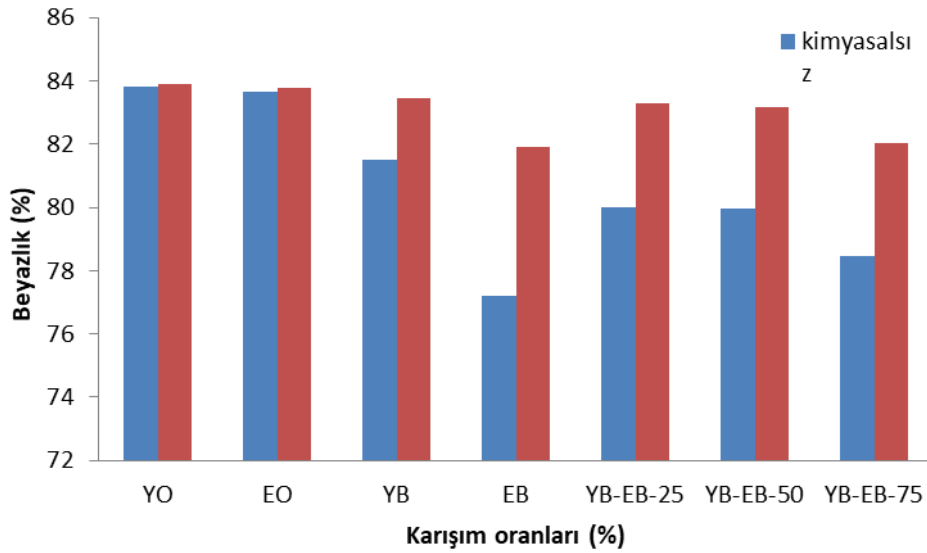
Şekil 3. Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin yırtılma indisi üzerine etkisi



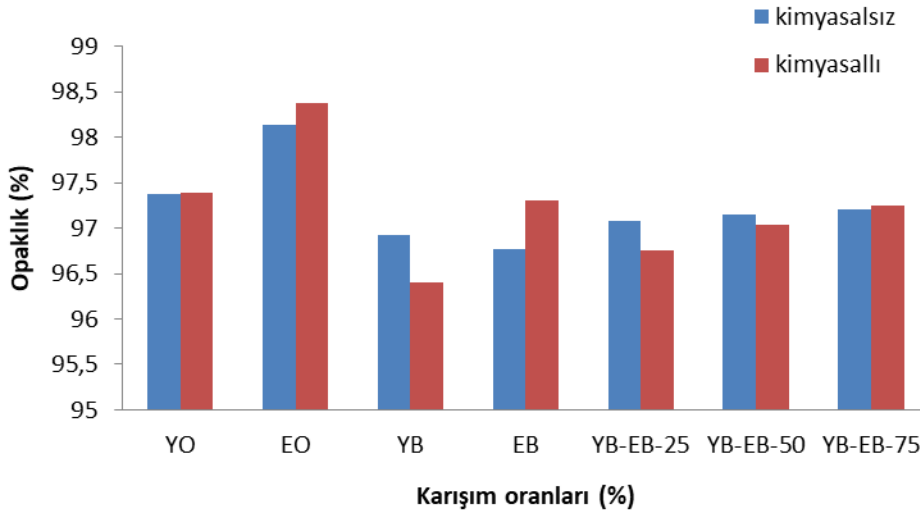
Şekil 4. Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin hava geçirgenliği üzerine etkisi

Belirlenen oranlarda hazırlanan eski ve yeni ofis kâğıt karışımları ile (beyaz ve baskılı ofis kâğıt) bu ofis kâğıt karışımları üzerine yine belirlenen oranlarda kimyasal katılımı sonucundaki hava geçirgenliği (Şekil 4) üzerindeki etkisinde genel olarak eski ofis kâğıtlarının hava geçirgenliği değerleri daha yüksek çıkmıştır. Eski ve yeni ofis karışımında eski ofis kâğıt oranlarının artmasına paralel olarak ta hava geçirgenliği değerlerinde de kademeli olarak bir artış gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu durum eski ofis kâğıtlarında zamanla kırıntı miktarının artması ile hazırlanan karışım materyali de daha yoğun bir yapı kazanmıştır. Kimyasallı işlemlerde ise mürekkebin daha fazla uzaklaştırılması ile hem kırıntı miktarı artmış hem de lifler daha fazla birbirine yaklaşmış ve daha yoğun bir yapı oluşturmuş olabilir.

Belirlenen oranlarda hazırlanan eski ve yeni ofis kâğıt karışımları ile (beyaz ve baskılı ofis kâğıt) bu ofis kâğıt karışımları üzerine yine belirlenen oranlarda kimyasal katılımı sonucundaki beyazlık (Şekil 5) üzerindeki etkisinde genel olarak eski ofis kâğıtlarının beyazlık değerleri daha düşük çıkmıştır. Eski ve yeni ofis karışımında eski ofis kâğıt oranlarının artmasına paralel olarak ta beyazlık değerlerinde de kademeli olarak bir azalış gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu durum eski ofis kâğıtlarında zamanla kırıntı miktarının artması ile daha fazla ışığı absorbe etmesi ve liflerin zamanla eskimeye uğramasından dolayı parlaklığının azaldığı söylenebilir. Kimyasallı işlemlerde beyazlığının daha fazla olması, mürekkebin daha fazla uzaklaştırılması ile ışığı emen toner miktarının azalmış olması; buna bağlı olarak gelen ışığı daha fazla yansıtması ile açıklanabilir.



**Şekil 5.** Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin beyazlık üzerine etkisi



**Şekil 6.** Eski ve yeni ofis kâğıt karışımları üzerinde uygulanan kimyasallı ve kimyasalsız işlemlerin opaklık üzerine etkisi

Belirlenen oranlarda hazırlanan eski ve yeni ofis kâğıt karışımları ile (beyaz ve baskılı ofis kâğıt) bu ofis kâğıt karışımları üzerine yine belirlenen oranlarda kimyasal katılımı sonucundaki opaklık (Şekil 6) üzerindeki etkisinde genel olarak eski ofis kâğıtlarının opaklık değerleri daha yüksek çıkmıştır. Eski ve yeni ofis karışımında eski ofis kâğıt oranlarının artmasına paralel olarak ta opaklık değerlerinde de kademeli olarak bir artış gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu durum eski ofis kâğıtlarında zamanla kırıntı miktarının artması ile hazırlanan karışım materyali de daha yoğun bir yapı kazanmıştır. Bu ise gelen ışığın materyalin diğer tarafına geçişini zorlaştırmıştır. Kimyasallı işlemlerde ise mürekkebin daha fazla uzaklaştırılması ile hem kırıntı miktarı artmış hem de lifler daha fazla birbirine yaklaşmış ve daha yoğun bir yapı oluşturmuş olabilir.

#### 4. Sonuçlar

Test sonuçlarına genel olarak bakıldığında; eski ofis kâğıtları ile yeni ofis kâğıt karışımlarında, karışıma eklenen yeni ofis kâğıt oranının artmasına paralel olarak elde edilen test kâğıtlarının fiziksel ve optik özelliklerinde de bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Aynı işleme kimyasal eklenmesi ile de fiziksel ve optik işlemlerde meydana gelen değişiklikler daha belirgin bir durum gözlenmiştir. Eski ofis kâğıt karışımına yeni ofis kâğıtları belli bir oran ile artırılarak eklenmesi ile elde edilen test kâğıtlarının fiziksel direnç özelliklerinde (çekme indisi, patlama indisi) ve optik özelliklerinde (beyazlık) iyileşmeler meydana gelmiştir. Fakat bu iyileşmeler yeni ofis kâğıdının üst sınırına ulaşamamıştır. Eski ofis kâğıtlarının tekrar hamurlaştırılması ile yırtılma indisi, hava geçirgenliği ve opaklık değerleri, yeni ofis kâğıdındaki bu değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu ise eski ofis kâğıtlarının daha yoğun bir yapı kazandığını göstermektedir. Eski ofis kâğıtlarının diğer fiziksel değerleri (çekme indisi, patlama indisi) ve optik değeri (beyazlık) düşük çıktığı için genel olarak düşünüldüğünde yeni ofis kâğıdının fiziksel (çekme indisi, patlama indisi) ve optik değerlerinin (beyazlık) altında kalmaktadır. Bu durum olumsuz gibi görünse de eski ofis kâğıtlarına belli oranlarda artırılarak yeni ofis kâğıtları eklenmesi suretiyle de bu durum olumsuzluğun da da görünen bir iyileşme yoluna gidilmiştir. Atık kâğıt işleyen fabrikalarda eski ofis kâğıtlarını kullanırken, karışım için yeni ofis kâğıdı bulunmasında sıkıntı çekiliyorsa bu eski ofis kâğıt hamur süspansiyonuna mukavemet artırıcı ve ağartıcı kimyasalların eklenmesi veya bu kimyasalların dozajının biraz artırılması

suretiyle de elde ettikleri test kâğıdının test değerlerini artırma yoluna gidebilirler.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlü tarafından desteklenmiştir. Proje No: 16.B0822.02.01

#### Kaynaklar

- DIS 536, 1993. Kâğıt ve Karton için Gramaj Belirleme, Uluslararası Standart verisi.
- DIS 11476, 1997. Kâğıt ve Karton için Beyazlık Belirleme, Uluslararası Standart verisi.
- DIS 2471, 1997. Kâğıt ve Karton için Opaklık Belirleme, Uluslararası Standart verisi.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. 2004. Kâğıt ve Karton Üretim Teknolojisi, KTÜ, Trabzon.
- Heise, O.U., Unwin, J.P., Klungness, J.H., Fineran, W.G. and Sykes, J.R.M., 1996. Abubakr, S., Industrial Scaleup of Enzyme-Enhanced Deinking of Nonimpact Printed Toners. TAPPI Journal, 79 (3), 207-212.
- İngede Test Metodu 1, 2007a. Optik Özelliklerin Ölçümü için Mürekkebi Giderilmiş Hamurdan Test Kâğıdı Hazırlama, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İngede Test Metodu 2, 2007b. Hamurun Optik Özelliklerinin Ölçümü ve Mürekkep Gidermedeki Süzüntü İşlemleri, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İngede Test Metodu 11, 2007c. Baskılı Ürünün Geri Dönüşülebilirliği, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İmamoğlu, S., 2002. Atık Kâğıt Hamurlarının Formamaidin Sülfirik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Karahan, S., 2017a. Atık Ofis Kâğıtları Üzerinde Yapılan Mürekkep Giderme İşleminin Hamur Verimi ve Atık Çamur Üzerine Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 67-75.
- Karahan, S., 2017b. Mürekkep Giderme İşleminin Ofis Kâğıtları Üzerindeki Fiziksel Direnç Özellikleri Üzerine Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 76-83.
- Karahan, S., 2017c. Kâğıdın Optik Özellikler Üzerine Mürekkep Giderme İşlemi ile Farklı



- Uygulamaların Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 146-160.
- Karahan, S. ve Karademir, A., 2019. Mürekkep Giderme İşleminin Farklı Atık Kâğıtlar Üzerindeki Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1), 15-24.
- Karahan, S., Karademir, A. ve Güvendi, E., 2015a. Ofis Kâğıtları Üzerindeki Mürekkep Giderme İşleminin Taramalı Elektron Mikroskobu ile Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (1), 299-314.
- Karahan, S., Karademir, A. ve Güvendi, E., 2015b. Mürekkep Giderme İşleminin Lazer Baskılı Ofis Kâğıtlarındaki Organik ve Anorganik Madde Miktarları Üzerine Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (1), 241-250.
- Karademir, A. ve İmamoğlu, S., 2001. Kağıtların Doğal Yaşlanmasına Bağlı Önemli Değredasyon Reaksiyonları, Fen ve Mühendislik Dergisi , 4 (2), 98-108.
- Kırcı, H., 2000. Atık Kâğıt Geri Kazanma Teknolojisi, KTÜ, Trabzon.
- Kırcı, H., 2006. Kâğıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları, KTÜ, Trabzon.
- Kıran, Ö.E., Çömlekçioğlu, U. ve Dostbil, N., 2006. Bazı Mikrobiyal Enzimler ve Endüstrideki Kullanım Alanları. KSU Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 12-19.
- Tappi T 205 sp-06, 1992. Hamurun fiziksel testi için el kâğıdı oluşturma, Tappi Test Metodu verisi.
- Tappi T 412-om-90, 1992. Kâğıt ve karton için rutubet belirleme, Tappi Test Metodu verisi.
- Tappi T 403 om-91, 1992. Kâğıt için patlama direnci belirleme, Tappi Test Metodu verisi.
- Tappi T 414-om-04, 1992. Kâğıdın iç yırtılma dayanımı, Tappi Test Metodu verisi.
- Tappi T 547 om-12, 1992. Kâğıt ve karton için hava geçirgenliği belirleme, Tappi Test Metodu verisi.
- Tappi T 404 om-87, 1992. Kâğıt ve karton için uzaması ve kopma dayanımı, Tappi Test Metodu verisi.

# Lazer Baskılı Ofis Kâğıtları Üzerinde Yapılan Mürekkep Giderme İşleminin Süzüntü Suyu Üzerine Etkileri

*The Effects on Waste Water of Deinking Process Made on Laser Printed Office Papers*

Selim KARAHAN\*<sup>1,a</sup>, Arif KARADEMİR<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi Kürtün MYO, Ormancılık Bölümü, 29810 Kürtün-Gümüşhane

<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Osmangazi-Bursa

• Geliş tarihi / Received: 18.08.2019

• Düzeltülerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.01.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 02.02.2020

## Öz

Çalışmada, önce lazer baskı uygulanmış beyaz A4 ofis kâğıtları üzerinde hamurlaştırma işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra ise hamurlaştırılan ofis kâğıtları üzerinde belirlenmiş oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Bu hamurlaştırma ve karışım hazırlama sürecinde ise farklı yüzde oranlarda kimyasal ve enzimden faydalanılmıştır. Kimyasal madde olarak oleik asit, sodyum hidroksit, sodyum silikat, kalsiyum klorür ve hidrojen peroksit kullanılmış ve enzim olarak ise selülaz, ksilanaz, amilaz ve  $\beta$ -gluktonaz kullanılmıştır. Çalışmada daha sonra ultrases etkisine bakılmıştır. En sonunda ise hamur süspansiyonu yüzdürme yöntemi ile mürekkeplerinden uzaklaştırılması yapılmıştır. Tüm bu işlemler sonunda ise atık su analizleri yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Atık Su, Enzimler, Lazer Baskı, Mürekkep Giderme, Ultrasonik İşlem

## Abstract

In this study, first of all, pulping processes were applied on white A4 office paper which was applied laser printing. Then, mixtures were prepared in the proportions determined on the pulped office papers. In this pulping and mixture preparation process, different ratios of chemicals and enzymes were utilized. As chemical substances, oleic acid, sodium hydroxide, sodium silicate, calcium chloride and hydrogen peroxide were used and cellulase, xylanase, amylase and  $\beta$ -glucanase were used as enzyme. Then, ultrasound effect was examined. Finally, the pulp suspension was removed from the inks by flotation. At the end of all these processes, wastewater analysis was performed.

**Keywords:** Waste Water, Enzymes, Laser Printing, Deinking, Ultrasonic Treatment

\*a Selim KARAHAN; selimkarahan@msn.com; Tel: (0456) 2331018 (dahili: 3402); orcid.org/0000-0002-8499-2427

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0924-2156

## 1. Giriş

Ülkemizde kâğıt ve karton tüketimi günden güne çoğalmaktadır. Hammadde tedariki için geri dönüşümün önemi çoktur. Bunun için atık kâğıtların dönüştürülerek yeniden kâğıt sektöründe lifsel hammadde kaynağı olarak kullanılma imkânları incelenmelidir (Karahan vd., 2015a; Karahan, 2017a).

Kâğıt sektörü, diğer sektörler içerisinde enzim kullanabilen pazarların en büyüğü olarak kabul görmüştür. Kâğıt endüstrisinde enzim kullanımının gerekçeleri arasında hamur verimi ve lif özelliklerinin iyileştirilmesi ve enerji ile birlikte su tüketiminin düşürülmesi gibi konular yer almaktadır. Son dönemlerde kâğıt sektöründe enzimlerin kullanılabilmesi adına yapılan çalışmalar hızlanmıştır (Karademir vd., 2002a; Karahan vd., 2015a).

Enzim sektöründeki gelişmeler ile kâğıt mamullerin farklı farklı yerlerde kullanılması ve maliyetinin fazla olması dolayısıyla endüstriyel enzimler ile ilgili araştırmalarda hızlanmıştır (Kıran vd., 2006; Karahan vd., 2015a). Enzim uygulamaları dikkat gerektirdiği için her bir aşamanın kontrolüne önem verilmelidir (Karademir vd., 2002b; Karahan, 2017b). Enzim uygulamasıyla liflerdeki toner lekeleri uzaklaştırılır. Enzimler mürekkep-selüloz bağımlı kırabildikleri için toner lekelerinin liflerden çıkarılması kimyasallara göre daha basittir (Yıldırım vd., 2009; Karahan vd., 2015b). Mürekkep giderme işlemlerinde kimyasal kullanımının yerini enzim alması durumunda bu işlemde daha ekonomik olacaktır (Yıldırım, 2010; Karahan vd., 2015a).

Kâğıt sektörü gibi sektörlerde yeni teknolojilere yatırım yapmak oldukça maliyetli olmaktadır. Oysaki enzim teknoloji ile benzeri olan teknolojileri daha uyguna yapılabilir (Kenealy, vd., 2006; Karahan ve Karademir, 2019). Enzimatik uygulamaların çevre açısından yararlı olduğu ve mürekkep giderme işlemlerinde kullanılan kimyasal maddelere de iyi bir seçenek olacaktır. Diğer yandan mürekkep giderme işlemlerinde selüloz uygulaması ile bu işlem için kullanılan kimyasal miktarında düşüş görülmüştür (Skals vd., 2008; Karahan, 2017b; Karahan, 2017c; Karahan vd., 2015b). Enzim konusunda yapılan fabrika çalışmalarının umut verici sonuçlara ulaşılmıştır (Karademir vd., 2002a). Kâğıt sektöründe mürekkep giderme işlemlerinde enzim uygulamasının hem maddi hem de doğaya faydası bakımından daha yararlı olacağı

düşünülmektedir (Yıldırım, 2010; Karahan vd., 2015a).

Ultrasonik işlem ile fazla sayıda malzeme cihaz vasıtasıyla tutulur (Brodeur ve Gerhardstein, 1998; Karahan, 2017c; Karahan vd., 2015a). Araştırmada ofis kâğıtları üzerinde ultrasonun etkisine de bakılmıştır. Çalışmada ultrason işlemi yüzdürme ile mürekkep gidermeden önce hamurlaştırılmış lif süspansiyonuna yapılmıştır. Yapılan bu işlem sonucunda lif de hem hacim olarak büyüme hem de esnekliğine sebep olmuştur. Lifler üzerine uygulanan dövme işlemi akabinde yapılan ultrasonik muamele ile liflerin su tutma değerleri de iyileşmiştir (Tatsumi vd., 2000; Karahan, 2017c; Karahan vd., 2015a).

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1 Materyal

Araştırmada öncelikle baskılı beyaz A4 ofis kâğıtları hamurlaştırılıp sonrasında ise mürekkep uzaklaştırma işlemleri uygulanmıştır. Mürekkep uzaklaştırmada standart yüzdürme yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada ayrıca ultrasonik işlemde denenmiştir. İşlemler sırasında birtakım kimyasallar ve enzimlerden de faydalanılmıştır. Öncelikle atık ofis kâğıtları belli şartlar altında hamurlaştırılıp sonrasında ise belirlen oranlarda enzim ile muamele görmüştür. İşlem sonrasında ise süspansiyona kimyasal katkısı yapılarak ikinci hamurlaştırma işlemine alınmıştır. Bu işlemin sonucunda hamur süspansiyonu belli şartlar altında ultrasonik işlem uygulaması denenmiştir. Ultrasonik işlem sonrasında işlem görmüş olan hamuru süspansiyonu, yüzdürme esaslı mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanmıştır. Tüm bu işlemlerin sonunda ise atık su analizleri yapılmıştır (Karahan, 2017b). Araştırmada selülaz, ksilanaz, amilaz ve  $\beta$ -gluktonaz enzimleri ile ayrıca oleik asit, sodyum hidroksit, sodyum silikat, kalsiyum klorür ve hidrojen peroksit gibi kimyasallarda ingede (2007) yöntemine göre alınmıştır (Karahan, 2017c). İşlem sonrası atıl sudan alınan numuneler de toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarları Hanna marka cihaz ile kaydedilmiştir (Şekil 1). Askıda katı madde miktarı tayininde ise buhner hunisinden faydalanılmıştır (Şekil 2).

### 2.2 Metot

Çalışmada bazik kâğıt olarak kullanılan A4 ebatlarındaki ofis kâğıtları ısı ve nem dengesinin sağlanması amacıyla  $20 \pm 1$  °C ve %  $50 \pm 2$  bağıl nemde bekletilmiştir.



Şekil 1. Süzüntü suyu ölçüm cihazı



Şekil 2. Buhner hunisi

Sonrasında ise baskı yapıp aynı ortam şartlarında yeniden bekletilmiştir. Baskılı ofis kâğıtlarına iki aşamada hamur süspansiyonu haline getirilmiştir. Her aşamada 103.11 g (Tam kuru) hamur süspansiyonundan yararlanılmıştır. Hamuru süspansiyon haline getirmek için Hobart tipi cihazdan faydalanılmıştır. Bu cihaz ile bulunan veriler tablo 1'de gösterilmiştir (Karahan ve Karademir, 2019). Birinci hamurlaştırma işleminden sonra sırasıyla enzim uygulaması, ultrasonik uygulaması ve mürekkep giderme işlemleri yapılmıştır. Ultrasonik işlemde, ultras 24000 Hz ve kesafet % 1 olarak ayarlanmıştır.

Araştırmada selüloz, ksilanaz, amilaz ve  $\beta$ -gluktonaz enzimlerinden faydalanılmıştır. Liflerden hemiselülozlu çözebilme için  $\beta$ -gluktonaz ve ksilanaz, yüzey yapıştırmada kullanılan nişastayı çözebilmesi için selüloz ve amilaz enzimleri, mürekkebi liften çözebilme

içinde selüloz enziminden faydalanılmıştır. Tablo 2'de selüloz, ksilanaz, amilaz ve  $\beta$ -gluktonaz enzimleri için çalışma koşulları verilmiştir. Süzüntü su ile ilgili analiz işlemlerin de sırasıyla, askıda katı madde miktarı (AKM), toplam çözünmüş katı madde (TDS), kimyasal oksijen isteği (KOİ) ve biyolojik oksijen isteği (BOİ) ile ilgili veriler ölçülmüştür.

Araştırmada belirtilen;

TDS: Toplam çözünmüş katı madde miktarı.  
AKM: Askıda kalan katı madde miktarı.

BOİ: Sudaki organik materyallerin mikroorganizmalar tarafından parçalanabilmesi için gerekli miktardaki oksijen miktarıdır. BOİ değeri ne kadar çok ise suda o ölçüde su kirlidir.  
KOİ: Su ve atık su numunelerinde kirlilik ölçüm parametresidir.

Tablo 1. Hamurlaştırma ile ilgili değerler (Karahan, 2012).

İşlem	Devir Devir /dk	Kesafet %	Süre dk	Kâğıt & Hamur Miktarı g	Kimyasal Madde
Ön bekletme (Islatma)	---	15	5	103.11	-
1. Hamurlaştırma	55- 85-150	15	9 (3- 3- 3)	103.11	+
2. Hamurlaştırma	150	14	9	103.11	-

Tablo 2. Selüloz, Ksilanaz, Amilaz ve  $\beta$ -Gluktonaz enzimleri için çalışma koşulları (Karahan, 2012).

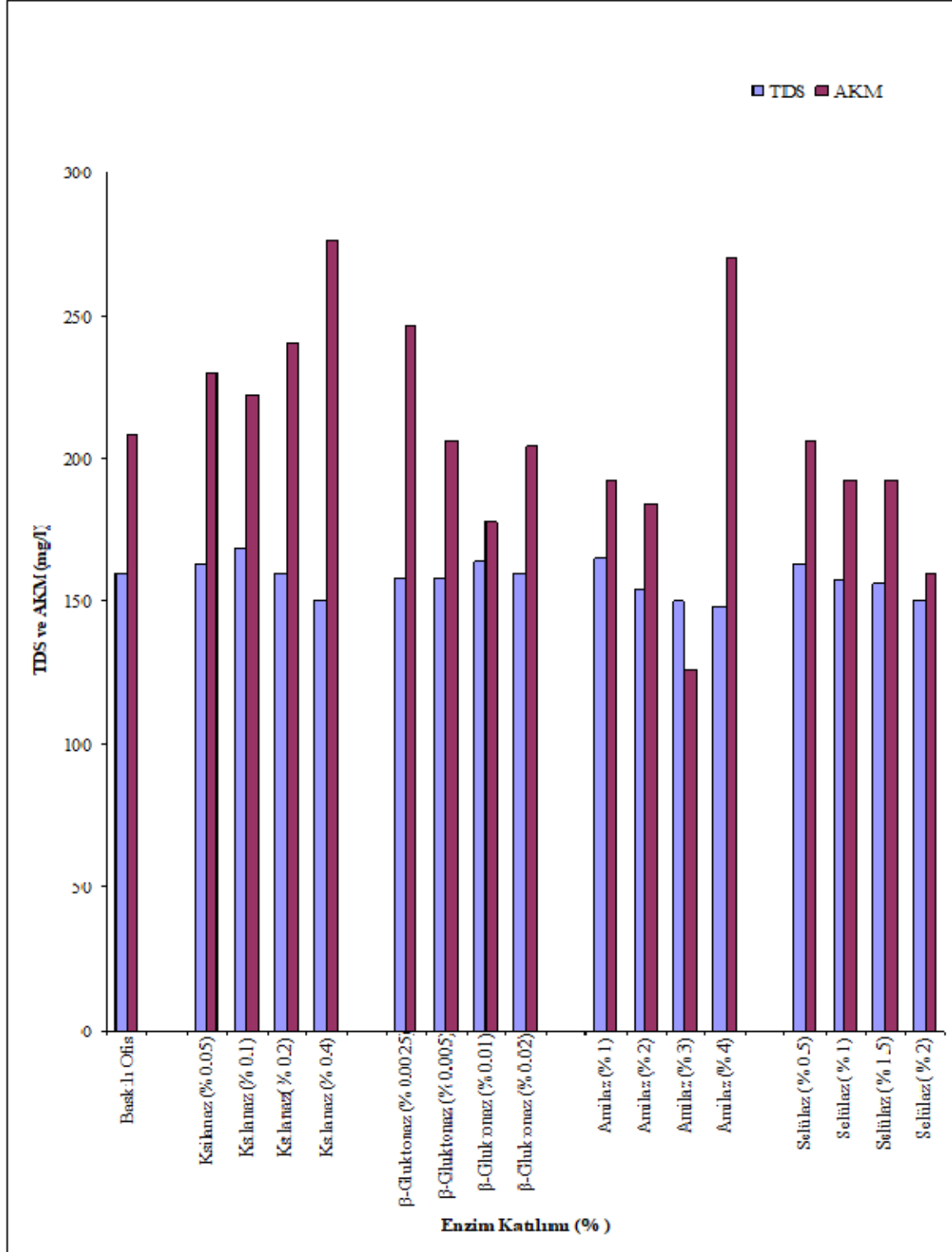
Enzimler	Dozaj kg/ton	pH	Süre dk	Sıcaklık °C
Ksilanaz	0.5-1	5-7	60	45
B-Gluktonaz	0.04-0.06	4-5	60	70
Amilaz	10-20	7-8	60	50
Selüloz	5-20	7-8	60	50

### 3. Bulgular ve Tartışma

Atık suya ait değerler şekillerde gösterilmiştir (Bkz. Şekil 3-12).

Enzimlerin en yüksek TDS değerlerine bakıldığında (Şekil 3), ksilanaz (% 0.1),  $\beta$ -

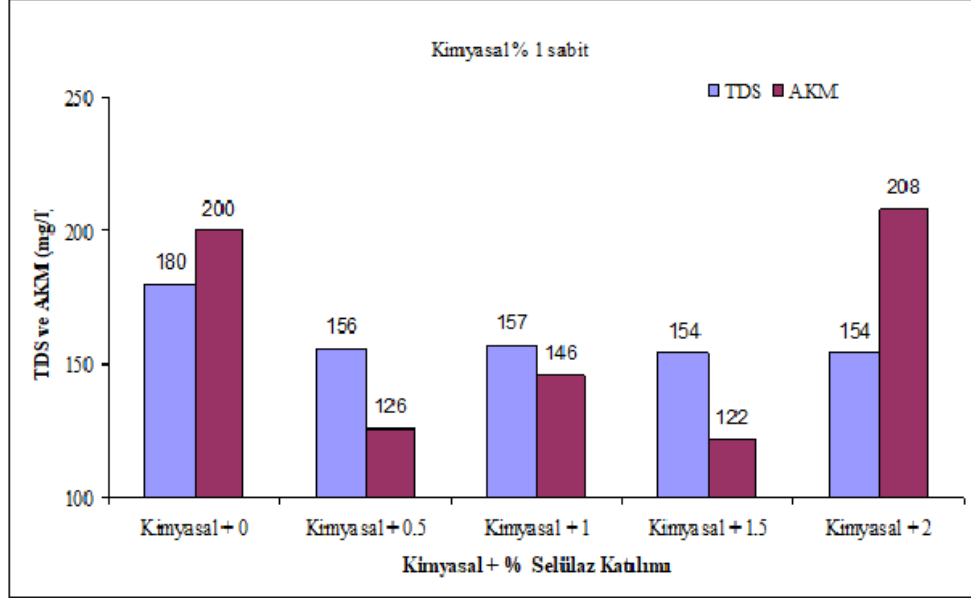
gluktonaz (% 0.01), amilaz (% 1) ve selüloz (% 0.5) için sırasıyla 168 mg/l; 164 mg/l; 165 mg/l ve 163mg/l olarak bulunmuştur. Bu enzimlere ait en düşük TDS değerlerine bakıldığında ise ksilanaz (% 0.4),  $\beta$ - gluktonaz (% 0.0025), amilaz (% 4) ve selüloz (% 2) için sırasıyla 150 mg/l; 158 mg/l; 148 mg/l ve 150 mg/l olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Ksilanaz,  $\beta$ - Gluktonaz, Amilaz ve Selüloz eklenmesinin belirli miktarlarda çoğaltılmasının TDS ve AKM üzerindeki etkileri

Şekil 3' te verilen enzimlerin en yüksek AKM değerlerine bakıldığında ksilanaz (% 0.4),  $\beta$ -gluktonaz (% 0.0025), amilaz (% 4) ve selülaz (% 0.5) için sırasıyla 276 mg/l; 246 mg/l; 270 mg/l ve 206 mg/l olarak bulunmuştur. Bu enzimlere ait en

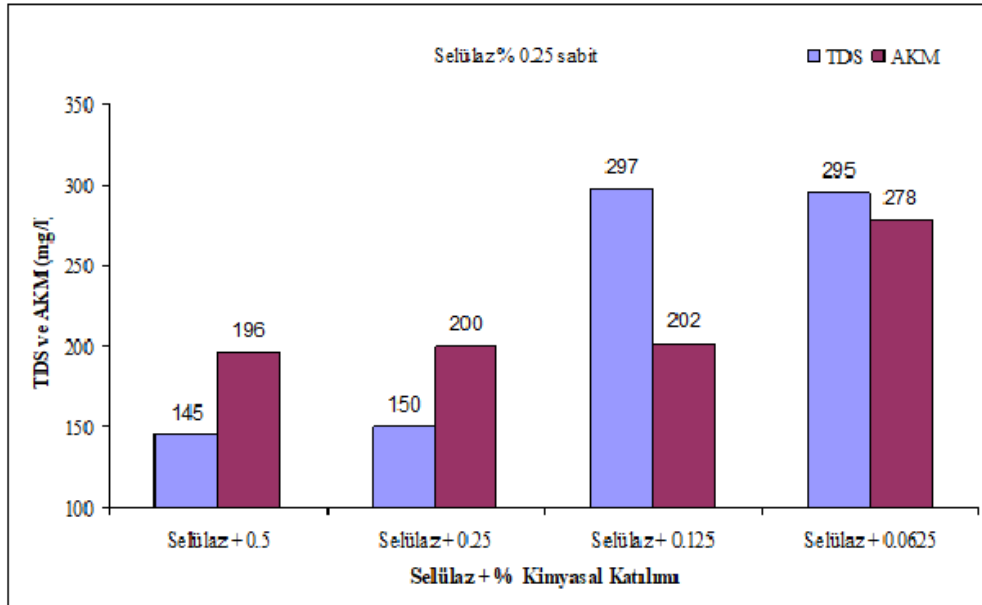
düşük AKM değerleri ise ksilanaz (% 0.1),  $\beta$ -gluktonaz (% 0.01), amilaz (% 3) ve selülaz (% 2) için sırasıyla 222 mg/l; 178 mg/l; 126 mg/l ve 160 mg/l olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Kimyasal eklenmesi sabit tutulurken Selülaz eklenmesinin belirli miktarlarda çoğaltılmasının (% 0.5; 1; 1.5; 2) TDS ve AKM üzerindeki etkileri

Şekil 4'e bakıldığında, TDS miktarında fazla bir değişiklik olmazken AKM miktarında ise selülazın kimyasalsız işlemine göre biraz düşüş yaşanmıştır. TDS için en iyi değer kimyasal % 1 +

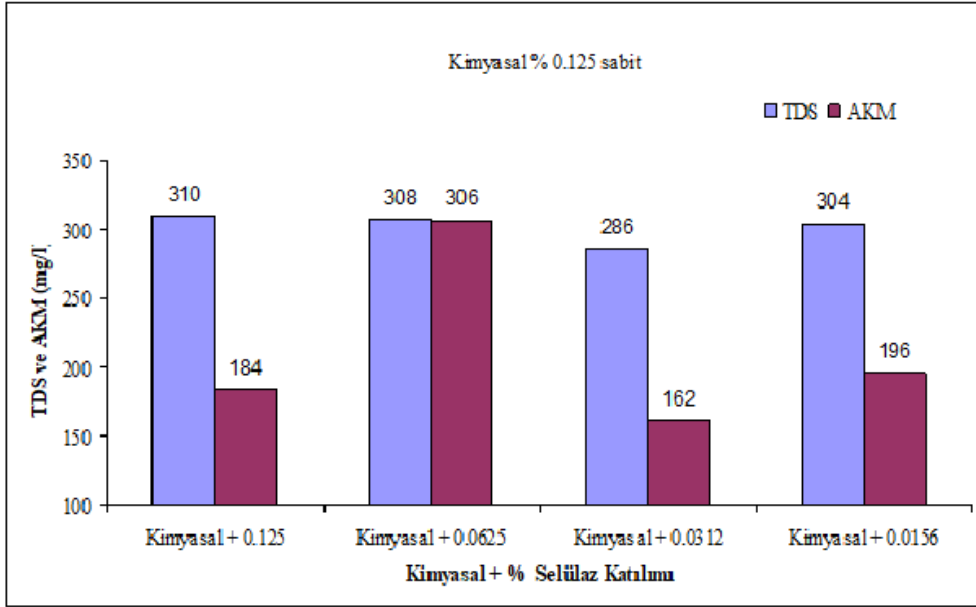
selülaz % 0.5 olurken, AKM için en iyi değerler ise 156 mg/l ve 106 mg/l elde edilmiştir (Karahan, 2012).



Şekil 5. Selülaz eklenmesi sabit tutulurken kimyasal eklenmesinin belirli miktarlarda düşürülmesinin (% 0.5; 0.25; 0.125; 0.0625) TDS ve AKM üzerindeki etkileri

Şekil 5'e bakıldığında, TDS ve AKM miktarlarında genel bir artış gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu birlikte kullanım hamurdaki çözünme miktarını artırmıştır. TDS için en iyi

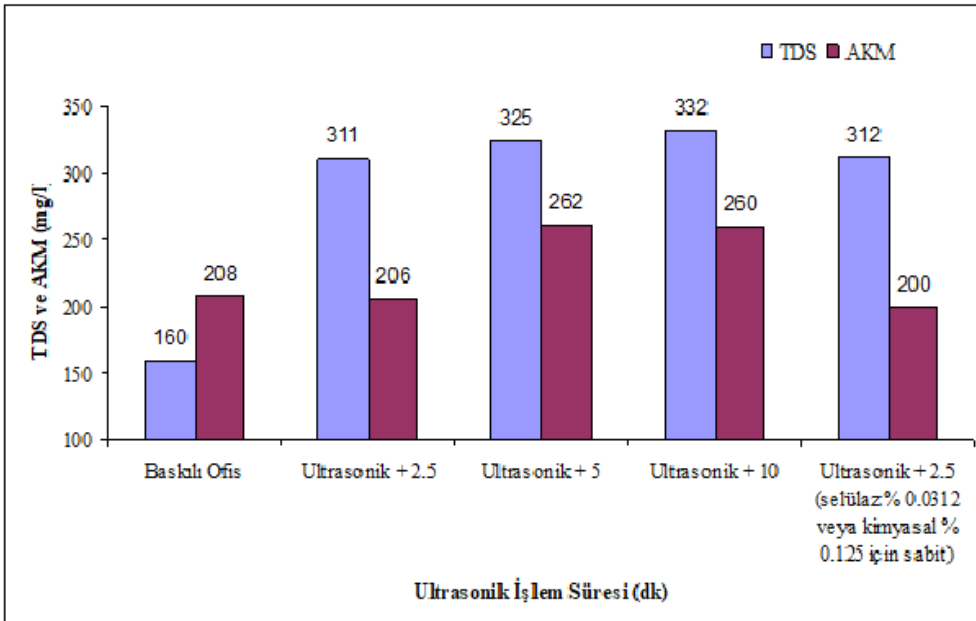
değer selülaz % 0.25 + kimyasal % 0.125 olurken, AKM için en iyi değerler ise 311 mg/l ve 202 mg/l elde edilmiştir.



Şekil 6. Kimyasal eklenmesi % 0.125 sabit tutulurken Selülaz eklenmesinin belirli miktarlarda düşürülmesinin (% 0.125; 0.0625; 0.0312; 0.0156) TDS ve AKM üzerindeki etkileri

Şekil 6'ya bakıldığında, TDS miktarlarında genel bir artış yaşanmıştır. AKM ise selülazın % 0.0625 katılımı hariç genel bir azalış yaşanmıştır. Bu durum muhtemelen kırıntı olan selülazın flotasyon

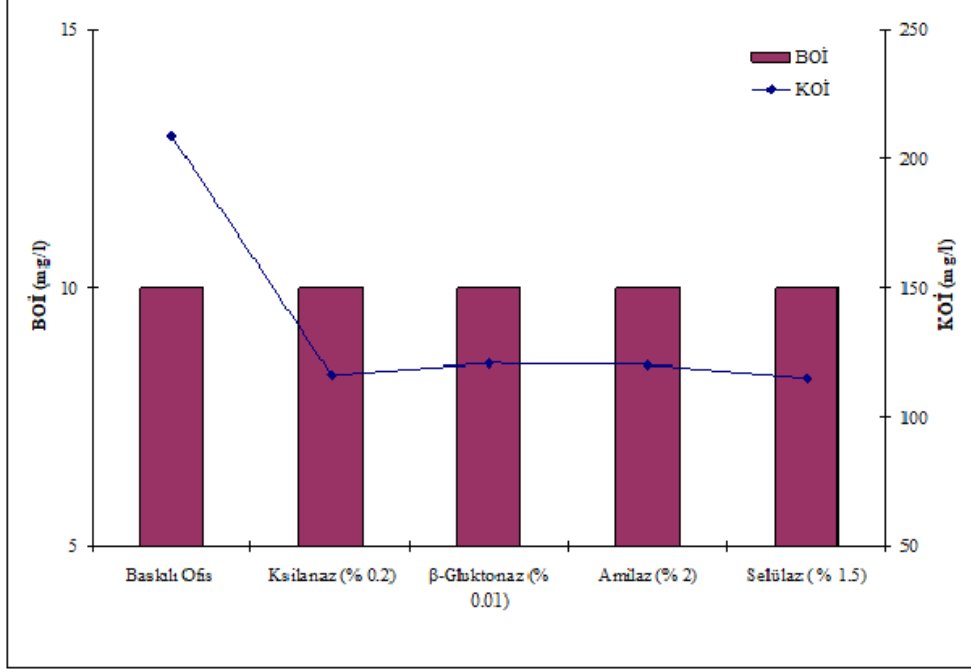
çamuruna tutunduğu düşünülebilir. TDS için en iyi değer kimyasal % 0.125 + selülaz % 0.0312 olurken, AKM için en iyi değerler ise 311 mg/l ve 202 mg/l elde edilmiştir.



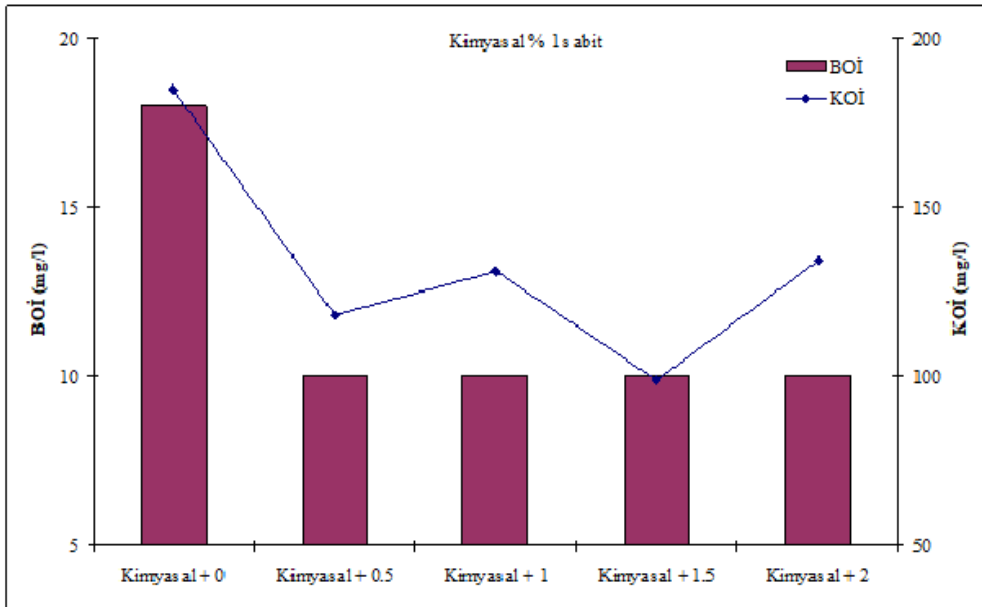
Şekil 7. Ultrasonik uygulama zamanının (dk 0; 2.5; 5; 10) TDS ve AKM üzerindeki etkileri

Şekil 7'ye bakıldığında, TDS ve AKM en fazla artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Muhtemelen bu durum ultrasonik işlemin kırıntı miktarını artırması olarak söylenebilir. TDS için en iyi değer kimyasal % 0.125 + selüloz % 0.0312 ve AKM için en iyi değerler 286 mg/l ve 162 mg/l

olurken, 2.5 dk. Ultrasonik uygulaması ardından bu değerler 312 mg/l ve 200 mg/l olarak bulunmuştur. Şekil 8'e bakıldığında, BOİ ve KOİ değerlerinin tüm enzimler için paralel çıktığı söylenebilir.



Şekil 8. Belli miktarlarda Ksilanaz, β- Gluktonaz, Amilaz ve Selüloz eklenmesinin BOİ ve KOİ üzerindeki etkileri

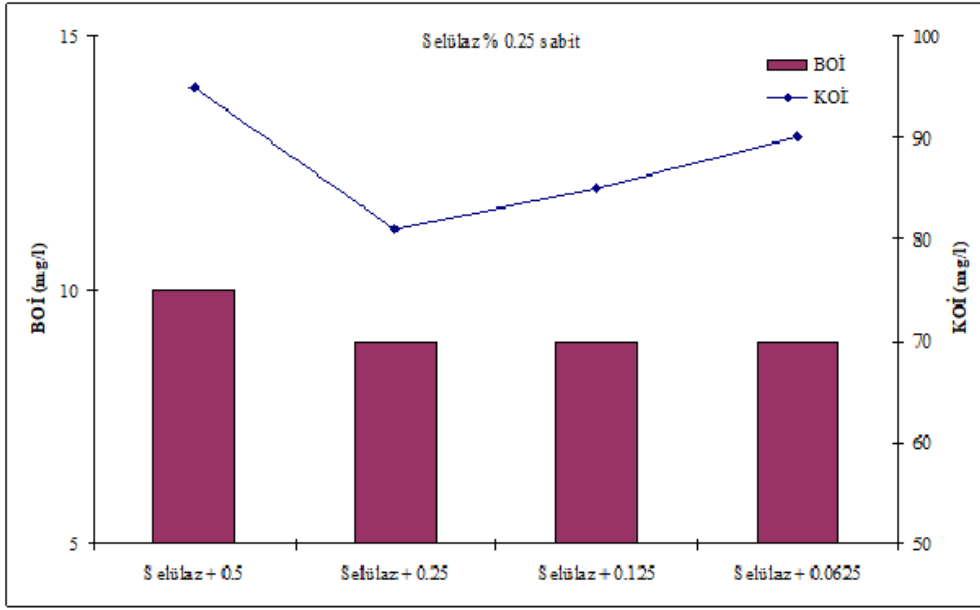


Şekil 9. Kimyasal eklenmesi sabit tutulurken Selüloz eklenmesinin belirli miktarlarda çoğaltılmasının (% 0.5; 1; 1.5; 2) BOİ ve KOİ üzerindeki etkileri

Şekil 9' a bakıldığında, BOİ değerleri sabit kalırken KOİ değerlerinde selülozın % 1.5 katılımı hariç yüksek bir değer çıktığı görülmüştür. Muhtemelen Flotasyon çamurundaki kirlilik oranının yüksek oluşu bu duruma sebep

olarak gösterilebilir. BOİ için en iyi değer kimyasal % 1 + selüloz % 0.5 olurken KOİ için en iyi değerler ise 10 mg/l ve 118 mg/l elde edilmiştir.

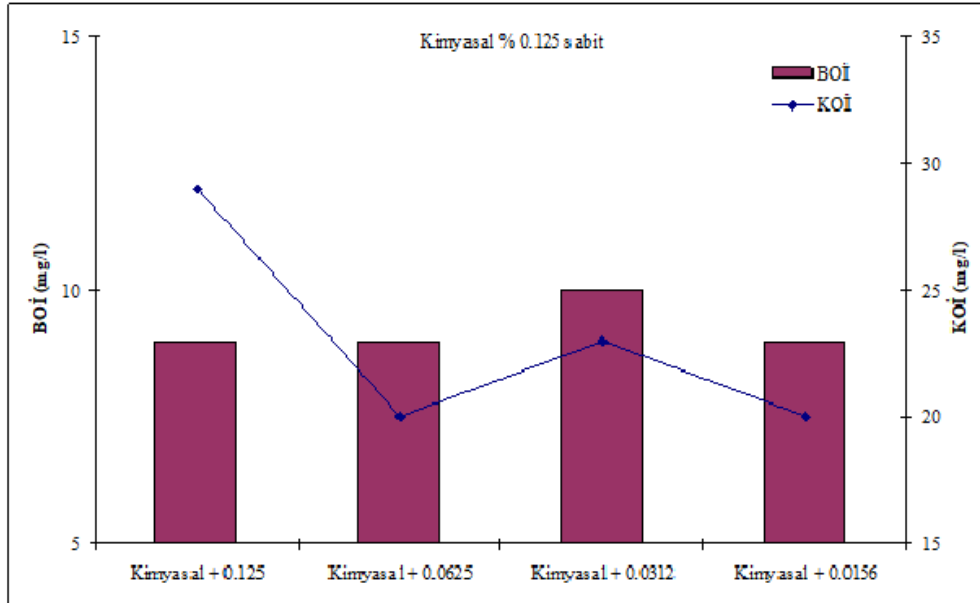




**Şekil 10.** Selülaz eklenmesi % 0.25 sabit tutulurken kimyasal eklenmesinin belirli miktarlarda düşürülmesinin (% 0.5; 0.25; 0.125; 0.0625) BOİ ve KOİ üzerindeki etkileri

Şekil 10'a bakıldığında, BOİ ve KOİ değerlerinin selülazın tüm katılımları için paralel çıktığı söylenebilir. BOİ için en iyi değer selülaz % 0.25

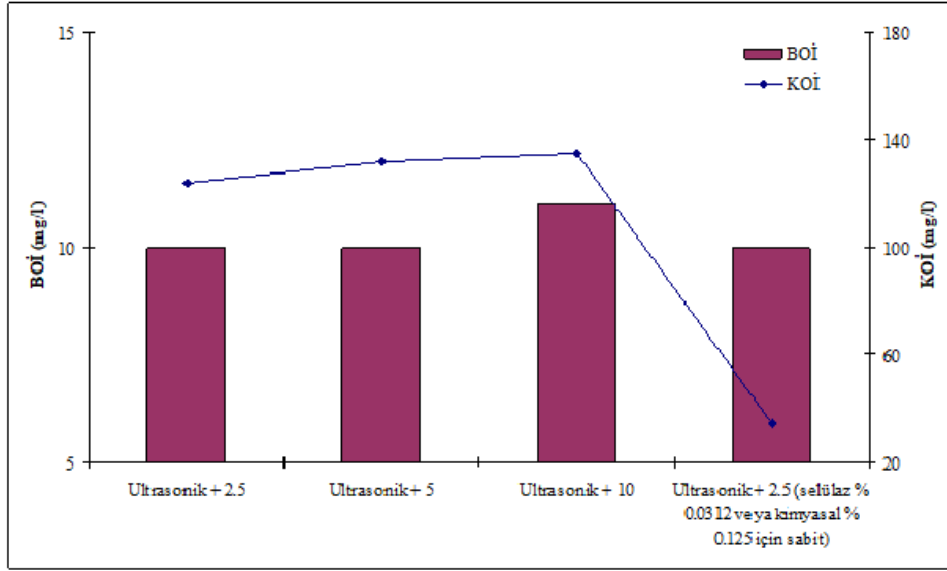
+ kimyasal % 0.125 olurken, KOİ için en iyi değerler ise 9 mg/l ve 85 mg/l elde edilmiştir.



**Şekil 11.** Kimyasal eklenmesi sabit tutulurken Selülaz eklenmesinin belirli miktarlarda düşürülmesinin (% 0.125; 0.0625; 0.0312; 0.0156) BOİ ve KOİ üzerindeki etkileri

Şekil 11'e bakıldığında, BOİ ve KOİ verileri selülazın tüm eklenmelerinde paralel olduğu ve diğer eklenmelere kıyasla daha az olduğu ifade edilebilir. BOİ için en iyi değer kimyasal % 0.125 +selülaz % 0.0312 olurken, KOİ için en iyi değerler ise 10 mg/l ve 23 mg/l elde edilmiştir.

Şekil 12'ye bakıldığında, BOİ ve KOİ değerleri birbirine paralel seyretmektedir. Fakat ultrasonik uygulama zamanının artması ile artış olmuştur. Bu olay tonerin daha küçük parçalara ayrılıp atık suya geçmesi şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 12. Ultrasonik uygulama zamanının (dk 2.5; 5; 10) BOİ ve KOİ üzerindeki etkileri

Kimyasal % 0.125 +selüloz % 0.0312 değere 2.5 dk Ultrasonik işlem ile BOİ ve KOİ verileri ise 10 mg/l ve 34 mg/l gözlemlenmiştir.

Enzimlerin mürekkep gidermede kullanılması ile bu amaçla kullanılan kimyasal kullanımını önemli ölçüde azalttığı için bu işlemlerin çevrede oluşturacağı kirlilik endişelerini de ortadan kaldırmaktadır (Yılgör, 2010; Karahan vd., 2015b). Mürekkep gidermeye enzim kullanımının olumlu katkısından dolayı kullanılan enzim çeşitlerinin geleneksel mürekkep uzaklaştırma işlemine alternatif olacağı tahmin edilmektedir (İmamoğlu, 2002; Karahan, 2017b). Ofis kâğıtlarının yüzdürme esaslı mürekkep giderme işlemlerinde ortalama hamur verimleri % 81.50 sonucuna varılmıştır (İmamoğlu, 2002; Karahan ve Karademir, 2019). Magazin dergileri ve atık kâğıtları üzerinde yüzdürme esaslı mürekkep uzaklaştırma işleminde ortalama hamur verimleri % 80 elde edilmiştir (Peşman, 2010; Karahan vd., 2015a). Hamurlaştırma işleminin tekrarında hem hamurun daha koyulaştığı hemde hamurdaki kırıntının arttığı görülmüştür (Brodeur ve Gerhardstein, 1998). Enzim uygulaması ile hem kimyasal miktarında azalma görülmüş hemde süzüntü suyu kontrol altına alınmıştır (Bajpai ve Bajpai, 1998). Ultrasonik işlem suyun akışkanlığını artırmaktadır (Brodeur ve Gerhardstein, 1998). Baz kâğıtlara ait KOİ verileri ortalama 160 mg/L olarak bulunmuştur (İmamoğlu, 2002).

#### 4. Sonuçlar

Çalışmada TDS miktarları bütün enzimlerde kayda değer bir farklılık oluşturmazken, AKM

miktarları ise hamur verimlerine göre bir paralellik seyretmektedir. Ultrasonik uygulamanın TDS ve AKM bir artış farkedilmiştir. Bu sonuçla birlikte ultrasonik uygulama ile kırıntı miktarında da doğru orantılı olarak arttığı ifade edilebilir. Belirli miktarlarda enzim eklenmesinin BOİ ve KOİ üzerindeki etkisi ise, BOİ ve KOİ verilerinin bütün enzimler de paralel olduğu ifade edilebilir. Yine benzer şekilde, ultrasonik uygulamanın zamanının BOİ ve KOİ üzerindeki etkisi ise, BOİ ve KOİ verilerinin bütün enzimler de paralel olduğu ifade edilebilir. BOİ ve KOİ değerleri birbirine paralel seyretmektedir. Bunun yanı sıra ultrasonik uygulama zamanının artması ile hamur miktarında azda olsa bir artışa neden olmaktadır. Bu durum ise ultrasonik uygulamanın zamanının artması ile birlikte toner daha fazla fiziksel mukavemet etkisinde kalıp daha da küçük parçalara ayrılmasına sebep olacaktır. Bu ise kırıntı tonerin hamura geçmesine sebebiyet verecektir.

Sonuçlara bakıldığında ultrasonik ve enzim uygulaması ile iyi sonuçlar alınmıştır, çalışmanın ayrıca hem maddi hem de doğaya faydası bakımından olumlu sonuçları olduğu söylenebilir. Genelde varılan hususlar maddeler halinde verilmiştir (Karahan, 2012; Karahan, 2017b).

- İNGEDE standardında belirtilen kimyasal miktarı düşürülmüştür (1/8)
- Selüloz enzimi diğer enzimlere göre daha iyi değerler elde edilmiştir.
- Kimyasal ve enzimin birlikte kullanılmasında olumlu olmuştur.
- Ultrasonik işlem başarılı sonuçlar vermiştir.

- Enzim, kimyasal ve ultrasonik işlem atık su değerlerini iyileştirmektedir.
- Enzimler kimyasallarla uyumludur.
- Enzimler için, sıcaklık, dozaj katılımı ve pH değişken olan unsurlardandır.
- Enzimler için uygulama zamanı fazladır. Bu yüzden daha az uygulama yapılmaktadır.
- Ultrasonik işlem ile toner parçalandığı için, liflerden ayırma kolaydır.
- Ultrasonik işlemin başarısı için suyun derecesi önemlidir.
- Ultrasonik işlem ile mürekkep parçacıkları daha da ufalandığı için işlem görmüş olan hamura geçme olasılığı vardır.

### Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2011/3-44D). Ayrıca bu çalışma Selim Karahan tarafından 2012 yılında yapılan doktora tezinin'de bir bölümünü içermektedir.

### Kaynaklar

- Bajpai, P. and Bajpai, P.K., 1998. Deinking with Enzymes. A Review: TAPPI Journal, 81 (12), 111-117.
- Brodeur, P.H. and Gerhardstein, J.P., 1998. Overview of Applications of Ultrasonics in the Pulp and Paper Industry, Proceedings of IEEE International Ultrasonics Symposium- Proceedings, 809-815.
- İngede Test Metodu 1, 2007. Optik Özelliklerin Ölçümü için Mürekkebi Giderilmiş Hamurdan Test Kâğıdı Hazırlama, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İngede Test Metodu 2, 2007. Hamurun Optik Özelliklerinin Ölçümü ve Mürekkep Gidermedeki Süzüntü İşlemleri, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İngede Test Metodu 11, 2007. Baskılı Ürünün Geri Dönüşülebilirliği, Uluslararası Mürekkep Giderme Sanayi Kurumu verileri.
- İmamoğlu, S., 2002. Atık Kâğıt Hamurlarının Formamaidin Sülfonik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, S., 2012. Ultrasonik Enerji ve Enzim Kullanımının Lazer Baskılı Ofis Kâğıtlarından Yüzdürme Esaslı Mürekkep Giderme İşlemi Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

- Karahan, S., 2017a. Kâğıdın Optik Özellikler Üzerine Mürekkep Giderme İşlemi ile Farklı Uygulamaların Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 146-160.
- Karahan, S., 2017b. Mürekkep Giderme İşleminin Ofis Kâğıtları Üzerindeki Fiziksel Direnç Özellikleri Üzerine Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 76-83.
- Karahan, S., 2017c. Atık Ofis Kâğıtları Üzerinde Yapılan Mürekkep Giderme İşleminin Hamur Verimi ve Atık Çamur Üzerine Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 67-75.
- Karahan, S. ve Karademir, A., 2019. Mürekkep Giderme İşleminin Farklı Atık Kâğıtlar Üzerindeki Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1), 15-24.
- Karahan, S., Karademir, A. ve Güvendi, E., 2015a. Ofis Kâğıtları Üzerindeki Mürekkep Giderme İşleminin Taramalı Elektron Mikroskobu ile Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (1), 299-314.
- Karahan, S., Karademir, A. ve Güvendi, E., 2015b. Mürekkep Giderme İşleminin Lazer Baskılı Ofis Kâğıtlarındaki Organik ve Anorganik Madde Miktarları Üzerine Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (1), 241-250.
- Karademir, A., Akgül, M. ve Tutuş, A., 2002a. Kâğıt Endüstrisinde Enzim Kullanımına Genel Bir Bakış, Enzimlerin Kabuk Soyma, Liflerin Modifikasyonu, Çözünebilir Kâğıt Hamuru ve Selüloz Üretiminde Kullanımı. KSU Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 61-71.
- Karademir, A., İmamoğlu, S. ve Tutuş, A., 2002b. Situation of paper based waste in Turkey. ISWA International Congress, 419-426.
- Kenealy, W., Buschle-Diller, G., and Ren, X., 2006. Enzymatic Modification of Fibers for Textile and Forest Products Industries. Modified Fibers with Medical and Specialty Applications, 191-208.
- Kıran, Ö.E., Çömlekçioğlu, U. ve Dostbil N., 2006. Bazı Mikrobiyal Enzimler ve Endüstrideki Kullanım Alanları. KSU Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 12-19.
- Peşman, E., 2010. Atık Gazete ve Magazin Kâğıtlarının Mürekkep Uzaklaştırma ve Ağartma Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Skals, P., Krabek, A., Nielsen, P. ve Wenzel, H., 2008. Environmental Assesment of Enzyme Assisted

Processig in Pulp and Paper Industry. Int LCA Case Studies, 13 (2), 124-132.

Tatsumi, D., Higashihara, T., Kawamura, S. ve Matsumoto, T., 2000. Ultrasonic Treatment to Improve the Quality of Recycled Pulp Fiber. Journal of Wood Science, 46 (5), 405-409.

Yılgör, N., 2010. Mürekkep Giderme Sürecinde Enzimlerin Kullanılması. Orman Fakültesi Dergisi, İstanbul Üniversitesi, 60 (1), 73-75.

Yılgör, N., Cameron, J., Velpumadugu, A. ve Kumar, K., 2009. Enzymatic Deinking of Inkjet Printed Papers, Pulping & Environmental Conference, 1-14.

## Muğla Mermerinin Esnek Üstyapılı Yol Kaplamalarında Kullanımının Performansa Etkisinin Değerlendirilmesi, Suya Bağlı Bozulmalara Karşı Direncinin İncelenmesi

*Evaluation of the Effect on Performance of Muğla Marble Usage in Flexible Pavements, Investigation of the Resistance of Water Induced Damages*

Mustafa ÖZKAN<sup>1,a</sup>, İsmail Çağrı GÖRKEM<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 48000, Muğla

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla

• Geliş tarihi / Received: 09.08.2019

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 28.01.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 03.02.2020

### Öz

Yeni ürünler elde etmek veya atıkların katkı maddesi olarak kullanılması amacıyla günümüzde, atık malzemelerin esnek üstyapılı yol kaplamalarında kullanımı ve değerlendirilmesi konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemelerin tekrardan kullanımı ile geri dönüşümü düşüncesi, sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltmakta, çevrenin tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevresel sorunları en aza indirmektedir. Bu çalışmada mermer atıklarının, esnek üstyapılı yol kaplamalarında değerlendirilmesi konusuna değinilmiştir. Numuneler üzerinde standart agrega ve geleneksel bitüm deneyleri ile karışımın performans özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Marshall stabilite ve akma deneyleri yapılmıştır. Kalsit bazlı mermer atığı ile hazırlanan bitümlü karışım örneklerinin suya bağlı bozulmalara karşı direncin tespiti amacıyla numuneler üzerine Modifiye Lottman deneyi (AASHTO T283) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Karayolu Teknik Şartnamesi'ne (KTS) göre değerlendirilmiştir. Buna göre, kalsit bazlı mermer atığı agregaların fiziksel özelliklerinin ve bitümlü karışımındaki stabilite ve akma değerlerinin şartname limitleri içerisinde olduğu görülmüştür. Sönmüş kireç katkısı ile hazırlanan bitümlü karışımların suya bağlı bozulmalara karşı direnci arttırdığı tespit edilmiştir. Kalsit bazlı mermer atığının orta ve düşük hacimli yollarda kalker agregasına alternatif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bitüm, Esnek Üstyapılar, Kalsit Bazlı Mermer Atığı, Sönmüş Kireç, Suya Bağlı Bozulmalar

### Abstract

*In order to obtain new products or to use wastes as additive materials, intensive studies are performed on the usage and evaluation of waste materials in flexible pavement. The idea of reuse these materials with recycling reduces the use of limited sources of nature, prevents the destruction of the environment, increases efficiency in production, and minimizes the environmental problems that may occur as a result of waste storage. In this study, the evaluation of marble wastes usage in flexible pavement has been mentioned. Traditional bitumen and aggregate tests and in order to determine the performance characteristics of the bituminous mixture Marshall stability and flow tests have been performed. The modified Lottman test (AASHTO T283) has been applied on the specimens to determine the resistance on water-induced damages of the bituminous mixture specimens prepared with calcite based marble waste. The results that obtained have been compared with the Technical Specification of Highway (KTS). According to obtained, the physical properties of calcite-based marble waste aggregates as well as the stability and flow values of bituminous mixture have been found to be within the specification limits. It has been determined that the bituminous mixtures prepared with the hydrated lime additive increase the resistance on water-induced damages. Calcite-based marble waste aggregate is thought to be used as an alternative to limestone aggregate on medium and low volume traffic roads*

**Keywords:** Bitumen, Flexible Pavement, Calcite Based Marble Waste, Hydrated Lime, Water Induced Damage

\*b İsmail Çağrı GÖRKEM; cagrigorkem@mu.edu.tr, Tel: (0252) 211 55 78, orcid.org/0000-0001-9427-2637

a orcid.org/0000-0002-2590-9689

## 1. Giriş

Artan ticari faaliyetler ve bunlara bağlı olarak gelişen ulaştırma sektörü nedeniyle hali hazırdaki karayollarına etki eden dingil yük ve sayıları her geçen gün artmaktadır. Ticari faaliyetlerdeki bu artış ile birlikte yeni yollara olan gereksinim ortaya çıkmakta ve böylelikle gündün güne yeni karayolu ağları inşa edilmektedir.

Dingil yüklerinin artması ve iklim koşullarındaki değişiklikler gibi nedenlerle mevcut yolların performanslarında düşüşler ve buna bağlı olarak hizmet ömründe ise azalmalar görülmekte; bu durum ise esnek üstyapılı yol kaplamalarında karşılaşılan farklı deformasyon çeşitlerinin oluşumunu tetiklemektedir. Esnek üstyapılı yol kaplamalarındaki deformasyonların bir sonucu olarak, bakım ve onarım için gereken maliyet artmaktadır. Yıllardır esnek üstyapılı yol kaplamaları üzerinde deformasyon etkilerinin azaltılması amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan bazıları bitümlü malzemenin modifikasyonuna yönelik olmakla beraber, diğerleri ise karışıma uygulanan iyileştirmeleri kapsamaktadır. Doğal kaynakların sınırlı olması ve artan çevre bilinci nedeniyle araştırmacılar günümüzde yol yapım tekniklerinde kullanılan malzemelere alternatif olabilecek kaynaklar üzerine çalışmalarını sürdürmektedirler.

Yol yapımında bitümlü malzemeler ile çimento ve kırma taş agregalar kullanılmaktadır. Bu malzemelerin belirtildiği üzere doğada sınırlı olmaları sebebiyle geri kazanılmış malzemelerin kullanımı dikkate alınması gereken bir konu haline gelmiştir. Bu açıdan bakıldığında, servis ömrü süresince yaşanan bağlayıcılardan elde edilen okside olarak sertleşmiş bitüm malzemesinin kullanımı yeni çalışmalar için önem kazanmaktadır. Yol yapımında, alternatif kaynaklardan biri de atık agregaların bitümlü karışımlarda kullanılmasıdır (Karaşahin ve Terzi, 2007). Atık agregaların yol yapımındaki bu tekrar kullanımları, bu atıkların bertaraf edilmesi ve kirlilik problemlerine kısmen bir çözüm sunmaktadır (Aravind ve Das, 2004). Atık malzemeler, uygun görülen atık depolama sahalarında biriktirmektedir. Çöp alanlarına dökülen atık maddeler, arazinin topografyasını ve bu habitatlardaki canlıların yaşamlarını değiştirerek çevreye ciddi zararlar vermektedir (Akbulut ve Gürer, 2003).

Taş ocaklarında agrega üretimi için gereken yüksek enerji, üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Bu maliyetlerin düşürülmesi amacıyla, alternatif

agrega ürünlerinin kullanımlarına yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Alternatif kaynaklardan biri de mermer üretim ocak ve tesislerinde kırım sırasında ortaya çıkan ve büyük bloklardan kopan agrega parçalarıdır. Bu atık mermer agregalarının uygun gradasyon ile kullanımının esnek üstyapılı yol kaplamalarında inşaat maliyetini azaltacağı düşünülmektedir (Akbulut ve Gürer, 2006).

Esnek üstyapılı yol kaplamaların tasarım ve yapımındaki ana hedeflerden biri, optimum koşullarda stabilite ve durabilite açısından en iyi performansı elde etmektir (Ameri vd., 2018). Sıcaklık, hava ve su gibi çevresel faktörler bitümlü sıcak karışımların dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Şengöz ve Görkem, 2009). Agregası ve bağlayıcı içerisinde nem bulunması, bitümlü sıcak karışımların adeziv özelliklerini azaltmaktadır (Görkem, 2014).

Bitümlü sıcak karışımların, suya bağlı bozulmalara karşı performansını artırmak için kullanılan en yaygın yöntemler; malzemelerin değiştirilmesi, karışım tasarımında farklılıklara gidilmesi ve soyulma önleyici katkı maddeleri kullanmaktır (Epps vd., 2003). Soyulma önleyici katkı maddelerinin kullanımı, bitümlü sıcak karışımdaki nem direncini arttırmanın genel ve optimum yoludur. Soyulma önleyici katkı maddelerinin kullanım yöntemleri iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlardan biri doğrudan bitüme eklenerek, diğeri ise agrega gradasyonuna eklenerek kullanılan yöntemlerdir (Hamedi ve Tahami, 2018).

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, karışımdaki agrega gradasyonunun tamamının depolama alanlarına dökülen kalsit bazlı mermer atığının oluşturduğu bitümlü karışımlarda yeniden kullanımının geleneksel kalker agregası ile hazırlanan bitümlü karışımlara ait performans kıyaslamaları yapılması hedeflenmiştir. Bahsedilenlerin yanı sıra, kalsit bazlı mermer atıkları ile hazırlanan bitümlü karışımların suya bağlı bozulmalara karşı dirençleri de kalker agregası içeren örneklerle karşılaştırılmıştır. Buradaki ana düşünce, gradasyonunun tamamı atık mermerden oluşan bitümlü karışımların performans değerlendirilmesinin yapılması ve esnek üstyapılarda yeniden kullanımı ile depolama sahalarında ortaya çıkan çevresel kirliliği minimize etmektir. Bu amaç ile çalışma kapsamında, Marshall Karışım Tasarımı yöntemi, bitümlü sıcak karışımlar (BSK) için optimum

bitüm içeriğini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Laboratuvarında koşullarında dönel viskozite deneyi ile belirlenen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında Marshall numuneleri hazırlanmış olup, bu numunelere Marshall Stabilite ve Akma Deneyi uygulanmıştır. İki farklı tip agrega (kalker agregası ve kalsit bazlı mermer atığı) ile hazırlanan bitümlü karışımların suya bağlı bozulmalara karşı direnci B100/150 penetrasyon sınıfına ait bitüm kullanılarak değerlendirilmiştir. B100/150 penetrasyon sınıfına ait bitüm üzerine geleneksel bitüm testleri uygulanmış ve agregaların özellikleri (kalker ve kalsit bazlı mermer atığı) belirlenmiştir. Bu çalışmada, farklı agrega türleri içeren bitümlü sıcak karışımların suya bağlı bozulma özellikleri incelenmiştir. Bu

amaçla, karışımların suya bağlı bozulmalar üzerindeki performansının değerlendirilmesinde kalker ve atık mermer agregası ile hazırlanan numunelere soyulma önleyici katkı maddesi olarak sönmüş kireç ilavesi yapılmıştır. Numunelerin suya bağlı bozulma özellikleri, Modifiye Lottman Testi (AASHTO T 283) ile değerlendirilmiştir.

B100/150 penetrasyon sınıfına ait saf bitüm, Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İzmir Rafinerisi'nden temin edilmiştir. Saf bitümün özelliklerini belirlemek amacıyla geleneksel bitüm deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** B100/150 saf bitümün özellikleri

Test	Şartname	Sonuçlar	Şartname Limitleri
Penetrasyon Deneyi (25 °C; 0.1 mm)	TS EN 1426	105	100-150
Yumuşama Noktası (°C)	TS EN 1427	40	39-47
Viskozite (135°C; mPa.s)	ASTM D4402	297.5	175 (min.)
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (163 °C; 85 dk.)	TS EN 12607		
Kütle Değişimi (%)		0.09	0.8 (maks.)
Kalıcı Penetrasyon (%)	TS EN 1426	54	43 (min.)
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi sonrası Penetrasyon Deneyi (25°C; 0.1mm)	TS EN 1426	57	
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi sonrası Yumuşama Noktası Deneyi (°C)	TS EN 1427	51	41 (min.)

Bitümlü karışım örnekleri iki farklı tip agrega (Kalker ve Kalsit bazlı Mermer Atığı) kullanılarak elde edilmiştir. Kalker agregaları Muğla ilinde yer alan Kavaklıdere taş ocağından, kalsit bazlı mermer atığı agregaları ise yine Muğla ilinde yer alan Yatağan taş ocağından elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan agrega çeşitlerine

ait özelliklerin saptanabilmesi amacıyla geleneksel agrega deneyleri yapılmıştır. Gradasyon değerleri, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) Aşınma Tip-1 esaslarına uygun olarak seçilerek kalker ve kalsit bazlı mermer atığı agregasının özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3' te sırasıyla gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Kalker agregasına ait özellikler

Test	Şartname	Sonuçlar	Şartname Limitleri
<b>Elek No</b>	ASTM C 136		
¾"		100	100
½"		92	83-100
3/8"		80	70-90
No 4		47.3	40-55
No 10		33	25-38
No 40		13	10-20
No 80		9	6-15
No 200		5.3	4-10
<b>Kaba Agregası Özgül Ağırlığı</b>	ASTM C 127		
Hacim		2.645	-
Kuru Yüzey Doygun		2.666	-
Zahiri		2.713	-
<b>İnce Agregası Özgül Ağırlığı</b>	ASTM C 128		
Hacim		2.643	-
Kuru Yüzey Doygun		2.672	-
Zahiri		2.722	-
<b>Filler Özgül Ağırlığı</b>		2.686	-
<b>Los Angeles Aşınması (%)</b>	TS EN 1097-2	27.4	Maks. 27
<b>Yassılık İndeksi (%)</b>	BS 812	5	Maks. 10
<b>Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO<sub>4</sub>) (%)</b>	TS EN 1367-2	4.154	Maks. 16

**Tablo 3.** Kalsit bazlı mermer atığı agregasına ait özellikler

Test	Şartname	Sonuçlar	Şartname Limitleri
<b>Elek No</b>	ASTM C 136		
¾"		100	100
½"		92	83-100
3/8"		80	70-90
No 4		47.3	40-55
No 10		33	25-38
No 40		13	10-20
No 80		9	6-15
No 200		5.3	4-10
<b>Kaba Agregası Özgül Ağırlığı</b>	ASTM C 127		
Hacim		2.679	-
Kuru Yüzey Doygun		2.693	-
Zahiri		2.716	-
<b>İnce Agregası Özgül Ağırlığı</b>	ASTM C 128		
Hacim		2.636	-
Kuru Yüzey Doygun		2.669	-
Zahiri		2.719	-
<b>Filler Özgül Ağırlığı</b>		2.706	-
<b>Los Angeles Aşınması (%)</b>	TS EN 1097-2	25	Maks. 27
<b>Yassılık İndeksi (%)</b>	BS 812	3	Maks. 10
<b>Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO<sub>4</sub>) (%)</b>	TS EN 1367-2	0.7	Maks. 16

DeneySEL çalışmalar kapsamında kullanılan ve yüksek oranda kalsiyum hidroksit (Ca(OH)<sub>2</sub>) içeren sönmüş kireç katkısı, Muğla Kireç Sanayi

Anonim Şirketi'nden temin edilmiştir. Kullanılan, sönmüş kireç katkısına ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Sönmüş kireç katkısına ait özellikler

Analiz sonrası Bileşenler			Hesaplama sonrası Bileşenler		
Adı	Formülü	%	Adı	Formülü	%
Silisyumdikoksit	SiO <sub>2</sub>	0.40	Kalsiyumkarbonat	CaCO <sub>3</sub>	3.95
Demiroksit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	0.12	Kalsiyumhidroksit	Ca(OH) <sub>2</sub>	95.03
Alüminyumoksit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10			
Kalsiyumoksit	CaO	-	Magnezyumkarbonat	MgCO <sub>3</sub>	-
Magnezyumoksit	MgO	-	Magnezyumhidroksit	Mg(OH) <sub>2</sub>	-
Sülfür(III)oksit	SO <sub>3</sub>	-	Kalsiyumsülfat	CaSO <sub>4</sub>	-

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenerek, örneklerin hazırlanmasından sonra sıkıştırılmış numuneler üzerinde Marshall Stabilite ve Akma ile Modifiye Lottman (AASHTO T283) deneyleri uygulanmıştır.

Bitümlü sıcak karışımların laboratuvar koşullarında Marshall karışım tasarımı yapılırken, "Marshall Aletini Kullanarak Bitümlü Karışımların Plastik Akmaya Karşı Direnci İçin Standart Deney Yöntemi (ASTM D-1559)" kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993). Bu deney yönteminde, 1150 gram olarak hazırlanan agrega numunelerine ağırlıklarınca %3.5–6.0 oran aralığında (her defada bitüm içeriği

%0.5 arttırılmak suretiyle) bitüm eklenerek mikserde karıştırılmaktadır. Her bir bitüm içeriği için üç adet numune hazırlanarak 18 numune üzerinde deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Bitüm ve agregalar belirlenen karışım sıcaklıklarında ısıtıldıktan sonra homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Marshall kalıplarına yerleştirilen numunelerin, her iki yüzeyine de Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) belirtildiği gibi (Aşınma Tabakası Tip-1) 75'er darbe uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir (KGM, 2013). Numuneler, dayanım ve akma değerlerinin belirlenmesi amacıyla Marshall deney cihazına yerleştirilmeden önce 60°C sıcaklığındaki su banyosunda 30-40 dakika bekletilmiştir. Bu süre



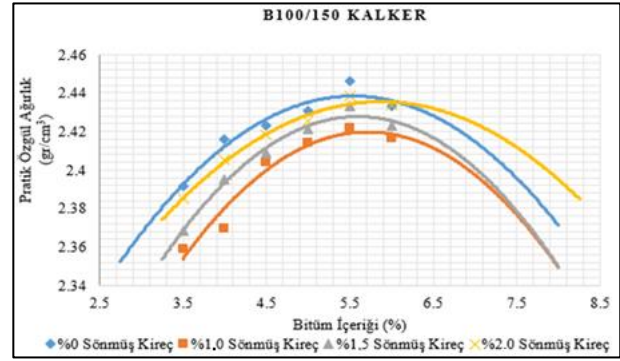
sonunda numuneler su banyosundan çıkarılarak Marshall deney cihazına yerleştirilerek cihaz çalıştırılmıştır. Cihazın yükleme hızı 50.8 mm/dak. Olmasına dikkat edilmiştir. Deney, cihaz ekranındaki stabilite ve akma değerleri sabit hale gelene kadar devam ettirilmiştir. Tüm bu işlemlerin 30 saniyelik süre zarfında özenle yapılması gerekmektedir. Deney sonunda stabilite ve akma okumaları yapılarak veriler kaydedilmiştir.

Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı dirençlerinin saptanması için uygulanan deneyde (AASHTO T283, TS EN 12697-12), laboratuvarında hazırlanan sıkıştırılmış bitümlü karışımların hızlandırılmış su etkileri nedeni ile oluşan çap düzlemindeki indirekt çekme mukavemeti (ITS) ölçümünü ve bu deney için numune hazırlanmasını kapsamaktadır. B100/150 saf bitüm kullanılarak hazırlanan bitümlü sıcak karışımlar alüminyum kap içine konularak 2 saat oda sıcaklığında soğutulmuşlardır. Sonra karışımlar kür edilmek üzere 16 saat süre ile 60°C'lik etüvde bekletilmişlerdir. Kür işleminden sonra, 135°C'lik etüvde 2 saat bekletilmiş karışımlar, %7 ± 1.0 hava boşluğunda sıkıştırılmışlardır. B100/150 optimum bitüm içeriği belli olan miktarlara ait, üçer adet numune hazırlanmıştır. Diğer grup numuneler ise metal silindirik piknometre içine konulduktan sonra içine 25°C'de saf su ilave edilerek numuneye su absorbe işlemi uygulanmıştır. İçinde numune olan plastik torba, 16 saat süre ile -18 °C'lik dondurucu içinde bekletildikten sonra, 24 saat süreyle 60 °C'lik su banyosuna konulmuştur. Bu işlemten sonra, numuneler 2 saat süre ile 25 °C'ye ayarlanmış su banyosunda bekletilmişlerdir. Kuru ve yukarıdaki şekilde koşullandırılmış numunelerin ITS değerleri saptanmıştır. Numunelerin suya bağlı bozulmalarını saptamak için, koşullandırılmış numunelerin ITS değerlerinin kuru numunelerinkine oranı bulunmuştur.

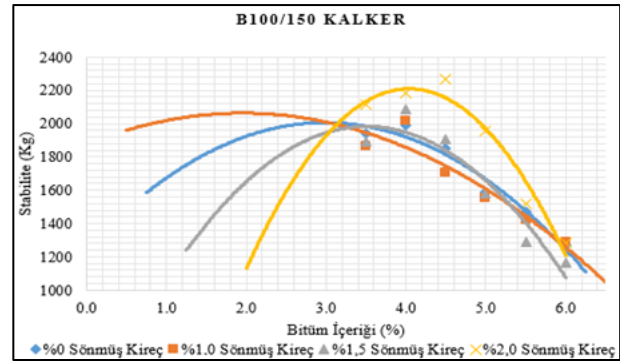
### 3. Bulgular ve Tartışma

B100/150 penetrasyon sınıfına ait bitüm ile kalker agregasının, farklı oranlarda kullanılan sönmüş kireç katkısı ile karışım özellikleri araştırılmış ve buna bağlı sonuçlar verilmiştir. Hacimsel özellikler özgül ağırlık, hava boşluğu, asfaltla dolu boşluk (VFA), mineral agregalar arası boşluk (VMA), Marshall Stabilite ve Akma ile elde edilen sonuçlar farklı bitüm içeriği için grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Şekil 1-6'da yer verilen bu grafiklerden maksimum Stabilite, maksimum Özgül Ağırlık, %4 Hava Boşluğu

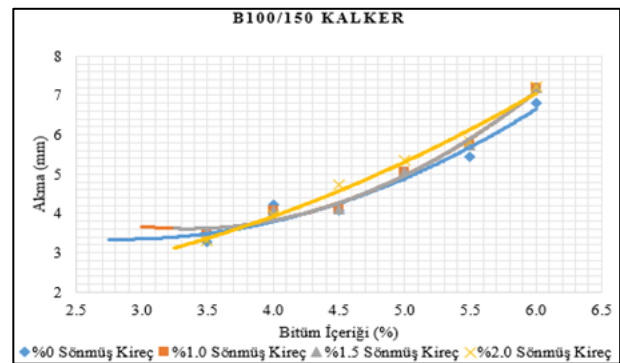
değerine karşılık gelen bitüm içeriği ve KTS'de yer verildiği gibi %60-75 VFA aralığına denk gelen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sırasıyla % 0, % 1.0, % 1.5 ve % 2.0 sönmüş kireç içeriği ile optimum bitüm içeriğinin sırasıyla %4.37, %4.57, %4.62 ve %4.67 olduğunu göstermektedir (Şekil 1-6).



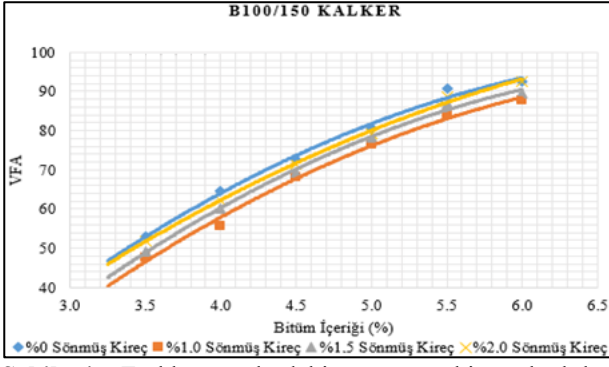
Şekil 1. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkılı örnekler için pratik özgül ağırlık-bitüm içeriği sonuçları



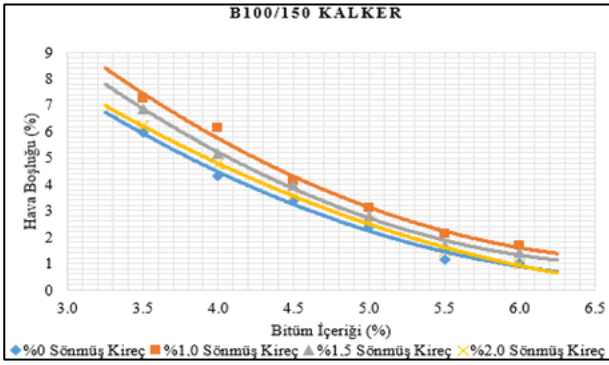
Şekil 2. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkılı örnekler için stabilite-bitüm içeriği sonuçları



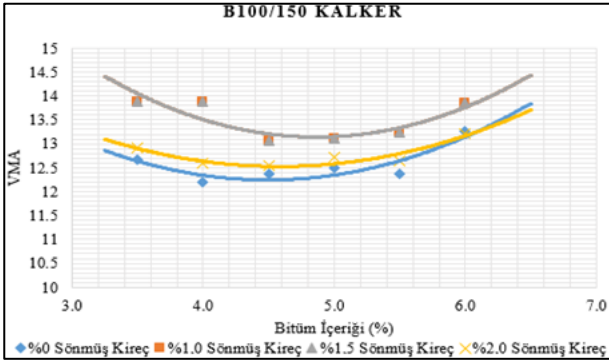
Şekil 3. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkılı örnekler için akma-bitüm içeriği sonuçları



Şekil 4. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait VFA-bitüm içeriği sonuçları

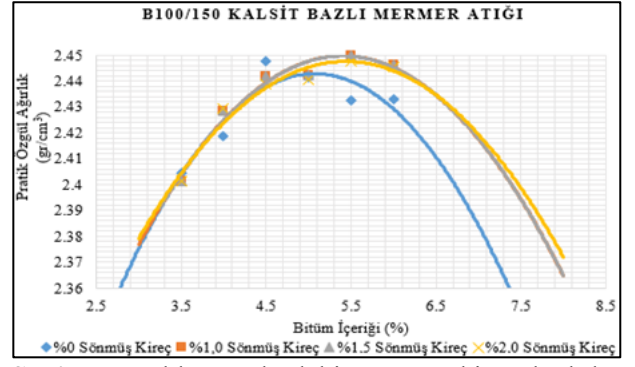


Şekil 5. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait hava boşluğu-bitüm içeriği sonuçları

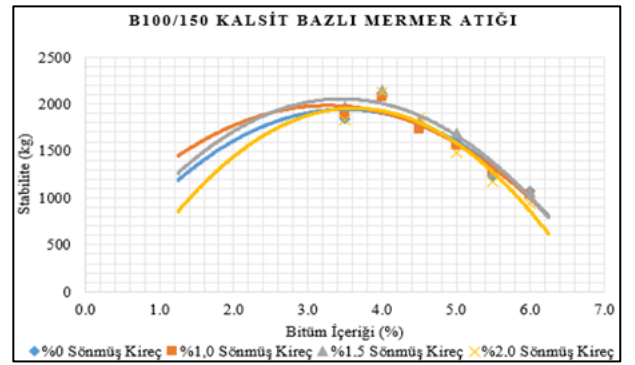


Şekil 6. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait VMA-bitüm içeriği sonuçları

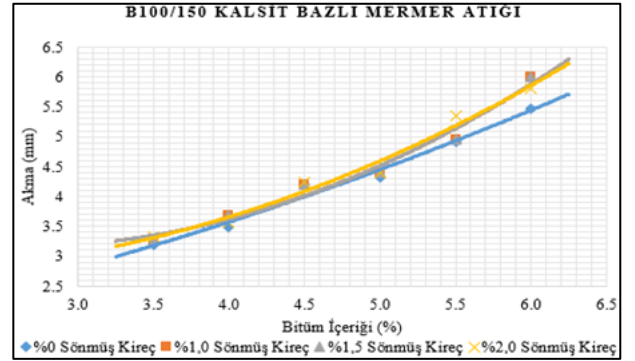
B100/150 penetrasyon sınıfına ait bitüm ile kalsit bazlı mermer atığı agregasının, farklı oranlarda kullanılan sönmüş kireç katkısı ile karışım özellikleri araştırılmış, sonuçlar verilmiştir. Hacimsel özellikler özgül ağırlık, hava boşluğu, VFA, VMA, Marshall Stabilite ve Akma ile elde edilen sonuçlar farklı bitüm içeriği için grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Grafiklerden maksimum Stabilite, maksimum Özgül Ağırlık, %4 Hava Boşluğu değerine karşılık gelen bitüm içeriği ve KTŞ'de yer verildiği gibi %60-75 VFA aralığına denk gelen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, %0, %1.0, %1.5 ve %2.0 sönmüş kireç içeriği ile optimum bitüm içeriğinin sırasıyla %4.22, %4.25, %4.30 ve %4.35 olduğunu göstermektedir (Şekil 7-12).



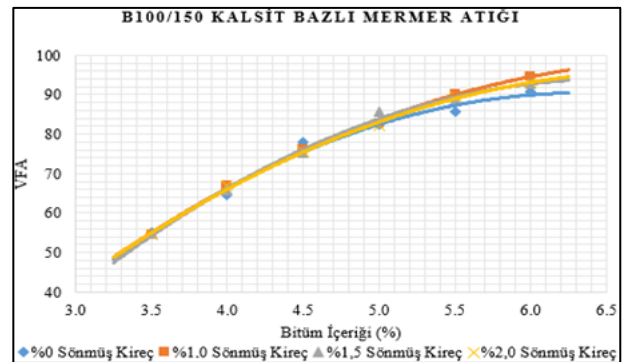
Şekil 7. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait pratik özgül ağırlık-bitüm içeriği sonuçları



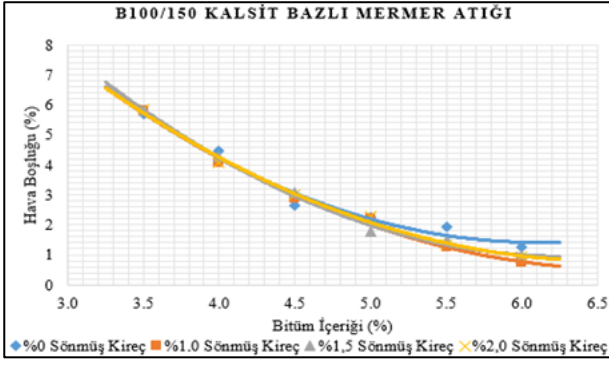
Şekil 8. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait stabilite-bitüm içeriği sonuçları



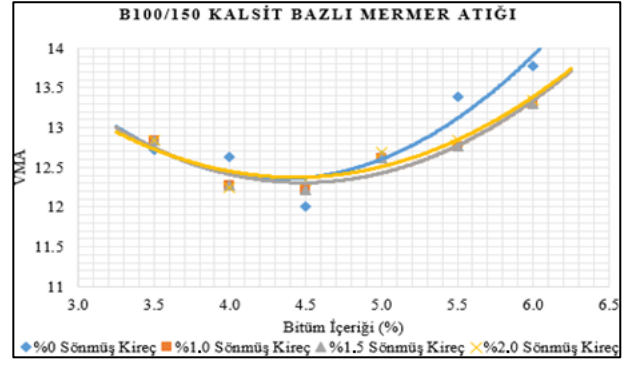
Şekil 9. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait akma-bitüm içeriği sonuçları



Şekil 10. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkı örneklerine ait VFA-bitüm içeriği sonuçları



**Şekil 11.** Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkılı örnekler için Hava Boşluğu–bitüm içeriği sonuçları



**Şekil 12.** Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkılı örnekler için VMA–bitüm içeriği sonuçları

**Tablo 5.** Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısına ait optimum bitüm içerikleri

Bitüm	Agrega	Katkı	Katkı İçeriği (%)	Optimum Bitüm İçerikleri
B100/150	Kalker	Sönmüş Kireç	0	4.37
			1.0	4.57
			1.5	4.62
			2.0	4.67
	Kalsit Bazlı Mermer Atığı	Sönmüş Kireç	0	4.22
			1.0	4.25
			1.5	4.30
			2.0	4.35

Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısı için optimum bitüm içerikleri Tablo 5’de verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, B100/150 sınıfına ait bitümlü malzeme ile hazırlanan karışım örnekleri için karışıma sönmüş kireç ilavesi ile birlikte optimum bitüm içeriklerinde (OBC) de artış olduğu gözlemlenmektedir.

Farklı oranlarda sönmüş kireç katkısı için optimum bitüm içerikleri tespit edildikten sonra, Marshall stabilite ve akma parametreleri üzerine numunelere sönmüş kireç ilavesinin etkisi belirlenmiştir. Farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısı ile uygulanan Marshall stabilite ve akma deneyine ait sonuçlar Tablo 6’de verilmiştir.

**Tablo 6.** Farklı oranlardaki Sönmüş Kireç katkısı ile hazırlanan Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları

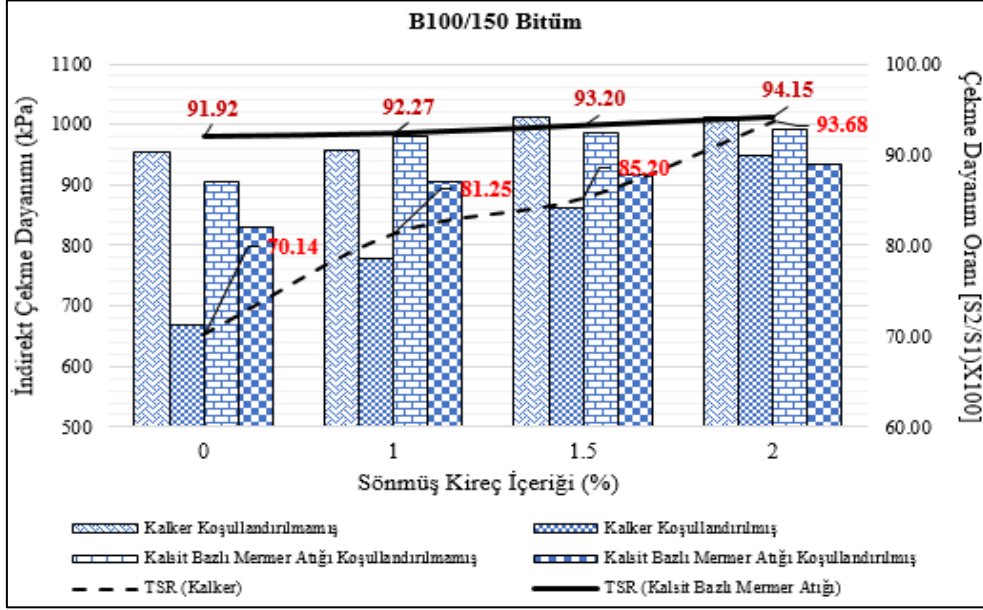
Bitüm	Agrega	Katkı	Katkı İçeriği (%)	Düzeltilmiş Stabilite (kgf)	Akma (mm)
B100/150	Kalker	Sönmüş Kireç	0	1472	4.2
			1.0	1521	4.5
			1.5	1623	4.7
			2.0	1843	4.8
	Kalsit Bazlı Mermer Atığı	Sönmüş Kireç	0	1951	3.6
			1.0	2150	4.2
			1.5	2180	3.4
			2.0	2223	3.8

Tablo 6’den de anlaşılacağı üzere, farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısı ile hazırlanan bitümlü karışım örnekleri, saf bitüm içeren örnekler ile karşılaştırıldığında stabilite değerlerinin arttığı görülmektedir. Farklı

oranlardaki sönmüş kireç katkı içerikleri için, Marshall stabilite değerleri KTS’ye uygun olduğu belirlenmiştir. Maksimum stabilite değerlerine %2.0 sönmüş kireç içeriklerinde ulaşılmıştır. Tablo 6 akma değerleri bakımından

incelendiğinde, farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısı ile hazırlanan kalker agregasına ait değerlerin katkı içeriği arttıkça az miktarda da olsa arttığı görülmektedir. Kalsit agregasının ise %1.0 sönmüş kireç katkı içeriği için şartname üst sınırı olan 4.0 mm seviyesini bir miktar aştığı görülmektedir.

Çalışmada gerek kalker gerekse kalsit bazlı mermer atıkları ile hazırlanan bitümlü karışımların suya bağlı bozulmalara karşı direnci üzerine de değerlendirmeler yapılmış, Şekil 13 'de çalışma kapsamında kullanılan farklı oranlardaki sönmüş kireç katkısı için belirlenen optimum bitüm içerikleriyle hazırlanan bitümlü sıcak karışım örneklerine ait ITS ve çekme dayanım oranı (TSR) sonuçları verilmiştir.



Şekil 13. İndirekt çekme gerilmesi ve çekme dayanım oranına ait deney sonuçları

Şekil 13 incelendiğinde, gerek kalsit gerekse kalker agregası ile hazırlanan bitümlü karışım örnekleri için farklı oranlardaki sönmüş kireç içerikleri İndirekt Çekme Dayanım değerlerinde, saf bitüm ile hazırlanan örneklere göre artış sağladığı belirlenmiştir. Koşullandırılmış kalker agregası ile hazırlanan bitümlü karışım örnekleri için, sönmüş kireç içeriği arttıkça, ITS değerlerinin de arttığı görülmüştür. %1.5 sönmüş kireç içeriğinden sonraki içerikte hazırlanan örneklerde ise ITS değerlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Kalker agregası ile hazırlanan “koşullandırılmış” bitümlü karışım örneklerinde ise bitüme sönmüş kireç ilavesi ile ITS değerlerinde önemli ölçüde artış tespit edilmiştir. Elde edilenlere göre, koşullandırılmış numuneler için bitüme sönmüş kireç ilavesi, karışımın çekme dayanımını direkt olarak arttırmaktadır. Kalsit bazlı mermer atığı agregası ile hazırlanan bitümlü karışım numuneleri Şekil 13'teki değerler dikkate alınarak incelendiğinde, koşullandırılmamış örnekler için sönmüş kireç katkı içeriği arttıkça ITS değerlerinde de artış yaşandığı belirlenmiştir. Aynı çeşit agrega atığı ile

hazırlanarak koşullandırılmış bitümlü karışım örneklerine sönmüş kireç katkısının eklenmesi ile birlikte ITS değerlerinde %1.0 katkı içeriğinden itibaren doğrusal (lineer) sayılabilecek bir artış yaşanmıştır. Yine Şekil 13 incelendiğinde, gerek kalker agregası gerekse kalsit bazlı mermer atığı ile hazırlanan bitümlü karışımlar için sönmüş kireç katkısı içeriği arttıkça TSR değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bahsi geçen bu artış, kalker agregası ile hazırlanan bitümlü karışım örnekleri için çok daha belirgin, kalsit bazlı mermer atığı ile hazırlanan örnekler için daha az bir oran olarak gerçekleşmiştir. Şekil 13 karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı dirençlerini ifade eden TSR bakımından incelendiğinde, sönmüş kireç katkı içeriklerine ait TSR oranının saf bitüme ait TSR oranından yüksek değerler aldığı görülmektedir. Her iki grup agrega ile hazırlanan bitümlü karışımlara ait TSR sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, karışıma soyulma önleyici katkı olarak sönmüş kireç ilavesinin kalker ile hazırlanan bitüm karışımlarda neme karşı hassasiyet verilerini kalsit bazlı mermer atığı örneklerine göre çok daha önemli ölçüde

etkilediği görülmektedir. Bunun nedeni olarak, sönmüş kirecin karboksilik asitlerle etkileşime girmesi ile agrega yüzeyinde çözünmeyen tuzlar oluşturmak suretiyle bitüm ile agrega arasındaki adezyonu arttırması olduğu söylenebilir (Petersen vd.,1987; Hicks, 1991). Bununla birlikte, en yüksek TSR değerine, %2.0 sönmüş kireç içeriğinde ulaşıldığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Çalışmada, kullanılan B100/150 sınıfına ait bitümlü malzemeye ilişkin geleneksel bitüm deneyleri yapılmıştır. Buna göre, elde edilen sonuçların KTS'de yer alan limitler içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bitümlü bağlayıcıların kısa süreli yaşlanma etkilerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem olan Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) uygulanmıştır. Yaşlandırma işleminden sonra bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinin arttığı, penetrasyon verilerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Burada meydana gelen kütle kaybı, bitümün sertleşmesine neden olmakla birlikte, bitümlü sıcak karışımların durabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Uygulanan Marshall stabilite ve akma deneylerinden yola çıkarak, karışıma farklı oranlardaki sönmüş kireç ilavesinin asfalt betonu örneklerine ait stabilite değerlerinde olumlu yönde bir etki yarattığı anlaşılmıştır. Ayrıca, deformasyon özelliklerini yansıtan parametrelerden biri olan akma deneyi sonuçlarına göre, kalker agregası ile hazırlanan bitümlü karışımlara artan oranda sönmüş kireç ilavesi ile örneklerin olumsuz etkilendiği, kalsit bazlı mermer agregası ile hazırlanan örneklerin ise şartname limitleri olan 2-4 mm arasında kaldığı belirlenmiştir. Sönmüş kireç içeriği arttıkça Marshall stabilite ve akma değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Kalsit bazlı mermer atığı ile benzer kimyasal özelliklere sahip sönmüş kirecin yüksek katkı oranları ile kullanımının, karışımda yer alan filler oranını arttırarak bitümlü karışım örneklerinde sertleşmeye neden olduğu ve stabilite değerlerini arttırdığı anlaşılmaktadır. Benzer bir düşünce ile bitümlü karışımlara artan oranda sönmüş kireç ilavesinin, kaplamanın elastik özellikleri hakkında değerlendirme yapma imkanı tanıyan akma parametresi için de aynı doğrultuda bir sonuç vermesi beklenirken, önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere karışıma sönmüş kireç ilavesinin karışımın optimum bitüm içeriğini (OBC) arttırmasından dolayı akma değerlerinde bir azalma görülmemiş, tersine oldukça az miktarda da olsa bir artış yaşanmıştır.

AASHTO T 283 Modifiye Lottman deneyi ile elde edilen veriler ışığında yapılan suya karşı duyarlılık analizleri, kalsit bazlı mermer atığı agregası ile hazırlanan bitümlü karışımların, kalker agregası ile hazırlanan karışım örneklerine göre neme karşı hassasiyetlerinin daha az olduğunu göstermiştir. %2.0 sönmüş kireç katkı içeriği ile hazırlanan bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı en yüksek değeri verdiği belirlenmiştir. Bu durumun, kalsit bazlı mermer atığı agregasının yüksek orandaki kalsiyum karbonat içeriği sayesinde bazik olduğu ve asfalt bağlayıcının ise asidik yapıda olmasıyla birlikte bir bağ oluşturarak, çekme dayanım oranını arttırdığı düşünülmektedir. Sönmüş kireç katkısının performans ve çevresel faktörler bakımından bitümlü sıcak karışımlara olumlu yönde etkisinin olduğu söylenebilir. Bu çalışma kapsamında agregalar ve bitümlü sıcak karışımlar üzerine yapılan deneyler sonucunda kalsit bazlı mermer atığı agregasının şartname değerlerini sağladığı, orta ve düşük hacimli trafik akışına sahip yollarda kalker agregasına alternatif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

#### Teşekkür:

Bu çalışma Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017/022 proje numarası ile desteklenmiştir. Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi'ne, deneysel çalışmalarımızda kullanılmak üzere kalsit bazlı mermer agregasını tarafımıza temin eden Ermaş Madencilik San.Tur.Tic.A.Ş.'ye, bitümlü malzeme ve kalker agregasının temini için Karayolları Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü 26. Şube Şefliğine desteğinden ötürü teşekkür ederim.

#### Kaynaklar

- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2003. The Environmental Effects of Waste Marble and Possibilities of Utilization and Waste Minimization by Using in the Road Layers. Proceeding of the Fourth National Marble Symposium, 371-378 pp.
- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregası Olarak Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 261, 3943-3960.
- Ameri, M., Vamegh, M., Naeni, S.F.C. ve Molayem, M., 2018. Moisture Susceptibility Evaluation of Asphalt Mixtures Containin Evonik, Zycoterm and Hydrated Lime. Construction and Building Materials, 165, 958-965.

- Aravind, K. ve Das, A. 2004. Industrial Waste in Highway Construction, Pebbles. 1st issue, Society of Civil Engineers, IIT Kanpur.
- Epps, J., Berger, E. ve Anagnos, J., 2003. Treatments, Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements-A National Seminar, Transportation Research Board, San Diego, California.
- Görkem, İ.Ç., 2014. Orta Sıcaklıktaki Asfalt Karışımlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 177s.
- Hamed, H. ve Tahami, S.A., 2018. The Effect of Using Anti-Stripping Additives on Moisture Damage of Hot Mix Asphalt. International Journal of Adhesion and Adhesives, 81, 90-97.
- Hicks, R.G., 1991. NCHRP Synthesis of Highway Practice 175: Moisture Damage in Asphalt Concrete. Washington (DC): Transportation Research Board, National Research Council.
- Karasaşın, M. ve Terzi, S., 2007. Evaluation of Marble Waste Dust in the Mixture of Asphaltic Concrete, Construction & Building Materials, 21, 617-620.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi 2013, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Basım Evi, Ankara, 431s.
- Önal, A.M. ve Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Basım Evi, Ankara, 156s.
- Petersen, J.C., Plancher, H. ve Harnsbergen, P.M., 1987. Lime Treatment of Asphalt to Reduce Age Hardening and Improve Flow Properties. In: Proceedings, AAPT, vol. 56.
- Şengöz, B. ve Görkem, C., 2009. Predicting Stripping and Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime. Construction & Building Materials, 23 (6), 2227-2236.

## Ti45Nb Alaşımının Aşınma Davranışına Anodizasyon Potansiyelinin Etkisi

### *The Effect of Anodization Potential on Wear Behaviour of Ti45Nb Alloy*

Muharrem TAŞDEMİR<sup>\*1,a</sup>, Fatih ŞENASLAN<sup>1,b</sup>, Ayhan ÇELİK<sup>2,c</sup>

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

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25100, Erzurum

• Geliş tarihi/Received: 24.05.2019

• Düzeltilek geliş tarihi/Received in revised form: 20.01.2020

• Kabul tarihi/Accepted: 11.02.2020

#### Öz

Titanyum ve alaşımları düşük yoğunluk yüksek dayanım oranı, mükemmel biyouyumluluk ve iyi korozif özelliklerinden dolayı endüstriyel birçok alanda kullanılmaktadır. Fakat titanyum ve alaşımları zayıf yüzey özelliklerine sahiptir. Titanyum ve alaşımlarına aşınma direnci ve malzemenin kullanım süresini artırmak amacıyla çeşitli yüzey işlemleri uygulanır. Bu çalışmada, Ti45Nb alaşımının yüzeyinde farklı anodizasyon şartları altında oksit film tabakası oluşturulmuştur. Titanyumun yüzeyinde oluşan oksit film kalınlığının ve sertliğinin kuru aşınma şartları altında etkisi araştırılmıştır. Numunelerin oksit film katmanının faz yapısı XRD, yapısal özellikleri ve kesit görüntüsü SEM ile incelenmiştir. Ayrıca numunelerin yüzey sertliği ise mikro sertlik cihazıyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Ti45Nb yüzeyinde anodizasyon potansiyelinin artmasıyla oksit film kalınlığının ve sertliğinin arttığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak anodize edilmiş Ti45Nb alaşımının aşınma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca anodizasyon potansiyelinin artmasıyla malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve porozitesi artmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Anodizasyon, Aşınma, Niyobyum, Titanyum, Ti45Nb

#### Abstract

Titanium and its alloys are used in many industrial fields because of their low density-high strength ratio, excellent biocompatibility and good corrosion properties. Nevertheless, titanium and its alloys have poor surface properties. Titanium and its alloys are applied various surface treatments for increasing wear resistance and service life. In this study, the oxide layer was formed under different anodization conditions on the surface of Ti45Nb alloy. The effects of thickness and hardness of oxide layer was investigated under dry wear conditions. The TiO<sub>2</sub> phase form of samples was obtained by XRD. Structural properties and cross-section view of samples examined with SEM. Also, the surface hardness of samples was measured by micro hardness. In conclusion, the thickness and hardness of oxide layer increased within increasing anodization potential on Ti45Nb surface. Accordingly, it was determined that wear resistance of anodized Ti45Nb alloy improved. In addition, the surface roughness and porosity of the material increased with increasing anodization potential.

**Keywords:** Anodizing, Wear, Niobium, Titanium, Ti45Nb

\*aMuharrem TAŞDEMİR; mtasdemir1620@gmail.com, Tel (0456) 2331000 (dahili: 1615), orcid.org/0000-0003-3291-108X

<sup>b</sup>orcid.org/0000-0003-0498-6332

<sup>c</sup>orcid.org/0000-0002-8096-0794

## 1. Giriş

Titanyum ve alaşımlarının başta havacılık ve uzay sanayi olmak üzere otomotiv, denizcilik, kimya endüstrisi ve biyomedikal alanlarda sergilediği yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direnci ve iyi biyouyumluluk özelliklerinden dolayı kullanımı giderek artmaktadır (Bloyce, 1998, Habazaki, 2007). Titanyum ve alaşımlarının kimyasal kompozisyonunu, mekanik ve biyouyumluluk özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli elementler katılmaktadır. Son yıllarda ticari titanyuma, niyobyum (Nb) elementi katılmasıyla  $\beta$  titanyum alaşımları geliştirilmiştir.  $\beta$  titanyum alaşımları çok geniş kullanım alanına sahiptir (Godley, 2006). Bunlardan biri karşılıklı iki parçanın temasta olduğu kuru kayma şartını sağlayan triboloji alanıdır. Kuru kayma şartları aşınma oranı açısından en kötü aşınma durumudur. Titanyum alaşımlarının kuru kayma şartlarında yükün etkisiyle aşınma oranı önemli derecede artış göstermektedir (Zhao, 2018). Titanyumun zayıf tribolojik özellikleri literatürde iki temel faktör ile ifade edilmiştir. Birincisi adhezif ve abrazif tabakalı aşınma, ikincisi ise oksidatif aşınmadır. Yüzeydeki oksit tabakası yükün etkisiyle parçalanması ya da dökülmesi sonucu aşınmaya karşı yüzey altını koruyamamaktadır. Ayrıca atmosferden gelen çözünmüş oksijen, yapıyı gevrekleştirerek titanyumun aşınma dayanımını düşürmektedir (Hacisalioglu, 2017).

Titanyum ve alaşımlarının aşınma direncini ve kullanım süresini artırmak amacıyla çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Titanyum ve alaşımlarına uygulanan başlıca yüzey işlemleri; anodizasyon, oksijen difüzyon, iyon implantasyon, termal oksidasyon, fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme ve sol gel yöntemleri olarak sıralanabilir (Krishna, 2007; Minagar, 2012). Titanyuma uygulanan yüzey işlemlerinde en sık tercih edilen yöntem oksidasyon temelli yüzey işlemleridir. Taban malzeme titanyum esaslı olduğundan dolayı yüzeyde oluşan yapı  $TiO_2$  'dir.  $TiO_2$  fotokataliz, güneş hücreleri, gaz sensörleri, biyomedikal ve optik araçlarda kullanılır (Macak, 2007). Yüzey oksidasyon yöntemlerinden termal oksidasyon, anodizasyon, mikro ark oksidasyon, plazma elektrolit oksidasyon ile titanyumun yüzey özelliklerinin geliştirildiği çalışmalar literatürde yer almaktadır (Dong, 2000; Yetim, 2010; Çelik, 2014; Alsaran, 2011; Yavari, 2016). Bu yöntemler içerisinde kurulumunun kolay, üretim maliyetinin uygun olması ve düşük çalışma sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi gibi avantajları nedeniyle

anodizasyon işlemi bir adım öne çıkmaktadır (Dong, 2010). Titanyum anodizasyonunun önemli bir diğer teknolojik avantajı ise havacılık endüstrisinde adhezyon ve bağlanmayı geliştirmesidir. Anodizasyon işlemi parametrelerinin değiştirilmesiyle titanyumun yüzeyindeki oksit tabakasının formu ve kalınlığı kontrol edilebilmektedir (Liu, 2004). Elektrolit konsantrasyonu ve sıcaklığı, uygulanan akım yoğunluğu ve voltajı, karıştırma hızı, anot ve katot yüzey oranları malzemenin yüzeyindeki oksit tabakasının formu ve kalınlığını önemli ölçüde etkilemektedir (Kuromoto, 2007). Titanyum atmosfere bırakıldığında yüzeyinde 3-8 nm kalınlığında doğal oksit tabakası oluşmaktadır (Jang, 2009). Anodik oksidasyonda ise atmosferde doğal olarak oluşan oksit tabakasından daha yoğun ve kalın bir oksit tabakasının elde edilmesini imkân sağlamaktadır (Liu, 2004).  $Ti45Nb$  alaşımının yüksek basınç torsiyonu ve aşırı plastik deformasyon ile mekanik dayanımın artırıldığı ayrıca anodizasyon prosesi ile yüzey özelliklerinin geliştirildiği çalışmalar literatürde mevcuttur (Völker, 2017; Panigrahi, 2016; Zorn, 2006). Fakat anodizasyon işleminin kuru aşınma şartlarına etkisi ile ilgili çalışma literatürde bulunmamaktadır.

Bu çalışmada;  $Ti45Nb$ 'un zayıf olan yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla anodizasyon işlemi uygulanmıştır.  $Ti45Nb$ 'un yüzeyinde oluşan oksit film yapısının tribolojik özelliklere etkisi kuru aşınma şartları altında incelenmiştir.

## 2. Materyel ve Yöntem

### 2.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada taban malzeme olarak  $14 \times 14 \times 3$  mm<sup>3</sup> ebatlarında  $Ti45Nb$  (Grade 36) prizmatik numuneler kullanılmıştır.  $Ti45Nb$  (Grade 36)'ın kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Numune yüzeyleri 400-2000 grit aralığında aşamalı olarak Silisyum karbür (SiC) zımparalar kullanılarak parlatılmış ve ardından etanol ile yıkanarak kurutulmuştur. Anodizasyon işlemi 550 Watt 50~60 Hz doğru akıma sahip güç kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında 1.5 M  $H_2SO_4$  (safılığı %96) çözeltisi içerisinde 125V, 175V, 225V sabit potansiyelde 10 dakika boyunca sürekli karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama prosesinde katot olarak paslanmaz çelik, anot olarak  $Ti45Nb$  numunesi kullanılmıştır. 125V, 175V, 225V gerilim değerinde yapılan anodizasyon işleminde numuneler sırasıyla A-125, A-175, A-225 olarak adlandırılmıştır. Numunelerin Vickers sertlik deneyi 980.7 mN



yük altında yapılmıştır. İşlemsiz ve anodize edilmiş numunelerin aşınma deneyi Turkeyus marka aşınma test cihazı kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney sistemine ait parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ti45Nb’ın kimyasal kompozisyonu

	Nb	Ti	Fe	O	C	Others
ASTM B-348	42.0-47.0	Balance	0.03(max)	0.16(max)	0.04(max)	0.04(max)
Ti45Nb	45.11	54.69	-	-	-	0.20

İşlemsiz ve anodik oksitleme işlemi yapılmış numunelerin faz analizleri XRD yardımı ile belirlenmiştir. XRD ölçümleri Cu-K $\alpha$  ışınımı ve 1.54060 Å dalga boyu kullanılarak 2 $\theta$ =20-90° tarama aralığında 2°/dk tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yüzey görüntüleri ve film kalınlığı SEM cihazı yardımı ile incelenmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda oluşan yüzeyler Zeiss marka optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Ayrıca aşınmış yüzeylerden 3D-profilometre yardımı ile aşınma hacmi elde edilmiştir. Aşınma hacmi hesaplanması Archard aşınma kanununa göre aşağıda verilen (1) no’lu formüle göre belirlenmiştir (Archard, 1980). Bu eşitlikte yer alan V hacim kaybını, W uygulanan yükü, L kayma yolunu, H malzemenin sertliğini ve k aşınma sabitini göstermektedir.

$$V = \frac{kWL}{H} \quad (1)$$

İşlemsiz ve anodize edilmiş numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri MarSurf PS1 yüzey pürüzlülüğü cihazıyla ölçülmüştür. Sürtünme katsayısı Coulomb sürtünme kanununa göre aşağıda verilen (2) no’lu formüle göre hesaplanmıştır. Denklemden;  $F_S$  sürtünme kuvveti,  $F_N$  deney yükünü,  $\mu$  sürtünme katsayısını tanımlamaktadır.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (2)$$

**Tablo 2.** Aşınma deney sistemine ait parametreler

Parametreler	Değerler
Deney yükü ve süresi	2N / 3000 s
Aşındırıcı tipi ve çapı	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / 6 mm
Hareket tipi	Doğrusal zıt yönlü
Aşınma genliği ve frekansı	7 mm / 1Hz
Mesafe	50.4 m

### 3.Bulgular

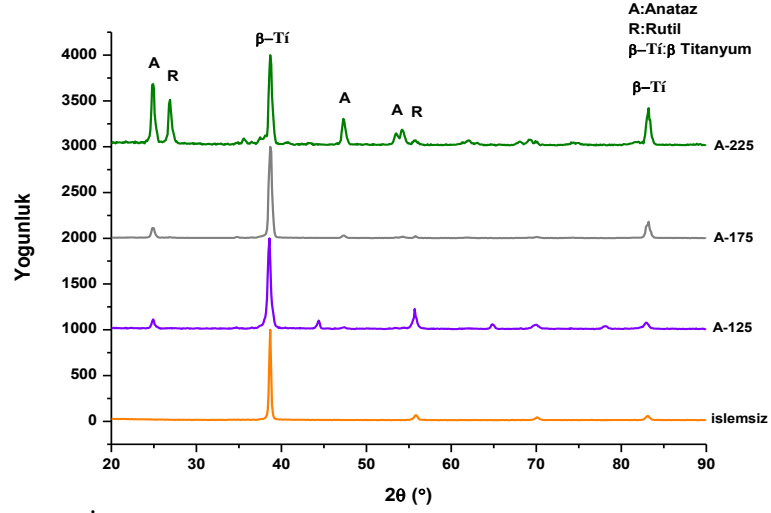
#### 3.1. Yapısal Özellikler

İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımının XRD sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Bütün numunelerde bağıl olarak en yüksek yansıma piki 2 $\theta$ =38°’de  $\beta$ -Ti’dir. A-125 ve A-175 numunesinde 2 $\theta$ =25°’de anataz titanyum oksit faz yapısı, A-225 numunesinde ise 2 $\theta$ =25°’de anataz titanyum oksit faz yapısıyla birlikte 2 $\theta$ =27°’de rutil titanyum oksit faz yapısı ortaya çıkmıştır. 2 $\theta$ =25°’de anataz fazının düzlemi (101) ve 2 $\theta$ =27°’deki rutil faz yapısının düzlemi (110) şeklindedir (Han, 2018). Düşük gerilim değerlerinde yapılan anodizasyon işlemi titanyum oksit yapısında anataz fazı hâkimken, yüksek gerilim değerlerinde rutil faz yapısı hâkimdir. Anodizasyon potansiyelinin artmasıyla titanyumun oksit yapısında rutil faz oranının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte; işlemsiz Ti45Nb alaşımının 2 $\theta$ =38°,56°,69°,83°’de  $\beta$ -Ti pikleri elde edilmiştir. Martins vd. (2010)’nin yapmış oldukları bir çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle ürettikleri Ti45Nb alaşımının işlemsiz numunelerinden alınan XRD sonuçlarındaki pikler ile yapmış olduğumuz çalışmadaki pikler birbirine uyumludur. Ayrıca, Zorn vd. (2006) 2 $\theta$ =47° ve 2 $\theta$ =53° anataz fazına ait piklerini ve 2 $\theta$ =69°  $\beta$ -Ti pikini tespit etmişlerdir.

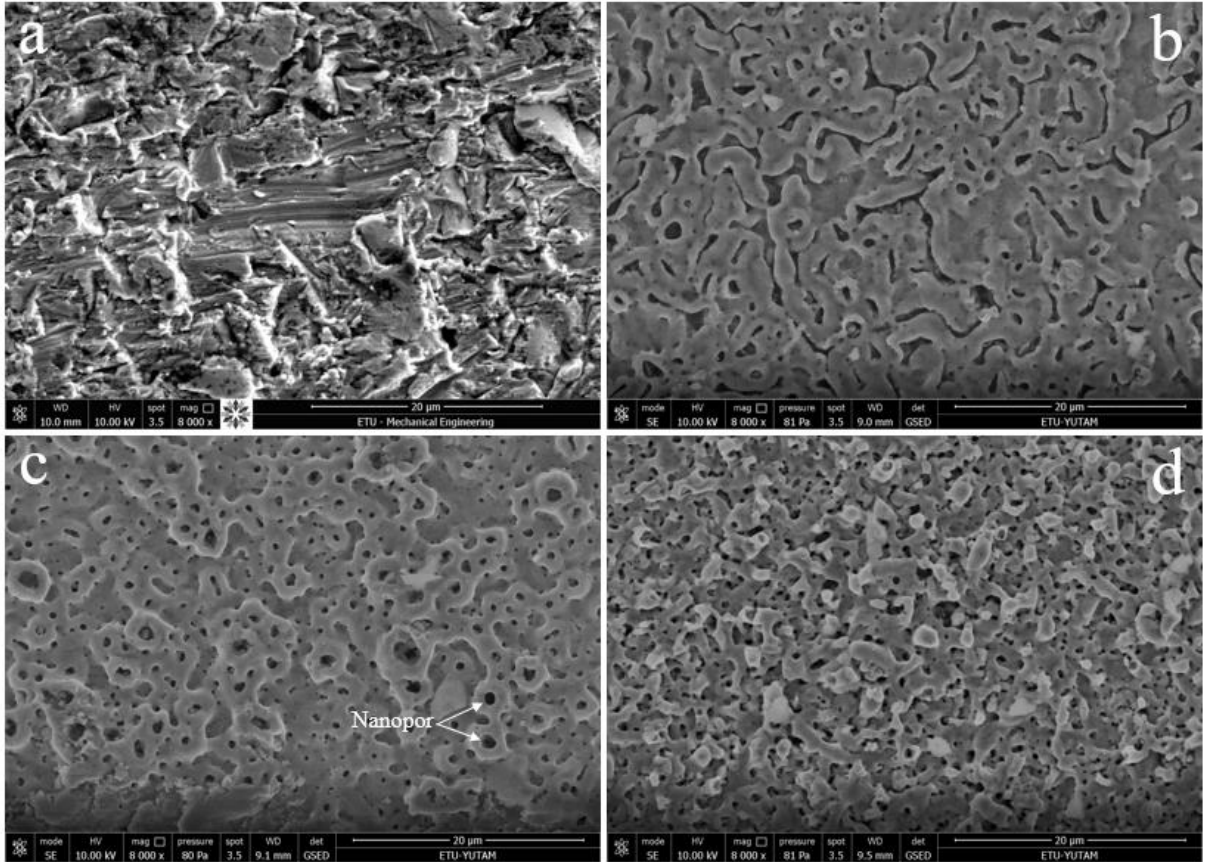
İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb numunelerin yüzey görüntüsü Şekil 2’de gösterilmektedir. Anodizasyon işlemi sonrasında numunelerin yüzeyinde homojen TiO<sub>2</sub> film katmanı elde edilmiştir. Anodizasyon potansiyelinin değişmesiyle malzemenin yüzeyinde farklı kalınlıklarda çeşitli oksit formları oluşmuştur. Bu durum uygulanan voltaj ve akım değerlerinin farkından kaynaklanmaktadır. Ayrıca artan anodizasyon geriliminin etkisiyle malzemenin yüzeyindeki kaplamanın rengi metalikten yeşilimsi renge dönüşmüştür. Nitekim Zorn vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada değişen gerilim değerlerinde malzemenin

yüzeyinde farklı renklerde oksit formların meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Şekil 2b'de A-125 prosesinde görüldüğü gibi malzeme yüzeyinde kanal şeklinde yapılar oluşmuştur. A-175 prosesinde kanal şeklindeki yapılar düzenli porlara dönüşerek tüm yüzeyi kaplamıştır. Anodizasyon potansiyelinin artmasıyla porların sayısı önemli miktarda artmıştır. Bu durum Şekil

2c'de açıkça görülmektedir. Nitekim TiNb alaşımlarında Nb içeriğinin artmasıyla nanoporların çapları ve uzunluğunun arttığı Jang tarafından gözlemlenmiştir (Jang, 2009). Anodizasyon potansiyelinin 225 V olmasıyla bu porlu yapılar yünsü yapıya dönüşmeye başlamıştır.



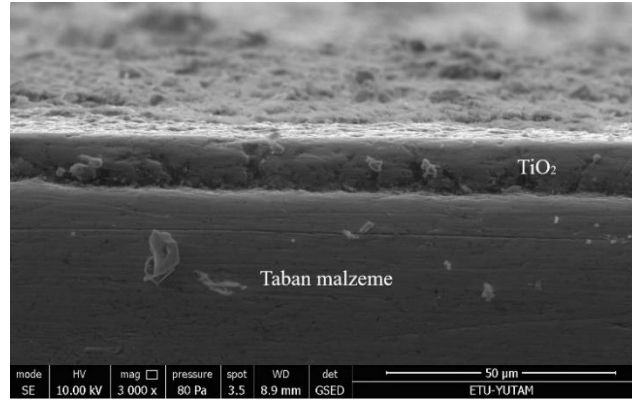
Şekil 1. İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımının XRD Grafiği



Şekil 2. İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımlarının yüzey görüntüleri a) işlemsiz b) A-125 c) A-175 d) A-225

Anodize edilmiş numunelerin kaplama kalınlığı kesit görüntülerinden belirlenmiştir. Bu bağlamda, 225 V gerilim değerinde anodize edilmiş Ti45Nb alaşımının kesit görüntüsünün SEM fotoğrafı Şekil 3’de verilmiştir. A-125 numunesinin kaplama kalınlığı  $1.5\pm 0.3$   $\mu\text{m}$ , A-175 numunesinin kaplama kalınlığı  $5\pm 0.5$   $\mu\text{m}$ , A-225 numunesinin kaplama kalınlığı  $11\pm 0.7$   $\mu\text{m}$ ’dir. Kesit görüntülerinden elde edilen sonuçlara göre anodizasyon potansiyelinin artmasıyla birlikte

titanyumun yüzeyindeki kaplama kalınlığının arttığı tespit edilmiştir. Bununla beraber anodizasyon potansiyelinin artması ile daha kısa sürelerde daha fazla kaplama kalınlığı elde edilebilir. Ancak hızla artan kaplama kalınlığı oluşan arkların etkisiyle homojen ve kararlı olamamaktadır. Bu durum filmin taban malzemeye yeterli adhezyon sağlayamamasına neden olabilir. Bu nedenler kaplama kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir.



Şekil 3. A-225 numunesinin kaplama kesit görüntüsünün SEM fotoğrafı

İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş numunelerin yüzey sertliği ve pürüzlülük değerleri Tablo 3’de gösterilmektedir. Bu tablodan anodizasyon işlemi görmüş numunelerin yüzey sertliği ve pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. En düşük yüzey sertliği ve pürüzlülük değeri sırasıyla  $220\pm 20$   $\text{HV}_{0.1}$  ve  $0.20\pm 0.1$   $\mu\text{m}$  ile işlemsiz Ti45Nb numunesinde elde edilmiştir. En yüksek yüzey sertliği ve pürüzlülük değeri ise sırasıyla  $845\pm 56$   $\text{HV}_{0.1}$  ve  $0.48\pm 0.1$   $\mu\text{m}$  ile A-225 numunesinden elde

edilmiştir. Anodizasyon işleminden sonra malzemenin yüzeyinde gerilimin etkisiyle oluşan ark numunelerin yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Zorn vd. (2005)’de yapmış olduğu çalışmada; Ti45Nb’un anodizasyon potansiyelinin artmasıyla malzemenin yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemişlerdir. Kim vd. (2013)’de yapmış olduğu çalışmada; anodizasyon yöntemi ticari titanyumun yüzey pürüzlülüğünü artırmada etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

**Tablo 3.** İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımlarının yüzey sertliği ve pürüzlülük değerleri

Malzeme	Ti45Nb	A-125	A-175	A-225
Yüzey Sertliği $\text{HV}_{0.1}$	$220\pm 20$	$323\pm 58$	$654\pm 49$	$845\pm 56$
Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	$0.20\pm 0.1$	$0.37\pm 0.1$	$0.44\pm 0.1$	$0.48\pm 0.1$

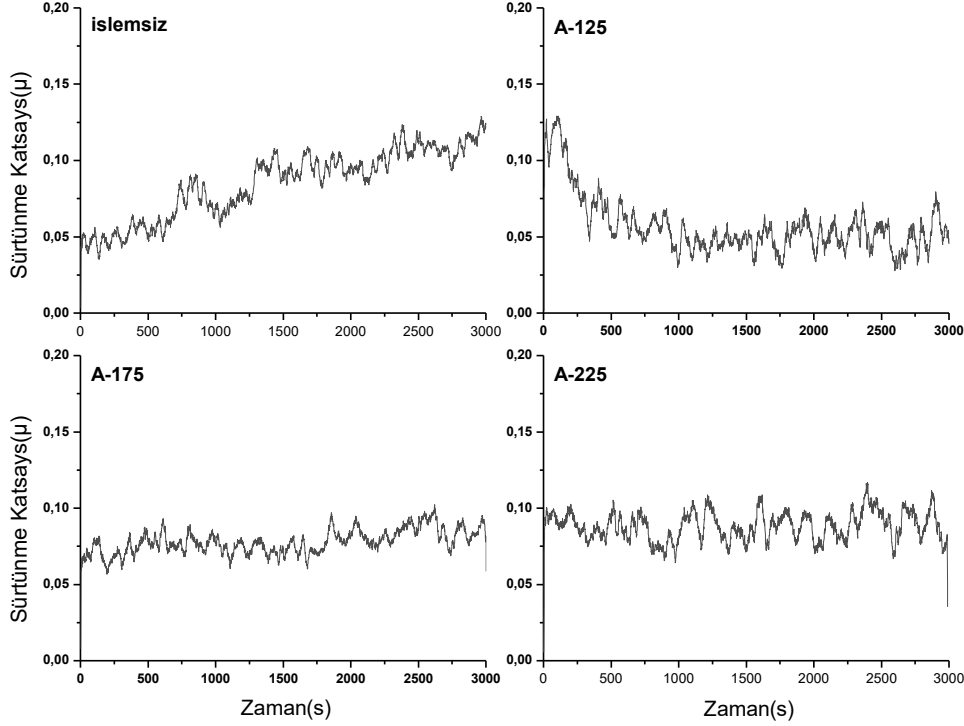
### 3.2. Tribolojik Özellikler

İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb numunelerin sürtünme katsayısı-zaman eğrisi grafikleri Şekil 4’de gösterilmiştir. İşlemsiz Ti45Nb numunenin sürtünme katsayısı-zaman grafiğinden, sürtünme katsayısı değerinin deney sonuna kadar artarak devam ettiği görülmektedir. İşlemsiz numunede sürtünme katsayısının sürekli artmasının sebebi; aşınma davranışına ve temas

yüzeylerinin durumuna dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, işlemsiz numunede adhezif aşınma sonucunda kazınan parçacıkların bir kısmının aşınma yüzeylerine yeniden birikmesi, kayma esnasında harekete karşı bir direnç oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle aşınma esnasında oluşan deformasyon ve adhezif birleşmenin dayanımı sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur. Ayrıca işlemsiz numunenin yüzey sertliğinin, anodize edilmiş

numunelerinkine göre daha düşük olması aşınma iz genişliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bu durum aşınma yüzeyleri arasındaki temas alanını artırdığından dolayı sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur. İşlemsiz numunenin adhezif etkisi Şekil 6a ve Şekil 6c'deki aşınma izlerinden görülmektedir. Şekil 4b'de A-125 numunesinde testin başlangıcında sürtünme

katsayısının artış eğilimi Hertz kontak basıncından kaynaklanmaktadır. A-175 ve A-225 numunelerin sürtünme katsayı değerleri kayma durma etkilerinden dolayı dalgalı seyir göstermiştir. En yüksek ortalama sürtünme katsayısı değeri düşük yüzey sertliğinden dolayı işlemsiz Ti45Nb alaşımında elde edilmiştir.



**Şekil 4.** İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımlarının sürtünme katsayısı grafikleri

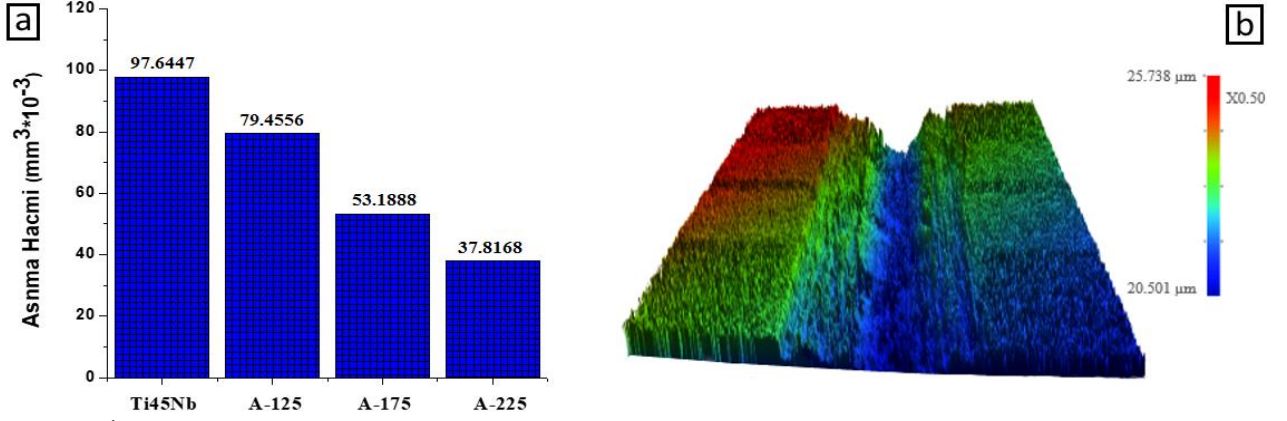
İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb numunelerin aşınma hacmi miktarları ve A-175 koşulunun 3D profilometre yüzey görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir. A-175 ve A-225 numunelerinin aşınma dayanımı işlemsiz alaşıma göre arttığı Şekil 5a'daki aşınma hacmi grafiğinde açıkça görülmektedir. Anodize edilmiş Ti45Nb alaşımlarının aşınma dayanımlarının artmasının sebebi yüzeyde bulunan anataz ve rutil titanyum oksit tabakasının yüzey sertliğini ve dayanımını artırmasından kaynaklanmaktadır. Ancak yapılan çalışmada A-125 koşulundaki Ti45Nb alaşımı işlemsiz numune gibi davranış göstermiştir. Bu durum koruyucu yüzey tabakası olan titanyum oksit tabakasının yetersiz film kalınlığından kaynaklanmıştır. Aynı zamanda aşınmanın erken safhalarında yüzeyden kazınan oksit tabakası bu duruma neden olmuştur. Şekil 5b'de A-175 koşulunun 3D profilometre yüzey görüntüsü verilmiştir. A-175 numunesinde aşınma bölgesinin ortasında yüzey gerilmelerinden dolayı

kaplamanın kalktığı, aşınma kenarlarında aşınma izlerinin azaldığı görülmektedir. Han vd. (2018)'de yapmış olduğu çalışmada; anodizasyon prosesi ile titanyum-vanadyum alaşımın aşınma dayanımının geliştirdiğini belirtmişlerdir.

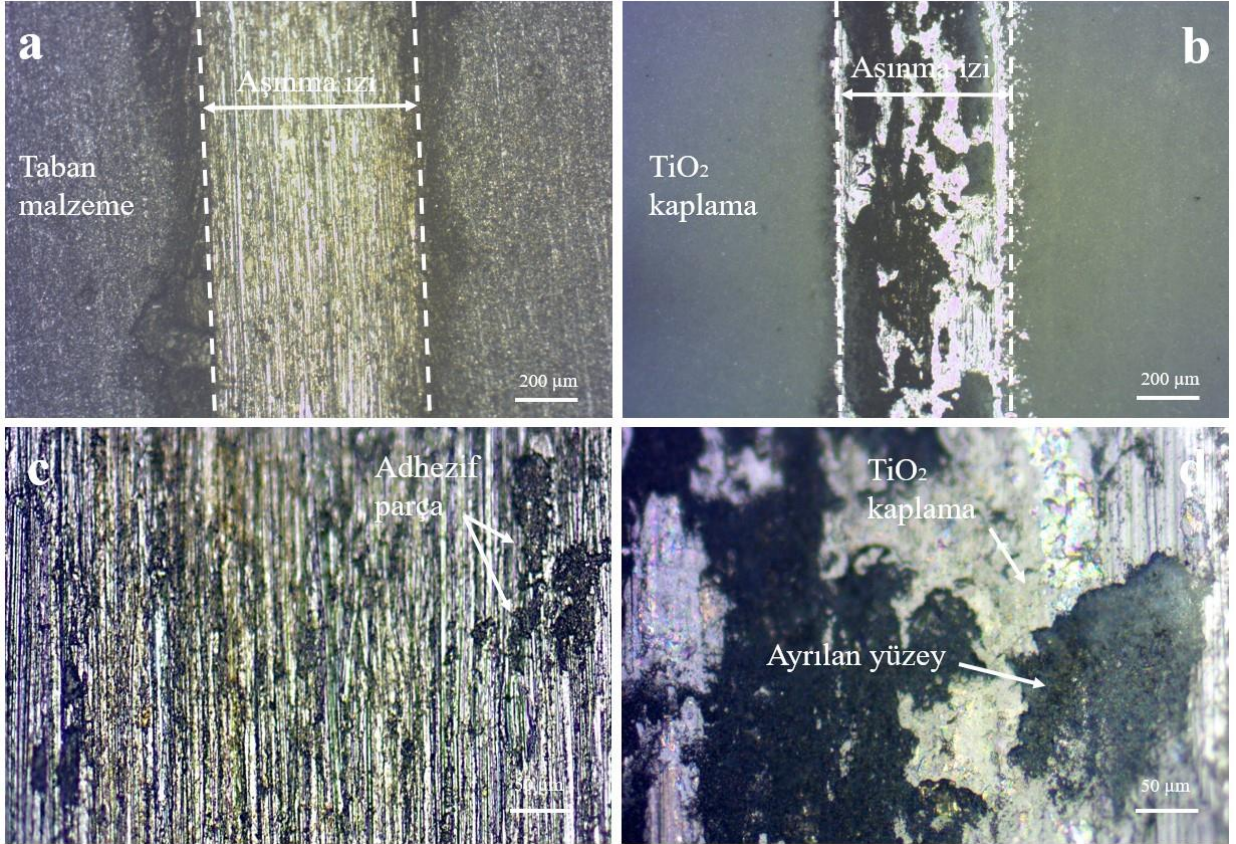
İşlemsiz ve A-225 koşulunda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımının aşınma sonrası genel ve detay yüzey görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6.a-b'de işlemsiz ve A-225 numunesinin aşınma izleri karşılaştırıldığında, A-225 numunesinin aşınma iz genişliği ve iz derinliği işlemsiz numuneye göre oldukça daralmış ve azalmış olduğu görülmektedir. Şekil 6c'de ise işlemsiz Ti45Nb numunesinin detay resminden aşınma mekanizmasının adhezif etkiyle kazıma şeklinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 6d'de A-225 numunesinde aşınma yükünün etkisiyle kaplama tabakasının malzeme yüzeyinden bölgesel koparak ayrıldığı görülmektedir. A-225 numunesinin aşınma testleri sonucunda, aşındırıcı

ucun taban malzemeye inemediği, kaplama tabakasının ise koruyucu etkisini kaybetmediği tespit edilmiştir. Anodize edilmiş numunelerin işlemsiz numuneye göre daha üstün aşınma direnci sergilemesi bunların işlemsiz numuneye göre daha yüksek yüzey sertliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Artan yüzey sertliği anodize edilmiş numunelerin plastik

deformasyona karşı dirençlerini artırarak temas alanının azalmasına dolayısıyla aşınma dirençlerinin artmasına neden olmuştur. Nitekim en yüksek yüzey sertliğine sahip olan A-225 numunesi aynı zamanda en düşük aşınma hacmine sahiptir. Diğer bir ifadeyle en iyi aşınma direnci A-225 numunesine aittir.



Şekil 5. İşlemsiz ve farklı şartlarda anodize edilmiş Ti45Nb alaşımlarının aşınma hacmi grafikleri ve b) A-175 koşulunun 3D profilometre yüzey görüntüsü



Şekil 6. Ti45Nb alaşımının aşınma sonrası yüzey görüntüleri a) işlemsiz b) A-225 c) işlemsiz detay resmi d) A-225 detay resmi

#### 4.Sonuçlar

Ti45Nb alaşımının aşınma davranışına anodizasyon potansiyelinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Anodizasyon potansiyelinin değiştirilmesiyle Ti45Nb alaşımının yüzeyinde titanyum oksit yapısının formu ve kalınlığı kontrol edilebilmektedir.
- Anodizasyon potansiyelinin artmasıyla Ti45Nb alaşımının yüzeyindeki titanyum oksit film tabakasının kalınlığı arttığı belirlenmiştir. En yüksek oksit film tabaka kalınlığı 11 µm ile A-225 numunesinde elde edilmiştir.
- Anodizasyon işlemi Ti45Nb alaşımının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı tespit edilmiştir.
- Anodizasyon potansiyelinin artmasıyla Ti45Nb alaşımının yüzey sertliği artmış; buna bağlı olarak da malzemenin aşınma dayanımı oldukça gelişmiştir.
- Anodize edilmiş numunelerin sürtünme katsayısı değerleri işlemsiz numuneye göre oldukça azaldığı belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

Alsaran, A., Purcek, G., Hacısalihoglu, I., Vangolu, Y., Bayrak, Ö., Karaman, I. ve Celik, A., 2011. Hydroxyapatite Production On Ultrafine-Grained Pure Titanium By Micro-Arc Oxidation And Hydrothermal Treatment. *Surface and Coatings Technology*, 205, 537-542.

Archard, J.F., 1980. *Wear Theory and Mechanisms*. New York, NY, ASME. New York, NY.

Bloyce, A., Qi, P. Y., Dong, H., ve Bell, T., 1998. Surface Modification Of Titanium Alloys For Combined Improvements In Corrosion And Wear Resistance. *Surface and Coatings Technology*, 107(2-3), 125-132.

Çelik, İ., Alsaran, A., ve Purcek, G., 2014. Effect Of Different Surface Oxidation Treatments On Structural, Mechanical And Tribological Properties Of Ultrafine-Grained Titanium. *Surface and Coatings Technology*, 258, 842-848.

Dong, H., 2010. *Surface Engineering of Light Alloys Aluminium, Magnesium, Titanium Alloys*, Woodhead Publishing Limited.

Dong, H. ve Bell, T., 2000. Enhanced Wear Resistance Of Titanium Surfaces By A New Thermal Oxidation Treatment. *Wear*, 238, 131-137.

Godley, R., Starosvetsky, D., ve Gotman, I., 2006. *Corrosion Behavior Of A Low Modulus B-Ti-*

45% Nb Alloy For Use In Medical Implants. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 17(1), 63-67.

- Habazaki, H., Onodera, T., Fushima, K., Konno, H., ve Toyotake, K., 2007. Spark Anodizing Of B-Ti Alloy For Wear-Resistant Coating. *Surface and Coatings Technology*, 201(21), 8730-8737.
- Hacısalioglu, I., Yıldız, F., Alsaran, A., ve Purcek, G., 2017, February. Wear Behavior Of The Plasma And Thermal Oxidized Ti-15Mo And Ti-6Al-4V Alloys. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 174, No. 1, p. 012055). IOP Publishing.
- Han, B., Zal Nezhad, E., Musharavati, F., Jaber, F., ve Bae, S., 2018. Tribo-Mechanical Properties And Corrosion Behavior Investigation of Anodized Ti-V Alloy. *Coatings*, 8(12), 459.
- Jang, S. H., Choe, H. C., Ko, Y. M., ve Brantley, W. A., 2009. Electrochemical Characteristics Of Nanotubes Formed On Ti-Nb Alloys. *Thin Solid Films*, 517(17), 5038-5043.
- Kim, K., Lee, B. A., Piao, X. H., Chung, H. J., ve Kim, Y. J., 2013. Surface Characteristics And Bioactivity Of An Anodized Titanium Surface. *Journal of periodontal & implant science*, 43(4), 198-205.
- Krishna, D.S.R. Brama, Y.L. ve Sun, Y., 2007. Thick Rutile Layer On Titanium For Tribological Applications. *Tribology International*, 40 (2), 329-334.
- Kuromoto, N. K., Simao, R. A. ve Soares, G. A., 2007. Titanium Oxide Films Produced On Commercially Pure Titanium By Anodic Oxidation With Different Voltages. *Materials Characterization*, 58(2), 114-121.
- Liu, X., Chu, P. K. ve Ding, C., 2004. Surface Modification Of Titanium, Titanium Alloys, And Related Materials For Biomedical Applications. *Materials Science & Engineering R-Reports*, 47, 49-121.
- Macak, J. M., Tsuchiya, H., Ghicov, A., Yasuda, K., Hahn, R., Bauer, S., ve Schmuki, P., 2007. TiO<sub>2</sub> Nanotubes: Self-Organized Electrochemical Formation, Properties And Applications. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 11(1-2), 3-18.
- Martins, G. V., Silva, C. R. M., Nunes, C. A., Trava-Airoldi, V. J., Borges, L. A., ve Machado, J. P. B., 2010. Beta Ti-45Nb and Ti-50Nb Alloys Produced By Powder Metallurgy For Aerospace Application. In *Materials Science Forum* (Vol. 660, pp. 405-409). Trans Tech Publications.

- Minagar, S., Berndt, C.C., Wang, J., Ivanova, E., ve Wen, C., 2012. A Review Of The Application Of Anodization For The Fabrication Of Nanotubes On Metal Implant Surfaces. *Acta Biomaterialia*, 8(8), 2875-2888.
- Panigrahi, A., Sulkowski, B., Waitz, T., Ozaltin, K., Chrominski, W., Pukenas, A., ... ve Zehetbauer, M., 2016. Mechanical Properties, Structural And Texture Evolution Of Biocompatible Ti-45Nb Alloy Processed By Severe Plastic Deformation. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 62, 93-105.
- Völker, B., Jäger, N., Calin, M., Zehetbauer, M., Eckert, J., ve Hohenwarter, A., 2017. Influence Of Testing Orientation On Mechanical Properties Of Ti45Nb Deformed By High Pressure Torsion. *Materials & Design*, 114, 40-46.
- Yavari, S. A., Necula, B. S., Fratila-Apachitei, L. E., Duszczyk, J., ve Apachitei, I., 2016. Biofunctional Surfaces By Plasma Electrolytic Oxidation On Titanium Biomedical Alloys. *Surface Engineering*, 32(6), 411-417.
- Yetim, A. F., 2010. Investigation Of Wear Behavior Of Titanium Oxide Films, Produced By Anodic Oxidation, On Commercially Pure Titanium In Vacuum Conditions. *Surface and Coatings Technology*, 205(6), 1757-1763.
- Zhao, X., Xue, G., ve Liu, Y., 2017. Dry Sliding Tribological Behavior of TC11 Titanium Alloy Subjected to the Ultrasonic Impacting and Rolling Process. *Metals*, 8(1), 13.
- Zorn, G., Gotman, I., Gutmanas, E. Y., Adadi, R., Salitra, G. ve Sukenik, C. N., 2005. Surface Modification of Ti45Nb Alloy with an Alkylphosphonic Acid Self Assembled Monolayer. *Chemistry of Materials*. 17, 4218-4226.
- Zorn, G., Lesman, A. ve Gotman, I., 2006. Oxide Formation On Low Modulus Ti45Nb Alloy By Anodic Versus Thermal Oxidation. *Surface & Coatings Technology*, 201, 612-618.

## Energy Management and Measurement of Computer Controlled Solar House Model for Rize City

*Rize İli için Bilgisayar Kontrollü Güneş Evi Modelinin Enerji Yönetimi ve Ölçümü*

**Mustafa Ergin ŞAHİN\***

*Department of Electrical and Electronics Engineering Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey*

• Geliş tarihi / Received: 25.03.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 26.10.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 11.02.2020

### Abstract

The Rize city of Turkey is located in the East Black Sea region and covered with forests and high mountains. The hilly terrain prevents the distribution of electricity to remote locations. Therefore, plateau living and tourism services are restricted to certain areas. Depend on, some mountain places still could not use electricity in the region and the requirements of renewable energy sources are increasing every past day. In this study, a solar house model that contains a solar cell panel was designed and supported with computer control. Also, necessary calculations were performed for the system enlarged to use in residential. Regional meteorological data were taken into account for these calculations. Also, the energy obtained from the photovoltaic panel and stored in the battery was measured. Visual Basic software was used to provide communication between the line printer (parallel port) and the solar house model device control unit for basic and special applications. The software supplies a management algorithm to use energy more efficiently. Measurements showed that the solar energy potential of Rize city is competitive in terms of system efficiency, applicability, and repeatability.

**Keywords:** Computer Control with a Parallel Port, Energy Storage, Energy Management and Measurement, Photovoltaic Solar House Model

### Öz

*Türkiye'nin Rize şehri, Doğu Karadeniz bölgesinde bulunmakta ve ormanlarla ve yüksek dağlarla kaplıdır. Engebeli arazi, elektriğin uzak yerlere dağıtımını önler. Bu nedenle plato yaşam ve turizm hizmetleri bazı alanlarla sınırlıdır. Buna bağlı olarak, bazı dağlık alanlar bölgede hala elektrik kullanamamaktadır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının gereksinimleri her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada güneş paneli içeren bir güneş evi modeli tasarlanmış ve bilgisayar kontrolü ile desteklenmiştir. İlave olarak sistemin gerçek bir evde kullanılması için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bölgesel meteorolojik verilerde bu hesaplama için dikkate alınmıştır. Yine güneş panelinden ve aküye depolanan enerji hesaplanmıştır. Visual Basic programı LPT paralel portu ile güneş evi modeli arasındaki haberleşmeyi sağlamak ve temel ve özel uygulamalar için kullanılır. Yazılım enerjisi daha verimli kullanmak için akıllı bir denetim algoritması sağlar. Ölçüm sonuçları Rize ilinin enerji potansiyelinin sistem verimi, uygulanabilirliği ve tekrarlanabilirliği yönünden uygun olduğunu göstermiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Paralel Port ile Bilgisayar Kontrolü, Enerji Depolama, Enerji Ölçümü ve Yönetimi, Fotovoltaik Güneş Evi Modeli

\*a Mustafa Ergin ŞAHİN; mustafaerginsahin@yahoo.com, Tel: (0462) 223 61 26 (dahili: 1147), orcid.org/0000-0002-5121-6173

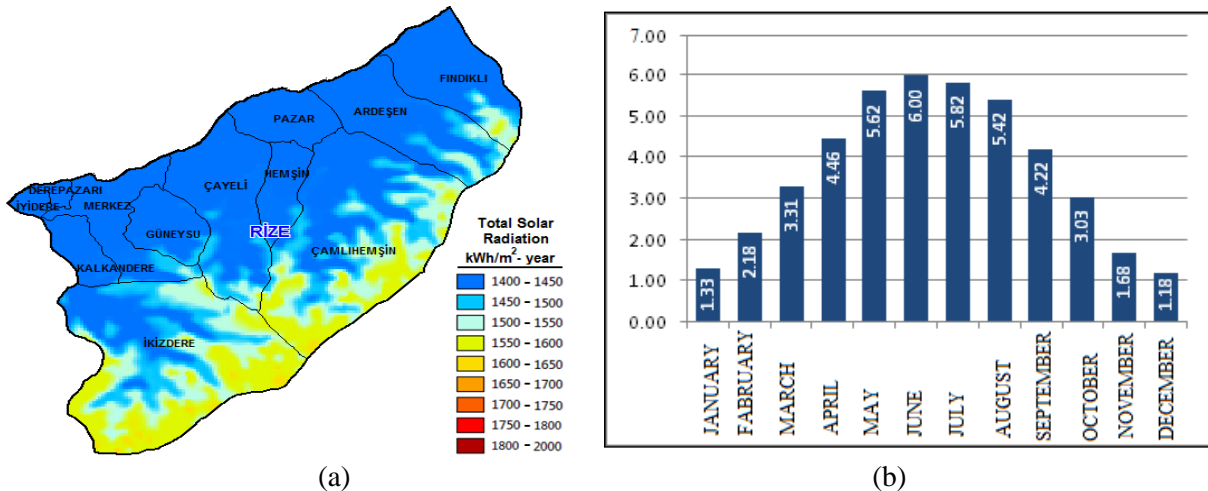


## 1. Introduction

Solar energy is one of the most widely used renewable energy sources wherever it is economical. The obtained energy from the solar cells heavily depends on the meteorological data and sun radiation. On the other hand, energy consumption depending on the loads is very important for the management of the system perfectly (Shakeri, 2018). A smart home demand-side management system is getting popular for the solar photovoltaic generation today (Baldauf, 2015). Also, while the world is going to industry 4.0, computers are inevitably included in energy management systems (Tohănean, 2018; Villa, 2018). Therefore, energy management with computer control, homes and grids are getting important in today.

Some attempts have been made in a few studies to assess the features of rural electrification and the feasibility of photovoltaic solar home systems in India and Egypt (Ahmad, 2002; Cucchiella, 2012). Also, in some studies analyses the photovoltaic solar energy capacity of residential

rooftops in Andalusia (Spain) and photovoltaic electricity production in a residential house on the island of Réunion (Franch) using the measured solar data (Ordóñez, 2010; Bojic, 2013). This study aims to investigate the feasibility of solar energy applications in a North-eastern city of Turkey, Rize. The total solar radiation and global solar radiation values were the consideration for Rize city. The total sun radiation map for the Rize city is shown in Figure 1 (a). This map shows that mountainous areas are sunnier than coastal areas. By the comparison of global sun energy values, it is seen that the summer months are approximately three times sunnier than the winter months as shown in Figure 1 (b). These values are very important to design a self-contained off-grid system. Also, they are necessary to calculate the solar power requirement for the designed system (Aksungur et al., 2013; URL-1, 2018). Therefore, this study will be supplied pre-information about the solar energy potential of the Rize city and will be a guide for the investors and researcher who will study similar matters.



**Figure 1.** (a) Total solar radiation (kWh/m<sup>2</sup>-year) map for Rize city, (b) Global solar radiation values (kWh/m<sup>2</sup>-day) (Aksungur et al., 2013; URL-1, 2018).

If compared to the Rize city with the other cities of Turkey in terms of sunshine duration and solar radiation value (kWh/m<sup>2</sup>.year) per year, average values show that the Rize city has the minimum values. These results are shown in Table 1 for comparison. On the other hand, there are no differences with other cities in the Black Sea region such as Trabzon and Samsun. This situation shows the lower solar energy value limit for Turkey. So it can be said that this system which for Rize city can be used all around the country easily (URL-1, 2018; URL-2, 2018).

The studies in the literature are searched and related studies are given in this section. One of the first studies is a patent in the US, which is a plan on the control of the house lightening system with a computer, but not includes a photovoltaic system and experimental part (Taylor, 1998). Another study is about planning the photovoltaic systems for houses in Japan without does not include an experimental part and computer controlling (Kuwano, 1998). The other study researched photovoltaic systems in residential houses in Malaysia past, present, and future

(Firduas, 2011). In addition, in some studies searched agent-based electrical power management for the photovoltaic system (Kanomori, 2011; Oden et al, 2018), and used some different photovoltaic applications, for example, water pumping and automatic irrigations system (Altaş, 1999; Thana et al., 2006; Senpınar, 2018; Şahin et al., 2018; Fıratoğlu, 2019;). Although the same idea or application is not found in literature so detailed, some specific studies on

real-time measurement about solar radiation are found (Guo, 2011; Lazzaroni et al., 2015; Öztürk et al., 2016; Senpınar, 2018). This paper is developed by the authors based on previous studies where only the theory and basic parts presented. (Şahin et al., 2010; Bingöl, 2012, Eroğlu, 2012). Although some similar commercial products can be found in the market for restricted applications, this study aims to expand the basic idea and investigate it more detailed.

**Table 1.** The sunshine duration and solar radiation values per year in some cities of turkey

Some Cities of Turkey	Adana	Ankara	Bursa	Kars	Kocaeli	Rize	Trabzon	Samsun	Van
Sunshine Duration (Hour/year)	2953	2611	2515	2537	2373	2124	2132	2314	3070
Solar Radiation Value (kWh/m <sup>2</sup> -year)	1564	1473	1393	1472	1329	1403	1394	1335	1652

On the other side battery, combined Photovoltaic house systems and their control and management are investigated in some studies. The merit of battery combined photovoltaic generation system for residential house, cooperative home energy management using batteries for a photovoltaic system considering the diversity of households is investigated in two studies (Iga, 2004; Iwafune, 2015). Fuzzy logic based economic analysis of photovoltaic energy management for a photovoltaic solar home is investigated (Ciabattoni, 2015; Chekired, 2017). Nonlinear predictive energy management of residential buildings with photovoltaics & batteries and stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array are proposed as a different study (Wu, 2016; Sun, 2016).

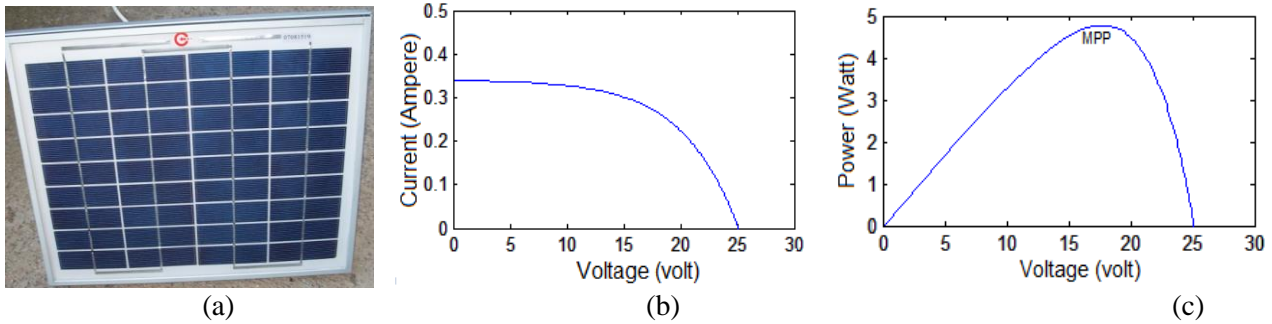
This paper aims to investigate the feasibility of solar energy applications in a North-eastern city of Turkey, Rize. The total solar radiation and global solar radiation values were the consideration for Rize city which is the rainier city of Turkey at the same time. For this aim designed and energy management and measurement of computer-controlled solar house model for Rize city. The photovoltaic panel characteristics, charge circuit design and battery selection, computer control, voltage measurement, and graphical user interface and general structure of the designed model system are given in material and methods. This material and methods are combined that rarely found the information's in literature and includes a lot of useful practical

design information to inspire the researchers and designers. The experimental results give some useful information about the residential PV-computer control design applications and Rize city energy potential measurement also.

## 2. Material Method

### 2.1. Photovoltaic Panel

In this study, a silicon monocrystal solar panel with a surface area of 800 cm<sup>2</sup> was used. This is an optic transparent structure solar panel in the infrared wave dimensions as seen in Figure 2 (a). The manufacturer and parameters of the solar panel are not known. So, as a result of voltage-current characteristics investigation, the fill factor was found as 0.81 from solar cells voltage-current curves. At this result, the panel output power for the system was measured approximately 5 Watt and efficiency was calculated as 11.7% (Fıratoğlu et al., 2009; Şahin et al., 2010). The solar panels open-circuit voltage  $V_{oc} = 25$  V and closed-circuit current  $I_{sc} = 330$  mA are measured for maximum efficiency. The photovoltaic panel current-voltage (I-V) and power-voltage (P-V) curves are shown in Figure 2 (b), (c) respectively. This photovoltaic panel consists of 36 pieces of series mono crystal cells to supply necessary voltage and low output current since it is not including parallel cells. This photovoltaic panel is suitable for charging 12 V batteries by working at 15-20 V maximum power point voltage with a simple charger (Chen et al., 2006; Şahin et al., 2016; Souleyman, 2016). The study and measurements are made in Rize/Turkey in May and September 2015.



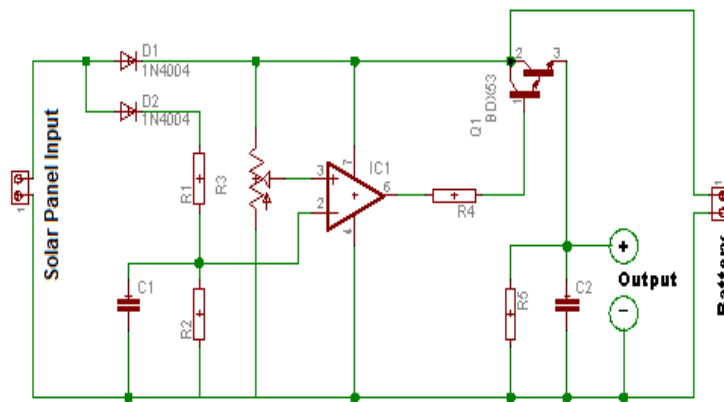
**Figure 2.** (a) The used solar panel, (b) I-V curve of this panel, (c) P-V curve of this panel.

**2.2. Charge Circuit Design and Battery Selection**

Because of the solar panels’ output voltage is 15-20 V for maximum powerpoint, a battery having 12 V nominal voltage is selected. Battery power and current value that is selected depending on solar panel I-V characteristic and the maximum power absorbed from the system. In this model 12 V and 1.3 Ah a battery was used and aimed to supply all energy of the system devices for three hours unceasingly. If the solar panel works full efficiency, the battery will be charged in four hours. According to solar radiation, this duration can be shorter or longer. To prevent these

problems, auxiliary batteries can be added to the system (Altaş, 2009).

A simple battery charger circuit is designed for charging and protecting the battery group. Two input diodes protect the solar panel in this circuit from reverse current. The difference circuit restricts the current absorbed from the battery by the transistor switching. The aim of this restriction is protecting the battery against the voltage drop under catalog limit values to be charged again. The designed battery charge circuit is shown in Figure 3.



**Figure 3.** Designed a battery charge circuit.

**2.3. The Computer Control of Solar House Model**

A parallel port connection was used for the computer control of the system. This parallel port connection (LPT) has 25 pin and pin specifications as shown in Figure 4 (a). The pins from 2 to 9 are data output pins. The pins from 10 to 13 and 15 are data input pins. 1, 14, 16, 17 number pins are for data input and output. The other pins from 18 to 25 are designed as ground pins (Kevin, 2000; Cora et al., 2008).

The designed interface in Visual Basic software using parallel port outputs drives the relays amplifying the signals. The circuit in Figure 4 (a) shows the computer controller circuit design to control five different devices. This circuit includes five equivalent circuits that isolate and amplifies the out pins signals to drive relays. The other connection port shows parallel port inputs and switching signals connection ports (Güçlü, 2007; Axelson, 2008). After completion of these circuit connections with the computer, devices are energized and the control with a computer is supplied

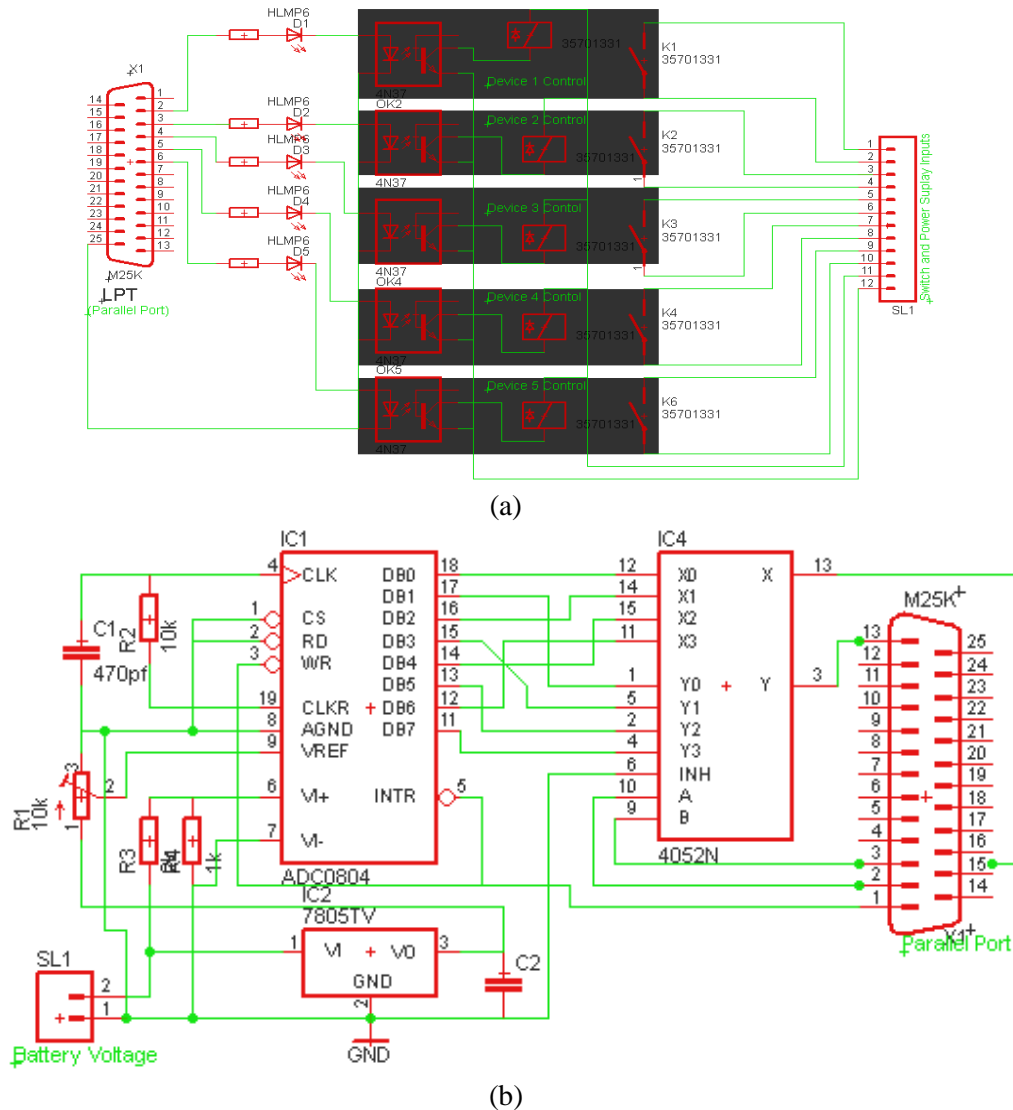


Figure 4. (a) Designed computer control circuit, (b) voltage measurement circuit for parallel port

**2.4. Voltage Measurement and Graphical User Interface**

The battery voltage level and State of Charge (SOC) give us information about the stored energy depending on the battery charge characteristic (Sharaf, 2017). To process this information need to communication between battery and computer. Although the battery voltage is measured as analog, the computer needs digital information to process. An Analog-Digital Converter (ADC) circuit is designed which includes additional components for this purpose. This ADC circuit is shown in Figure 4(b). The battery voltage is converted to digital information using an ADC0804 integrated circuit which has an 8-bit resolution and 100 msec. transform period (URL-3, 2018). The eight-bit information pins from the output of ADC are connected to 74HC4052 Multiplexer as a switching integrated circuit. This integrated circuit separates the 8 bit

ADC output information to two four-bit information (URL-4, 2018). The WR (pin 3) and INTR (pin 5) of ADC are combined and connected to parallel ports' control pin (pin 1). The X (pin 13) and Y (pin 3) of Multiplexer are connected to the parallel ports' status ports pins 13 and pins 15, respectively. A (pin 10) and B (pin 9) selective inputs of the multiplexer are connected to the parallel ports' data ports pins 2 and pins 3, respectively (Axelson, 2000; Güçlü, 2007; Eroğlu, 2013).

A graphical user interface is necessary to control these circuits and to show the measurement results by the computer. It is possible to find some different programs to solve this problem in the market. Microsoft Visual Basic software is used in this study because it is used commonly, accessed easily and has a database. It is necessary to locate the "inout32.dll" file in the "c:\windows\system" folder for the system connection with parallel port and control with Visual Basic software. After

these processes, it is necessary to write the codes opening a module page which will be used in software (Bredley et al., 2003). The codes can be written as given below for each input and output command;

```
Private Sub Command1_Click()
    address = &H378
    Out Val(address), 8
End Sub
Private Sub Command11_Click()
    read = Inp(&H378)
    Text1.Text = read
End Sub
```

The connection between the computer and the parallel port is ready after complete writing these codes is completed. Then, the system can be controlled by the software. The designed Visual Basic interface is shown in Figure 5 (a).

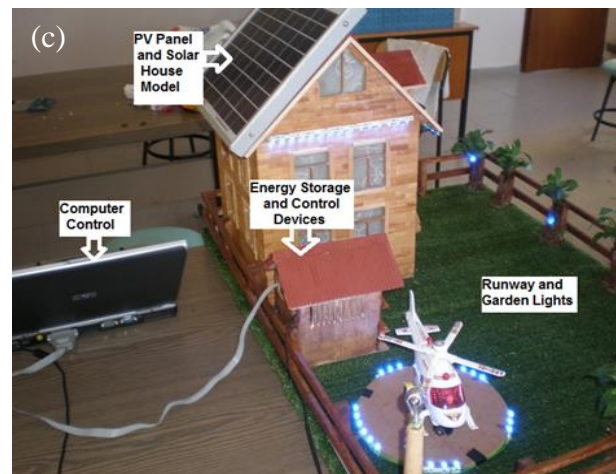
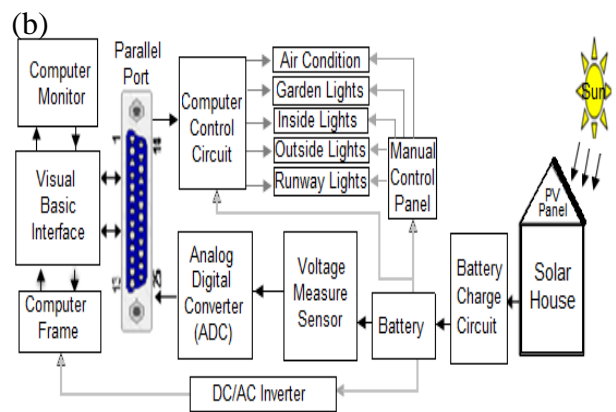
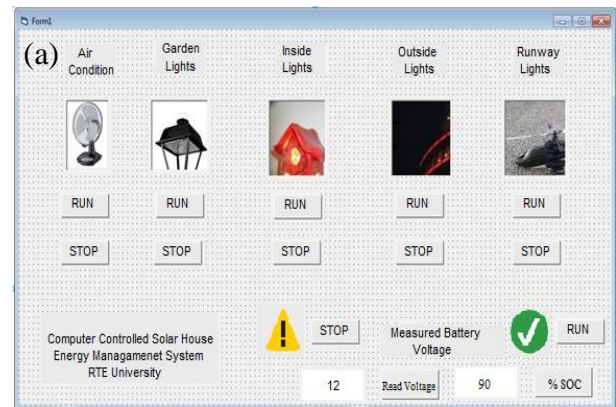
The computer-controlled house energy management system needs control of the interface, an algorithm which is given in Appendix 1 and needs to write the codes on the module page in the software. This algorithm is developed to use energy more efficiently, and it can be developed for more parameters. Besides, it is possible to occur the load shift operation which is mentioned in Figure 8 with this algorithm.

**2.5. The General Structure of the Designed Model System**

The computer-controlled solar house general model whose roof is covered with photovoltaic panels, a charging circuit which is used to charge battery, measurement and control circuits, and five electricity device connected to the battery is shown in Figure 8 single line diagram. All devices are connected with a computer control circuit and a manual control panel. Also, a DC/AC inverter for computer power supply is used which is energized from the battery.

The system's energy can be controlled by the computer or manually as shown in Figure 5(b). LED illumination was used in the designed system mainly. This illumination is very efficient than the others as seen from the experimental results. Besides, a helicopter runway illumination was thought for the regions difficult to reach. Besides, the computer control of the system enables us to easy and smart control of the system. Connecting the computer with communication devices enables us the remote control of the system where is difficult to reach. The general

view of the designed model system is given in Figure 5 (c).



**Figure 5.** (a) The designed Visual Basic interface, (b) Single line diagram of the designed system, (c) The general view of the designed model system.

**3. Experimental Results**

In this section, the experimental results are measured and compared. The maximum power which can be received from the solar panel is  $P = 5$  Watt as seen in Figure 2 curves. The maximum power which can be received from the battery is defined  $P = VI$  and calculated  $P = (12 V) \times (1.3 Ah) = 15.6$  Watt from the catalog of the used battery. According to these results, the solar panel charges the battery approximately in three hours

on a sunny day. The total power stored in the system is calculated by measuring the voltage and the current which flow from photovoltaic panel to

battery. The total power consumption is calculated using measured currents and voltages on the equipment. These results are shown in Table 2.

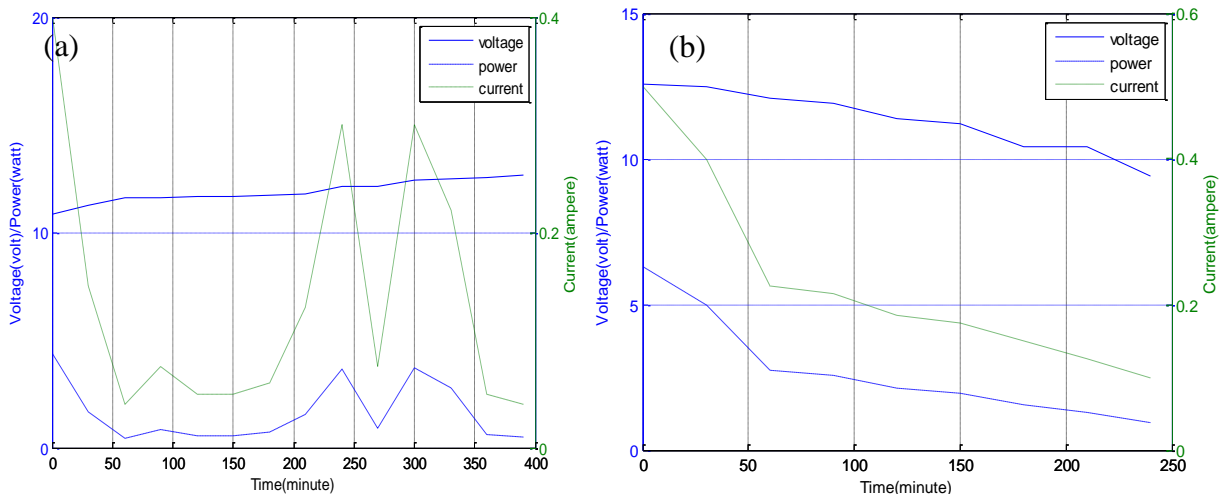
**Table 2.** The equipment’s total power consumption

Power-Consuming Devices	Measured Voltage (Volt)	Measured Current (Ampere)	Power Consumption $P=V*I$ (Watt)
Air condition	12	0.14	1.68
Garden lightning	12	0.12	1.44
Interior lightning	12	0.12	1.44
Outside lightning	12	0.16	1.92
Runway lighting	12	0.1	1.2
Total power consumption	-	-	7.68
Battery specification	12	1.3	15.6

These measurement results are not enough to define how much energy is received from the solar panel and how much energy is charged to the battery. The energy variation with time, and position of solar panel and how does depend on the weather condition are shown below with the measurement results and graphics for different times and different conditions.

Firstly, the new battery, which is charged in a factory, is discharged using some devices in the designed model for four hours. During this time, these devices consume 12.21 Watt power from the battery until the voltage level decreases to the lowest limit, 9.5V. After that, this empty battery is charged in a partially cloudy on a September day

for six hours with a solar panel. During this time, the battery charges 11.46 Watt power from the solar panel. These measurement results are shown in Figure 6 (a) and (b). The current and power values are seen as expected for the partial cloudy day in Figure 6 (a). The battery charged with high current and power firstly because it was empty. The battery voltage is increasing with time and it is fixed nearly 12V nominal voltage. The battery discharge power and current decreases with time linearly as seen in Figure 6 (b). Also, the discharge voltage decreases around the nominal voltage as expected in battery characteristics. The accuracy and validation of charge and discharge characteristics are seen as reasonable.



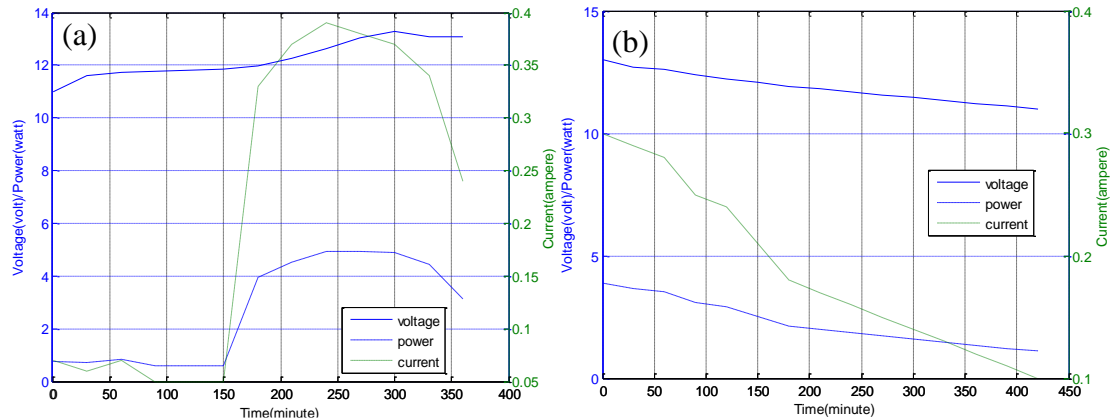
**Figure 6.** First measurement results (September), (a) battery charge, (b) battery discharge.

Secondly, the fully charged battery with a solar panel was discharged using some of the electrical devices in the designed model for seven hours. During this time, these devices consume 17.05 Watt power from the battery until the voltage

level is decreased 11 V. This level is not the lowest voltage level for the battery. The battery worked for two hours more for the electrical devices at lower voltage consumption. This empty battery is charged on a sunny May day for six

hours. During this time, the battery is charged 17.54 Watt power from the solar panel. These measurement results are shown in Figure 7 (a) and (b). The current and power values are seen as expected for a sunny day in Figure 7 (a). The battery charged with high current and power in the afternoon without a sun tracking system. The battery voltage is increasing with time and it is fixed nearly 12V nominal voltage again. The

battery discharge power and current decreases with time linearly as seen in Figure 7 (b). Also, the discharge voltage decreases around the nominal voltage as expected in battery characteristics. The accuracy and validation of charge and discharge characteristics are seen as reasonable. The differences between the two discharge figure are caused by measurement errors.



**Figure 7.** Second measurement results (May), (a) battery charge, (b) battery discharge.

As a result, this system is a model system that can be enlarged to use in residential. If these calculations converted to real dimensions; designing this kind of system according to the electrical data minimum installed power is accepted 10 kWh and average consumption is accepted as 5 kWh/day. Using the solar radiation values per year in Table 1 for Rize city, average solar radiation is found 3.85 kWh/m<sup>2</sup>/day. The panel efficiency was calculated as 11.7 % previously in the introduction part. The photovoltaic panels generated energy is calculated by 0.45 kWh/m<sup>2</sup>/day. Energy consumption per month is calculated 150 kWh/month. In the next step the energy generation is calculated for a 2 m<sup>2</sup> PV panel in one month as below;

The energy generation per month = Solar radiation\*panel area\* panel efficiency\* average days per month

The energy generation per month (kWh) = 3.85\*2\*0.117\*(365/12) =13.7 kWh/panel

The panel value is calculated dividing the energy consumption per month to energy generation per month and find 11 panels required. The total panel area is found approximately 22 m<sup>2</sup>. According to these calculations, 5 kWh energy storage capacity rechargeable battery group and 22 m<sup>2</sup> solar panel at least necessary for this system. It is possible to increase the received energy from solar panels

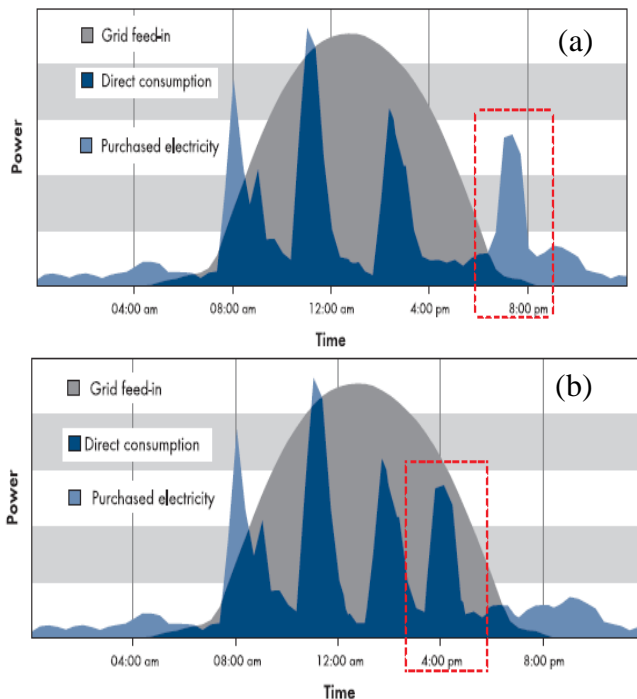
depend on the efficiency and control of PV panels (Ceylan, 2012).

On the other side, some studies are focused on intelligent load control and shift the operation of some flexible loads to times with high PV generation today. This case study is given here to inform the readers of a plan of the designed system. The red dashed frame in Figure 8 (a) shows a load peak in the evening hours. This load peak is caused by such a washing machine or one other flexible load switching manually in the evening. The peak load can be shifted to the afternoon as shown in the red frame in Figure 8 (b). This process can be done with the designed computer-controlled management system easily. The software is designed to develop applications for energy management efficiently.

#### 4. Conclusion

Energy management and measurement of the computer-controlled solar house model is aimed for Rize city in this study. A solar house model was designed and constructed to investigate the effects of seasons, and solar panel location on the stored energy. As a result, the extended model of this system is suitable for use on roofs in hilly and agricultural lands. If the use of the PV system on roofs as covering, this will reduce the roofing cost and the general cost will reduce too. This use also increases the light intensity reaching the solar

panel by the light crash angle, so the efficiency of the system increases.



**Figure 8.** Daily profile of a PV system, consumption, and self-consumption, (a) without load control, (b) with load control (URL-5, 2016)

The electricity requirement will be supplied with this system easily for different places difficult to reach in the region or the world. On electricity transmission lines and transformation the power losses will not occur too. The control of the system by computer will supply energy management, during the time that it is difficult to communicate, especially in winter.

In these measurements the solar panel angle is constant. To increase solar panels absorption sun-tracking systems high-efficiency solar panels, and MPPT controllers can be designed. Another solution to decrease the energy cost and to increase the efficiency of the electricity system is to change the loads more efficiently such as power LEDs for illumination. As a result, the applicability of this study for energy measurement and management is possible with some attachments or adjustments. Also, a model system is proposed for different aims and applications with simple components and software. This study combined rarely find the information's in literature and includes a lot of useful practical design information to inspire the researchers and designers. Also, gives some useful information about the residential PV- computer control design

applications and Rize city energy potential measurement.

### Acknowledgments

Owing to their support, the author would like to thank Eda Bingöl, Şükran Eroğlu and Dr. Vagif Nevruzoğlu.

### References

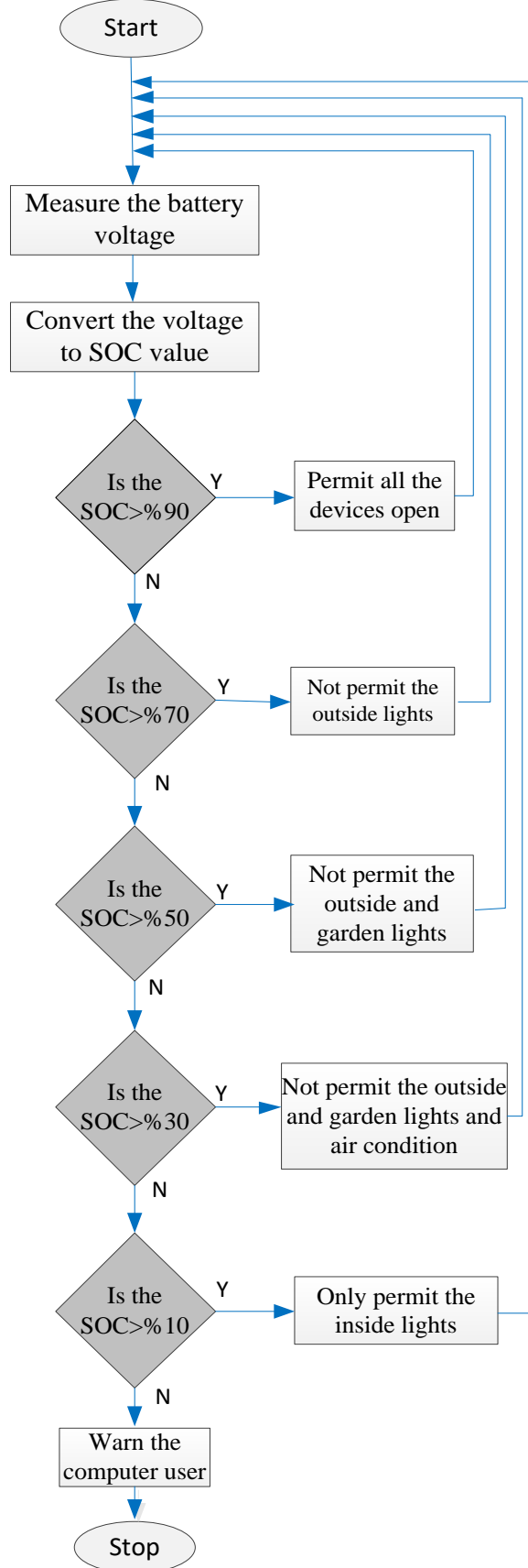
- Ahmad, G.E., 2002. Photovoltaic-Powered Rural Zone Family House in Egypt. *Renewable Energy*, 26(3), 379-390.
- Aksungur, K.M., Kurban, M., and Filik, Ü.B., 2013. Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. *Energy Efficiency and Quality Symposium*, Turkey.
- Altaş, I.H., 1999. Photovoltaic solar cells: Practices. *3E (Energy, Electric, Electro-mechanics) Magazine Journal*, 60, 26-29 (in Turkish).
- Axelsson, J., 2000. *Parallel Port Complete*, Bileşim Publishing, İstanbul (in Turkish).
- Baldauf, A., 2015. A Smart Home Demand-Side Management System Considering Solar Photovoltaic Generation. *5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, pp. 1-5.
- Bingöl, E., 2012. *Device Control with Computer*, Graduate Project. RTE University, Rize (in Turkish).
- Bojic, M., Parvedy, A.P., Miranville, F., Bigot, D., Cvetković, D., Djordjević, S., and Nikolić, D., 2013. Photovoltaic Electricity Production in A Residential House On Réunion. *Journal of Energy in Southern Africa*, 24(2), 50-56.
- Bradley, J.C., and Anita, C.M., 2003. *Programming in Visual Basic, Net*. Boston, McGraw-Hill.
- Ceylan, M., 2012. *Elektrik Enerji Sanatları ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 145-147.
- Chekired, F., Mahrane, A., Samara, Z., Chikh, M., Guenounou, A., and Meflah, A., 2017. Fuzzy Logic Energy Management for A Photovoltaic Solar Home. *Energy Procedia*, 134, 723-730.
- Chen, Z., and Shong-lee, I.S., 2016. The Joint Bargaining Coordination in A Photovoltaic Supply Chain. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(3), 035904.
- Ciabattini, L., Ferracuti, F., Grisostomi, M., Ippoliti, G., and Longhi, S., 2015. Fuzzy Logic Based



- Economical Analysis of Photovoltaic Energy Management. *Neurocomputing*, 170, 296-305.
- Cucchiella, F., D'adamo, I., Gastaldi, M., and Koh, S.L., 2012. Renewable Energy Options for Buildings: Performance Evaluations of Integrated Photovoltaic Systems. *Energy and Buildings*, 55, 208-217.
- Cora, A., and Özkop, E., 2008. Test ve Ölçüm Cihazlarının Bilgisayar ile Haberleşmesini Sağlayan İletişim Bağlantıları. *3E (Energy, Electric, Electro-mechanics) Magazine Journal*, 165.
- Eroğlu, Ş., 2012. Analog Digital Converter Design, Graduate Project, RTE University, Rize (in Turkish).
- Fıratoğlu, Z.A, and Yeşilata, B., 2009. Dinamik Çevre Koşullarının Fotovoltaik Destekli Su Pompası Sistemi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Engineer and Machinery Journal*, 46, 544.
- Firdaus, M.S. et al., 2011. An Evaluation of the Installation of Solar Photovoltaic in Residential Houses in Malaysia: Past, Present, And Future. *Energy Policy*, 39(12), 7975-7987.
- Güçlü, T., 2007. Paralell Port, Elektronik Hobi, Alfa Publishing, İstanbul (in Turkish).
- Guo, X.Q., 2011. Real-Time Measurement Method of Dc Injection for Transformerless PV Systems. *Measurement*, 44(6), 1136-1142.
- Iga, A., Yamaguchi, M., Yokoyama, S., Sueda, O., Yoshii, K., & Kaneko, T., 2004. Study of The Merit of Battery Combined Photovoltaic Generation System for Residential House (2). *IEEJ Transactions on Power and Energy*, 124, 1224-1230.
- Iwafune, Y., Ikegami, T., Da Silva Fonseca Jr, J.G., Oozeki, T., and Ogimoto, K., 2015. Cooperative Home Energy Man-agement Using Batteries for A Photovoltaic System Considering the Diversity of Households. *Energy conversion and management*, 96, 322-329.
- Kamalapur, G.D., and Udaykumar, R.Y., 2011. Rural Electrification in India and Feasibility of Photovoltaic Solar Home Systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(3), 594-599.
- Kanamori, R., Takayuki, I., and Nobuyasu, M., 2011. Agent-Based Electrical Power Management Model for Houses Equipped with A Storage Battery and Photovoltaic Unit, 2011 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA), USA, 333-338.
- Kevin, J., 2000. *PC Interfacing and Data Acquisition: Techniques for Measurement, Instrumentation, And Control*, Oxford Press, Boston, 256.
- Kuwano, Y., 1998. Progress of A Photovoltaic System for Houses and Buildings in Japan. *Renewable Energy*. 15(1), 535-540.
- Lazzaroni, M. et. al., 2015. Models for Solar Radiation Prediction Based On Different Measurement Sites. *Measurement*, 63, 346-363.
- Official Statistics, 2018. General Directorate of Meteorology Republic of Turkey, URL-2: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=RIZE>.
- Ordóñez, J., Jadraque, E., Alegre, J., and Martínez, G., 2010. Analysis of The Photovoltaic Solar Energy Capacity of Residential Rooftops in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2122-2130.
- Ozden, T., Kesler, S., and Okumus, H.I., 2018. A Fuzzy Logic Embedded Energy Management Software with A Multi-Agent System for A Stand-Alone PV Power Plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-8.
- Öztürk, A. et. al., 2016. Experimental Performance Comparison of A 2-Axis Sun Tracking System with The Fixed Sys-tem Under the Climatic Conditions of Düzce, Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(5), 4383-4390.
- Philips Semiconductors, 2018. 74HC4052; 74HCT4052 Dual 4-Channel Analog Multiplexer. Demultiplexer, Data Sheet, URL-4: [http://www.komponenten.es.aau.dk/fileadmin/komponenten/Data\\_Sheet/MOSTTL/hc/74HC4052.pdf.pdf](http://www.komponenten.es.aau.dk/fileadmin/komponenten/Data_Sheet/MOSTTL/hc/74HC4052.pdf.pdf).
- Şahin, M.E., and Nevruzov, V., 2010. Computer Controlled Solar House for Measurement Rize City Solar Energy Potential, NuRER Conference, Ankara, Turkey.
- Şahin, M.E., and Okumuş, H.İ., 2016. Physical Structure, Electrical Design, Mathematical Modeling and Simulation of Solar Cells and Modules. *Turkish Journal of Electromechanics and Energy*, 1(1), 8-12.
- Şahin, M.E., and Okumuş, H.İ., 2017. The Design Steps of Hybrid Energy System. *Acta Physica Polonica A*, 132, 1160-1164.
- Senpinar, A., 2018. Internet-/Arduino-Controlled PV Automatic Irrigation System for A Clean Environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-12.

- Shakeri, M., Shayestegan, M., Reza, S.S., Yahya, I., Bais, B., Akhtaruzzaman, M., and Amin, N. (2018). Implementation of A Novel Home Energy Management System (HEMS) Architecture with Solar Photovoltaic System as Supplementary Source. *Renewable energy*, 125, 108-120.
- Sharaf, A.M., and Şahin, M.E., 2017. A Flexible PV-Powered Battery-Charging Scheme for Electric Vehicles. *IETE Technical Review*, 34(2), 133-143.
- SMA Solar Technology, 2016. Planning Guidelines SMA Smart Home, Version 4.4, Germany, 10-11, URL\_5: <http://files.sma.de/dl/1353/SI-HoMan-PL-en-51.pdf>.
- Solar Energy Potential Map of Rize City (GEPA), 2018. Renewable Energy Directorate General of the Republic of Turkey, URL-1, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/53.aspx>.
- Soulayman, S., and Hammoud, M., 2016. Optimum Tilt Angle of Solar Collectors for Building Applications in The Mid-Latitude Zone. *Energy Conversion Management*, 124, 20-28.
- Sun, C., Sun, F., and Moura, S.J., 2016. Nonlinear Predictive Energy Management of Residential Buildings with Photo-voltaics & Batteries. *Journal of Power Sources*, 325, 723-731.
- Taylor, B.W., et al., 1998. Computer-Controlled Lighting System with Distributed Control Resources. U.S. Patent No.5, 769-727.
- Texas Instrument, 2018. ADC080x 8-Bit,  $\mu$ P-Compatible, Analog-to-Digital Converters. Data Sheet, URL\_3: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc0804-n.pdf>.
- Thanaa, F., Mona, N.E., and Mohsen T. E-H., 2006. Energy Flow and Management of a Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System. *Energy Conversion and Management*, 47(9), 1264-1280.
- Tohänean, D., 2018. Innovation Management and Artificial Intelligence: The Impact of Digitalization on Management Processes. *Review*, 81.
- Villa, G.G., 2018. The Influence of Different Innovation Enablers On the Adoption of Industry 4.0 By Smes and Large Companies: A Comparative Case Study.
- Wu, X., Hu, X., Moura, S., Yin, X., and Pickert, V., 2016. Stochastic Control of Smart Home Energy Management With Plug-In Electric Vehicle Battery Energy Storage And Photovoltaic Array. *Journal of Power Sources*, 333, 203-212.

Appendix 1: A control algorithm for the energy management of the computer control house.



## Çimentolu Macun Dolgu Yönteminin Uygulanmasında Bazı Katkı Malzemelerinin Pozzolanik Özelliklerinin Araştırılması

### Investigation of Pozzolanic Properties of Some Additive Materials in Cemented Paste Backfill

Ataç BAŞÇETİN<sup>1,b</sup>, Hasan EKER<sup>\*2,a</sup>, Deniz ADIGÜZEL<sup>1,c</sup>, Serkan TÜYLÜ<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 30.09.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.02.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2020

#### Öz

Son zamanlarda geliştirilen ve yaygın bir şekilde kullanılan çimentolu macun dolgu (ÇMD) yöntemi; maden atıklarının bertarafı konusunda sektöre hem işletme hem çevresel, hem de yasal mevzuatın uygulanması açısından birçok faydalar sağlamaktadır. Bu yüzden; ülkemizdeki bazı maden işletmelerinde son yıllarda çimentolu macun dolgu (ÇMD) yöntemi tercih edilmeye başlanmıştır. Bu yöntemin en büyük maliyet kalemlerinden biri bağlayıcı giderleridir. Bu çalışmada; ÇMD'da kullanılan Portland çimento (PÇ) yerine zeolit (Z), yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) gibi pozzolanik katkı malzemelerinin kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada referans (R, sadece çimento içeren) ve Z, YFC, UK ve SD katkılı ÇMD karışımlarının 28 ve 90 gün kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımları ve eğilme dayanımları incelenmiş ve elde edilen tek eksenli basınç ve eğilme dayanımları değerleri kullanılarak pozzolanik aktivite indeksi değerleri belirlenmiştir. Atık, çimento (ağırlıkça % 11) ve su ile oluşturulan referans numuneleri ve çimentonun yerine (% 11) % 25 oranında YFC, % 20 Z, % 10 UK, % 5 SD ikameli ÇMD numunelerinin 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde Edilen sonuçlara göre; 28 ve 90 gündeki en yüksek basınç ve eğilme dayanımları UK numunelerinde elde edilmiştir. Pozzolanik aktivite indeksinin en yüksek değerinin 28 ve 90 günde UK numunelerinde elde edildiği görülmüştür. Referans numunesinin TEBD değerini 28 gün sonunda UK, SD ve Z geçerken; 90 günde ise sadece SD'ı geçmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bağlayıcı, Pozzolanik Aktivite İndeksi, Silis Dumanı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu, Zeolit

#### Abstract

Recently developed and widely used cemented paste backfill (CPB) method; the mining industry has many benefits in terms of the application of the sectoral, operational, environmental and legal legislation on the disposal of mine tailings. That's why; in some mining in our country, cemented paste backfill (CPB) method has been preferred in recent years. One of the biggest cost items of this method is binder expenses. In this study; The use of materials such as zeolite (Z), blast furnace slag (BFS), fly ash (FA), silica fume (SF) instead of Portland cement (PC) used in CPB was examined as pozzolanic additive. The uniaxial compressive strength and flexural strength of the R, Z, BFS, FA and SF doped mixtures were determined after 28 and 90 days. Using uniaxial compressive, flexural strength and pozzolanic activity index values were determined. Firstly, reference samples formed with tailings, cement (11% by weight) and water were performed Uniaxial compressive strength (UCS) tests and then, UCS tests of 25 % BFS, 20 % Z, 10 % FA, 5 % SF substituted CPB samples were performed after 28 and 90 days curing time. According to the results obtained; The highest compressive and flexural strengths at 28 and 90 days were obtained in UK samples. The highest value of pozzolanic activity index was obtained in UK samples at 28 and 90 days. The UCS value of the reference sample was exceeded by UK, SD and Z at the end of 28 days; in 90 days, it exceeds only SD.

**Keywords:** Binder, Pozzolanic Activity Index, Silica Fume, Fly Ash, Blast Furnace Slag, Zeolite

\*a Hasan EKER: eker\_hasan78@hotmail.com, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0003-2644-4681

b orcid.org/0000-0001-7533-4599

c orcid.org/0000-0002-1611-1296

d orcid.org/0000-0002-8128-9840

## 1. Giriş

Son zamanlarda ülkemizdeki özellikle metalik maden işletmelerinde çimentolu macun dolgu (ÇMD) yöntemi tercih edilmektedir. ÇMD; % 75 - 85 pülpte katı oranındaki (PKO) tesis atığının (<20 µm malzeme miktarı en az % 15 olan) % 3 - 11 bağlayıcı (çimento ve puzolan malzemeler) ve pompalanabilir kıvamda olması için yeterli su (proses suyu, musluk ve göl suyu) ile karışımı olarak tanımlanmaktadır (Kesimal vd., 2003; Erçikdi vd., 2013; Yılmaz vd., 2017; Yılmaz ve Guresci, 2017; Başçetin vd., 2018a,b). Bu yöntemin en büyük maliyet kalemlerinden biri bağlayıcı giderleridir.

Son yıllarda, çeşitli puzolanik malzemeler ve endüstriyel sektörün yan ürünleri madencilik sektöründeki ÇMD'lerin bağlayıcı malzeme tüketimini azaltmak ve ürün performansını artırmak için kullanılmaktadır. Puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Volkanik tüf, volkanik küller, kalsine olmuş killer ve şeyller ve ve pomza gibi doğal puzolanlar; harmanlanmış çimento üretiminde, ÇMD için alternatif ve ekonomik puzolanik malzemeler olarak düşünülebilmektedir (Erçikdi vd., 2010). Yapay ve doğal puzolanların çimento içerikli karışımlarda (beton, harç vb.) kullanılmasının başlıca nedenleri; i) işlenebilirliği iyileştirmek, ii) poroziteyi, boşluk oranını ve geçirgenliği azaltmak, iii) çimento maliyetini/tüketimini azaltmak, iv) kısa ve uzun dönemde daha dayanıklı ürün elde etmek ve, v) sülfat etkisine karşı direnci arttırmak olarak sıralanabilir (Erdoğan, 2003; Alp vd., 2003; Erçikdi, 2009). Ayrıca; puzolan malzemelere ek olarak, Portland çimentosu (PÇ) yerine, atık tuğlalar (WB) ve granüle mermer artıklarının (MW) kullanımı ÇMD'nin dayanım ve duraylılığı üzerinde pozitif bir etkiye sahip olabilmektedir (Külekçi, 2013; Erçikdi vd., 2015).

ÇMD üretiminde PÇ yerine kısmi olarak uçucu kül kullanımı birçok araştırmacı tarafından irdelenmiştir (Weaver ve Luka, 1970; Manca vd., 1983; Yu ve Counter, 1988; Udd ve Annor, 1993; Amaratunga ve Hein, 1997; Benzaazoua vd., 1999; Hassani vd., 2001, 2007; Godbout vd., 2009; Değirmenci, 2005; Değirmenci ve Okucu, 2007). C sınıfı uçucu kül ile oluşturulan ÇMD karışımlarının sadece çimento ile oluşturulan karışımlara göre daha iyi dayanım sonucu verdiği görülmüştür (Hassani vd., 2001, 2007; Benzaazoua vd., 2002; Ramlochan vd., 2004).

Demir imalatının metalik olmayan bir yan ürün olan Yüksek fırın cürufu (YFC), esas olarak silikatlardan ve kalsiyum alümino silikatlardan oluşmaktadır. YFC, yüksek fırında demir ile aynı anda erimiş, daha sonra camsı tanecikli parçacıklar oluşturmak için suya hızla daldırılarak suda soğutulmasıyla oluşan bir malzemedir (Bouzoubaa ve Simon, 2005). Yüksek fırın cürufunu; bazı çalışmalarda çimento yerine ikame olarak kullanılmıştır (Nantel ve Lecuyer, 1983; Douglas ve Malhotra, 1989; Uusitalo vd., 1993; Benzaazoua vd., 2002; Godbout vd., 2007). Literatürde, YFC içeren macun dolgu karışımlarının diğer bağlayıcılarla hazırlanan karışımlara göre dayanım parametrelerinde daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca sülfür açısından zengin atıkların kullanıldığı ÇMD karışımlarında, çimento miktarının belirli kısmı yerine ikame edilen YFC, ÇMD'nin uzun vadeli mekanik performansını iyileştirmektedir (Erçikdi vd., 2009; Cihangir vd., 2015). Literatürde yapılan çalışmalar dikkate alındığında; YFC, SD ve UK katkı malzemeleri çimentolu macun dolgu karışımlarında PÇ yerine kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, yüksek sülfür oranına sahip bir bakır atığı ile hazırlanan ÇMD karışımlarında YFC nin sülfat ataklarını önleme potansiyeli araştırılmış, ayrıca C tipi UK kullanılan daha önceki çalışmalardan farklı olarak F tipi UK tercih edilmiş ve bir bakır atığı ile hazırlanan ÇMD karışımlarında SD kullanılmıştır. Bunlara ek olarak ÇMD karışımlarında daha önceki çalışmalarda kullanılmayan Zeolit bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada; ÇMD'de kullanılan Portland çimento (PÇ) yerine işletmelerde atık olarak tabir edilen zeolit (Z), yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) gibi malzemelerin puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada referans (R, sadece çimento içeren) ve Z, YFC, UK ve SD katkılı ÇMD karışımlarının 28 ve 90 gün kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımları ve eğilme dayanımları incelenmiş ve elde edilen tek eksenli basınç ve eğilme dayanımları değerleri kullanılarak puzolanik aktivite indeksi değerleri belirlenmiştir. Sonraki aşamada; bahsi geçen puzolanik malzemeler çimentolara belirli oranlarda ilave edilerek çimentolu macun dolgu karışımları hazırlanmış ve bu numuneler tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzeme

Akçansa Büyükçekmece çimento fabrikasından temin edilen normal Portland çimentosu (CEM I 42.5), zeolit (Z), yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve standart rilem kumu yapılan çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca puzolan maddelerin karışım içerisindeki etkilerini tam olarak anlayabilmek için saf su kullanılmıştır. Zeolit, Balıkesir Bigadiç'te yer alan Eti Maden Bigadiç İşletme Müdürlüğü pasa sahasından; YFC, Kardemir demir - çelik fabrikasından; UK, Zonguldak - Çatalağzı ÇATES termik santralinden ve SD ise Antalya Eti elektrometalürji işletme tesisinden temin edilmiştir. Z ve YFC laboratuvarında önce

merdaneli kırıcıdan (- 4 mm) geçirilmiştir. Daha sonra Z bilyalı değirmen vasıtasıyla 45 dakika öğütme süresinde kuru öğütmeye tabi tutularak - 125 mikron altına getirilmiştir. YFC ise bilyalı değirmen vasıtasıyla 180 dakika öğütme süresinde kuru öğütmeye tabi tutularak - 125 mikron altına getirilmiştir. Çalışmada kullanılan UK ve SD ise ince olarak temin edildiğinden kırma ve öğütme işlemine tabi tutulmamıştır. Ayrıca, kullanılan atık Kastamonu Küre'de yer alan bir bakır madeninden temin edilmiştir ve tane boyut dağılımı analizine göre 20 µm'dan daha ince tane oranı % 24,88 olarak bulunduğundan iri boyutlu bir atık sınıfına girmektedir (Başçetin vd., 2018a). Tablo 1'de atık, çimento, zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanının fiziksel, kimyasal özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Çimento, zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanının fiziksel, kimyasal özellikleri (Eker, 2019).

Özellikler	Atık	CEM I 42.5 R (%)	Zeolit (%)	Yüksek Fırın Cürufu (Kardemir) (%)	Uçucu Kül (Çatalağzı)(F Tipi) (%)	Silis Dumanı (%)
<b>Kimyasal Bileşim</b>						
SiO <sub>2</sub>	12.23	19.1	64.4	41.6	54.1	79.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.1	4.7	10.9	11.2	26.1	0.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.3	3.3	1.4	0.8	6.7	0.41
MgO	2.3	1.3	1.3	7.1	2.7	7.
SO <sub>3</sub>	-	3.5	-	0.2	0.7	-
CaO	1.8	64.1	3.6	34.6	2.0	2.5
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.3	0.2	0.3	0.8	-
K <sub>2</sub> O	0.09	0.9	4.3	0.7	4.5	-
Serbest CaO	-	1.65	-	-	0.1	-
Kızdırma Kaybı	24	2.09	5.13	1.00	1.36	2.96
MnO	-	-	-	1.9	-	-
S	-	-	-	0.5	-	-
Fe	-	-	-	0.45	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	1.3	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	0.38
<b>Fiziksel Özellikler</b>						
Özgül Ağırlık (-)	3.6	3.1	2.3	3.0	2.0	3.2
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	1801	3640	6132	4428	2220	20100
<b>Mineralojik Bileşim</b>						
C <sub>3</sub> S		63.4				
C <sub>2</sub> S		6.8				
C <sub>3</sub> A		6.9				
C <sub>4</sub> AF		9.9				
LSF		1.0				

## 2.2. Yöntem

Bu çalışmada, puzolanik malzemeler ile hazırlanan karışımlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda çimento yerine ikame olarak kullanılacak bağlayıcı malzemelerin (Z, YFC, UK ve SD) puzolanik aktivite indeksini belirlenmiştir. ASTM C311 (2017) standardına göre; referans çimento (kütlece % 75) ve puzolan (% 25) ile hazırlanan karışımlar ve sadece referans çimento ile hazırlanan karışımlar üzerinde basınç

dayanımı yapılarak çimento yerine ikame olarak kullanılacak bağlayıcıların puzolanik özellikleri değerlendirilmiştir. Ancak, yüksek fırın cürufunun Puzolanik aktivite indeksi literatürde ASTM C989 (2018) standardına göre belirlenmektedir. Bu standarda referans alınarak hazırlanan, çimento (kütlece % 50) ve yüksek fırın cürufu (% 50), karışımlar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de puzolanik aktivite indeksini belirlemek için kullanılan karışım reçeteleri verilmektedir.

**Tablo 2.** Puzolanik aktivite indeksi karışım reçeteleri.

Standart No	Çimento (g)	Kum (g)	Puzolan (g)	Su (ml)	Türü
ASTM C 311	500	1375	0	242	Referans
ASTM C311	400	1375	100	242	Zeolit
ASTM C311	400	1375	100	242	Silis Dumanı
ASTM C989	250	1375	250	242	YFC
ASTM C311	400	1375	100	242	UK

Puzolanik aktivite, “dayanım aktivite indeksi” olarak adlandırılan bir değer hesaplanmasıyla elde edilmektedir (Eşitlik 1).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

Burada;

A: Puzolanlı harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı,

B: Kontrol harç numunelerinin ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 2’de verilen karışım oranlarında hazırlanan numuneler için ikişer karışım oluşturulmuştur. Karışımların her birinin; 40 x 40 x 160 mm ölçülerindeki üç gözlü kalıplara dökümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında en az 20 ° C ve % 80 nemli bir ortamda 24 saat bekleme süresinin ardından kalıplardan çıkarılan numuneler kür havuzunda belirlenen kür sürelerine (28 ve 90 gün) kadar bekletilmiştir.

Kür süreleri sonunda her bir kür süresi için 3 adet numune kullanılarak eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı için ise 6 adet numune kullanılmıştır. Eğilme dayanımı deneyleri ve basınç dayanımı deneyleri; TS EN 196 - 1 standardına uygun olarak Şekil 1’de gösterilen 200 tonluk ve 50 N/s yükleme hızına sahip beton presi ile gerçekleştirilmiştir. Puzolanik aktivite dayanım indeksini belirlemek için eğilme dayanımında kullanılan numunelerin kırılan parçaları kullanılarak basınç dayanımını yapılmıştır.



**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan pres

Puzolanik aktivite indeksi deneylerinden sonra Çimentolu macun dolgu (ÇMD) deneyleri yapılmıştır. Atığın (ağırlıkça % 11 oranlarında), çimento ve şebeke suyu ile karıştırılmasıyla referans numuneleri ve daha sonra kullanılan çimento miktarının % 25 oranında yüksek fırın cürufu (YFC), % 20 oranında zeolit (Z), % 10 oranında uçucu kül (UK) ve % 5 oranında silis dumanı (SD) ikameli içeren çimentolu macun dolgu numuneleri oluşturulmuştur. Atıkların alındığı işletmede ağırlıkça % 11 çimento oranı tercih edildiği için çalışmamızda bu oran tercih edilmiştir. Tablo 3’te çimentolu macun dolgu karışımlarının reçeteleri verilmiştir. Karışım oranları belirlenirken daha önce yapılan ön deney sonuçları kullanılmıştır. Ön deney sonuçlarına göre en iyi dayanıma sahip karışımlar bu çalışma için seçilmiştir. Homojen bir yapıda olması için hazırlanan macun dolgu karışımları bir mikser vasıtasıyla ve yapılan ön deneyler sonucu elde edilen karıştırma süresine göre 10 dk

karıştırılmıştır. Ayrıca bu macun dolgu karışımları 18 cm çökme (slump) değerine ve %81 katı oranına göre hazırlanmıştır. ÇMD uygulamalarında, slump değeri 15.2-25.4 cm arasındadır ve en çok tercih edilen slump değeri 18 olması nedeniyle bu değer kullanılmıştır (Fall vd., 2009). Macun dolgu karışımları 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki drenajlı (alt kısmında 4 adet delik bulunan) silindirik numune kalıplarına

dökülmüş ve en az %80 nem oranında ve 25 ° C sıcaklığa ayarlanan kür kabiniinde belirlenen kür sürelerinde (28 ve 90 gün) bekletilmiştir. Belirlenen kür süreleri sonunda TEBD deneyleri silindirik numuneler üzerinde ASTM C 39 (2018) standardına uygun olarak 50 kN yükleme kapasitesine sahip 0.5 mm/dk sabit yükleme hızında otomatik kontrollü preste yapılmıştır.

**Tablo 3.** Çimentolu macun dolgu karışımlarının reçeteleri

Numune Adı	İkame Oranı (Ağr. %)		Katı Oranı (Ağr. %)	Slump (Çökme)(cm)	Bağlayıcı Oranı (Ağr. %)
	Portland Çimento	Puzolan Malzemeler			
Referans	100	-	81	18	11
Zeolit (Z)	80	20			
Uçucu Kül (UK)	90	10			
Yüksek Fırın Cürufu (YFC)	75	25			
Silis Dumanı (SD)	95	5			

### 3. Bulgular ve Tartışma

TS 25 standardına göre Z'in puzolanik özellikleri değerlendirildiğinde; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının en az % 70, kızdırma kaybı değerinin en fazla % 10, MgO değerinin % 5'ten küçük, SO<sub>3</sub> değerinin ise en fazla 3 ve özgül yüzey alanının 3000 cm<sup>2</sup>/g'dan büyük olması gerekmektedir. Buna göre; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının % 76.7, kızdırma kaybı değerinin % 5.1, MgO değerinin % 1.3, SO<sub>3</sub> değerinin saptanamadığı ve özgül yüzey alanının 6132 cm<sup>2</sup>/g olduğu ve sınır değerleri sağladığı görülmektedir.

TS EN 450 standardına göre UK'ün puzolanik özellikleri incelendiğinde; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının en az % 70, kızdırma kaybı değerinin en fazla % 5, SO<sub>3</sub> değerinin ise en fazla 3 olması gerekmektedir. ASTM C 618 (2019) standardına göre ise; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının en az % 70, kızdırma kaybı değerinin en fazla % 6, SO<sub>3</sub> değerinin ise en fazla 5 olması gerekmektedir. Buna göre UK'ün SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının % 87.7, kızdırma kaybı değerinin % 1.4, SO<sub>3</sub> değerinin ise % 0.7 olduğu ve sınır değerleri sağladığı görülmektedir. YFC'unun puzolanik özellikleri ASTM C 618 (2019)'ye göre incelendiğinde; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının % 53.6, kızdırma kaybı değerinin % 1.0, SO<sub>3</sub> değerinin ise % 0.2 olduğu ve sınır değerleri sağladığı görülmektedir. SD'nin puzolanik özellikleri ASTM C 618 (2019)'ye göre incelendiğinde; SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamının

% 81.2, kızdırma kaybı değerinin % 3.0, SO<sub>3</sub> değerinin saptanamadığı ve sınır değerleri sağladığı görülmektedir.

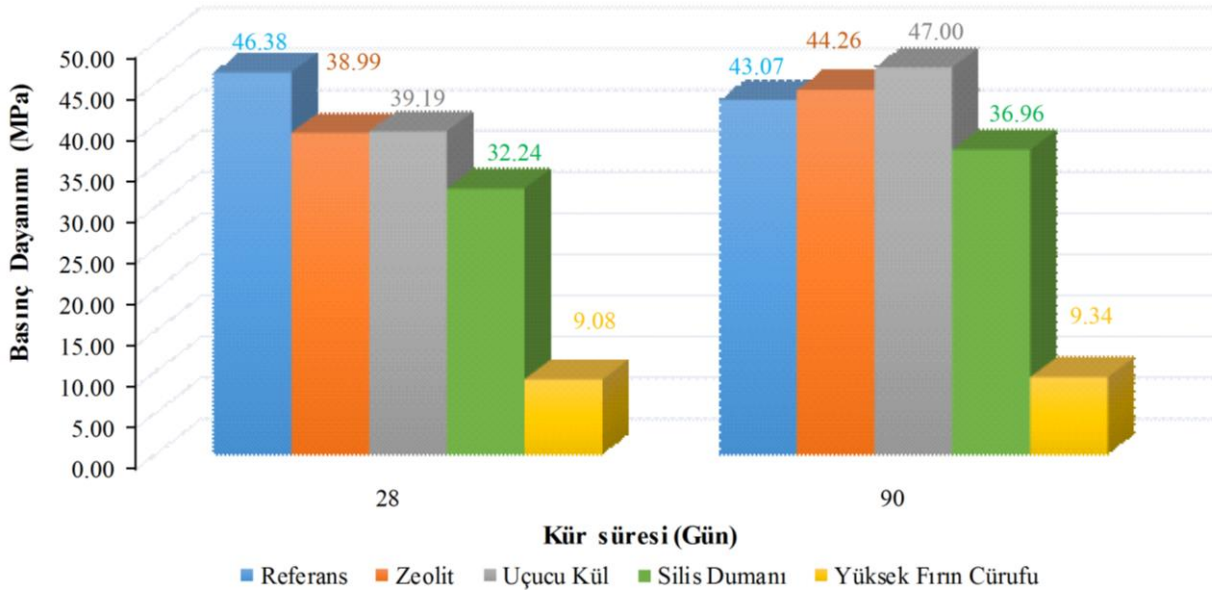
#### 3.1. Puzolanik Aktivite Deneyleri

##### 3.1.1. Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında çimento yerine ikame olarak kullanılan puzolanik malzemeler (Z, YFC, UK ve SD) ve referans karışım kullanılarak Tablo 2'de belirtilen reçeteye göre hazırlanan numunelerin, 28 ve 90 gün kürlenmesi sonunda yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere kür süresine bağlı olarak Z, YFC, UK ve SD içeren numunelerin basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Referans numunesine göre 28. günde bütün numunelerin (Z, YFC, UK ve SD) dayanımının düşük olduğu, 90. günde ise Z ve UK'ün referans numunesine göre daha yüksek dayanım değeri aldığı görülmektedir. Z ve UK'ün karışımlarına eklenmesi sonucu referans numunelerinde yer alan boşlukların azalmasıyla bu yükseliş gerçekleşmiştir (Fall vd., 2005; Erçikdi vd., 2013; Yılmaz vd., 2017; Eker, 2019). SD ve YFC'nun ise referansa göre 90. günde de düşük dayanım elde ettiği görülmektedir. 28 gündeki R, Z, UK, SD ve YFC'ü numunelerinin 90 gün sonundaki basınç dayanım değerlerine göre sırasıyla % 7.7 düşüş, % 13.5 artış, % 20 artış, % 15 artış ve % 2.2 artış meydana gelmiştir.



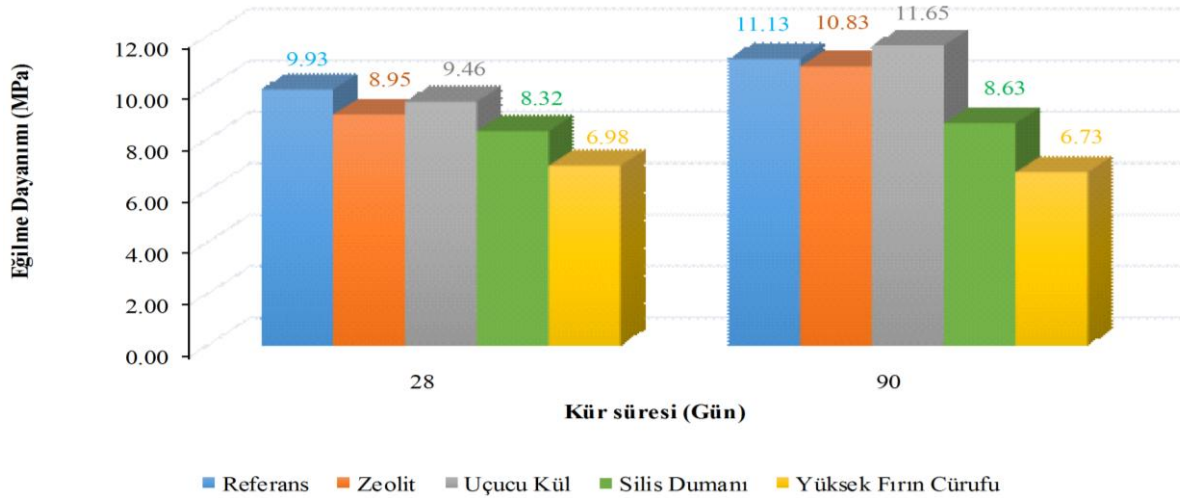


Şekil 2. 28 ve 90 gün basınç dayanımı sonuçları

### 3.1.2. Eğilme Dayanımı

Çalışma kapsamında çimento yerine ikame olarak kullanılan puzolanik malzemeler (Z, YFC, UK ve

SD) ve referans karışım kullanılarak Tablo 2’de belirtilen reçeteye göre hazırlanan numunelerin, 28 ve 90 gün kürlenmesi sonunda yapılan eğilme dayanım sonuçları Şekil 3’te verilmiştir.



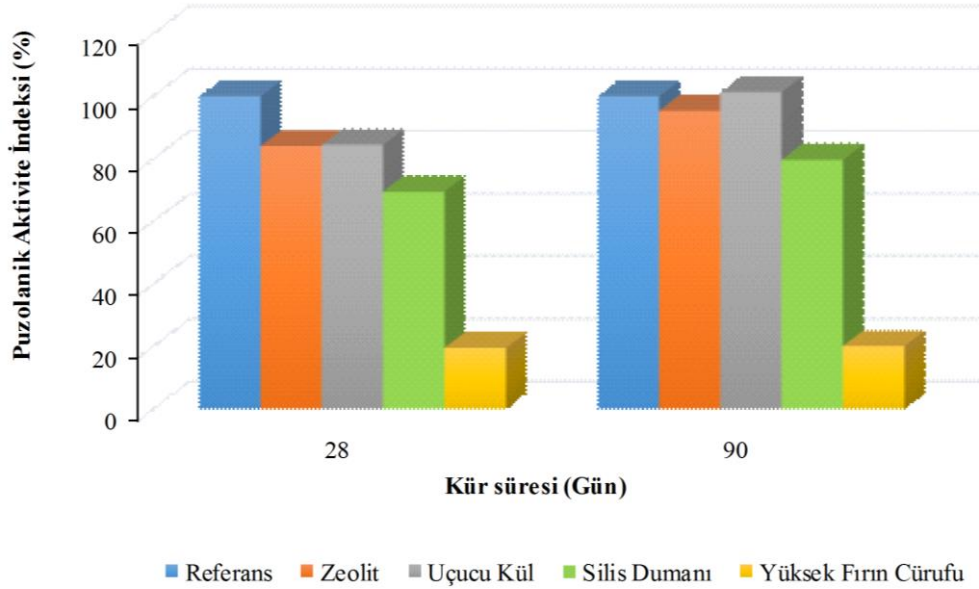
Şekil 3. 28 ve 90 günlük numunelerin eğilme dayanımı sonuçları

Şekil 3’te görüldüğü gibi 28 ve 90 günlük kür sürelerine bağlı olarak YFC hariç Z, UK ve SD içeren numunelerin eğilme dayanımlarının arttığı görülmektedir. Referans numunesine göre 28. günde bütün numunelerin (Z, YFC, UK ve SD) dayanımının düşük olduğu, 90. günde ise sadece UK’ün referans numunesine göre daha yüksek dayanım değeri aldığı görülmektedir. Puzolanik malzemelerin dayanım üzerindeki olumlu etkileri uzun dönemde ortaya çıkmıştır. 8 gündeki R, Z, UK, SD ve YFC’u numunelerinin 90 gün sonundaki eğilme dayanımı değerlerine göre

sırasıyla % 12.1 artış, % 20 artış, % 23.2 artış, % 3.6 artış ve % 4.5 düşüş meydana gelmiştir.

### 3.1.3. Puzolanik Aktivite İndeksi

Çalışma kapsamında çimento yerine ikame olarak kullanılan puzolanik malzemeler (Z, YFC, UK ve SD) ve referans karışım kullanılarak hazırlanan numunelerin, 28 ve 90 gün kürlenmesi sonunda Eşitlik 1 ve basınç dayanımı deney sonuçları kullanılarak hesaplanan puzolanik aktivite indeksi değerleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Pozolanik aktivite indeksi sonuçları

Şekil 4'te görüldüğü gibi Z, UK, SD ve YFC katkı malzemeleri ile hazırlanan karışımların pozolanik aktivite indeksi değerleri sırasıyla; 28. günde % 84.1, % 84.5, % 69.5 ve % 19.6; 90. günde ise % 95.4, % 101.3, % 79.7 ve % 20.2 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Z, UK ve SD standartlarda belirtilen bu koşulları sağlamaktadır. Ancak YFC pozolanik aktivite sınır değerini sağlamamaktadır. 28 günlük kür süresi sonunda YFC, UK ve SD pozolanik aktivite indeksi sırasıyla % 74, % 80.5 ve % 124 elde edilmiştir (Erçikdi, 2009). UK değeri hariç diğer iki pozolanik malzemenin Erçikdi (2009) çalışmasında elde edilen sonuçların altında kaldığı görülmektedir.

### 3.2. Çimentolu Macun Dolgu Numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı

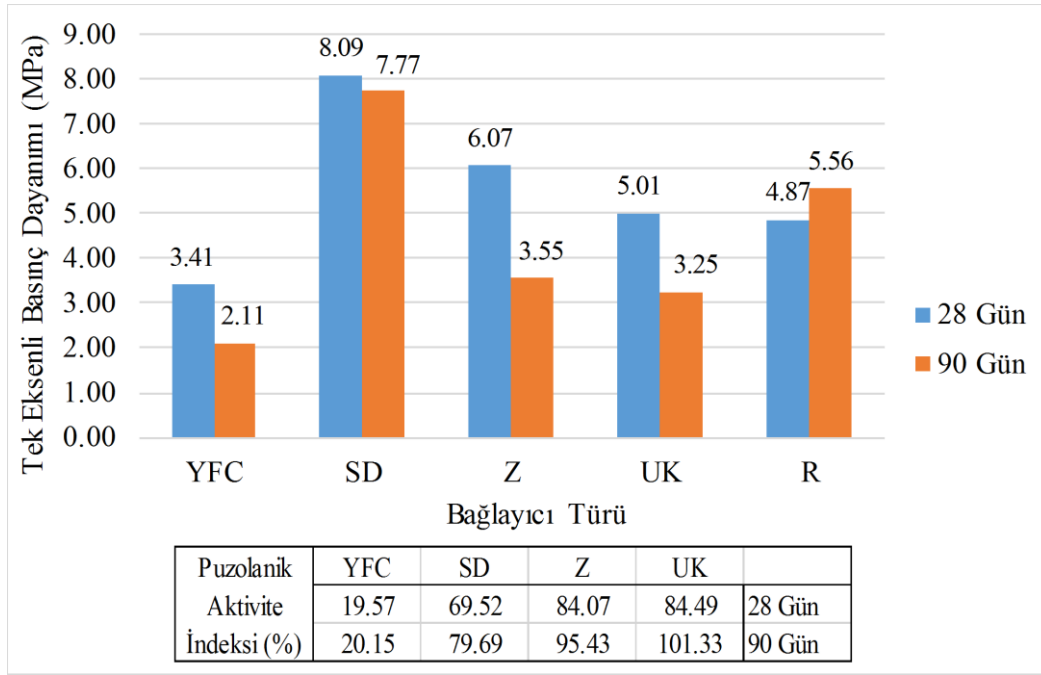
Atık, çimento (ağırlıkça % 11) ve su ile oluşturulan referans numuneleri ve çimentonun yerine (% 11) % 25 oranında YFC, % 20 Z, % 10 UK, % 5 SD ikameli ÇMD numunelerinin 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda yapılan tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) sonuçları Şekil 5'te verilmiştir.

ÇMD numunelerinin yeraltı boşluklarında ara katlı dolgu için 28 günde en az 1 MPa, serbest durma ya da tavanı tutma özelliği için ise en az 4 MPa dayanımı sağlaması beklenmektedir (Fall vd., 2005; Cihangir vd., 2012; Başçetin 2018a,b).

28 gün sonunda YFC, R, UK, Z, SD'in TEBD sonuçları sırasıyla; 3.4, 4.9, 5.0, 6.1, 8.1 MPa'dır. 90 günde YFC, UK, Z, R, SD'ının TEBD sonuçları sırasıyla; ise 2.1, 3.3, 3.6, 5.6 ve 7.8

MPa'dır. Referans numunesinin TEBD değerini 28 gün sonunda UK, SD ve Z geçerken; 90 günde ise sadece SD'ı geçmektedir (Şekil 5). Pozolanik aktivite indeksi değerleri yüksek olan katkıların TEBD değerlerinin de yüksek çıktığı görülmüştür. Kür süresine bağlı olarak TEBD değerlerinde meydana gelen bu düşüş atığın bünyesinde bulunan kükürt miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Benzaazoua vd., 1999; Hassani vd., 2001; Tariq ve Nehdi, 2007; Belem ve Benzaazoua, 2008; Erçikdi vd., 2009, 2009b; Cihangir vd., 2011, 2012). 90 gün sonunda çimento yerine ikame edilen bağlayıcılar arasından en fazla dayanımı veren ve en az dayanım kaybına sahip silis dumanı numunesidir. Ayrıca pozolanik aktivite indeksi sınır değerlerini sağlayan SD, Z ve UK'ün TEBD değerleri de yüksek çıkmıştır.

ÇMD karışımlarında (sülfür açısından zengin atık içeren), çimento miktarının belirli kısmı yerine ikame edilen YFC, ÇMD'nin uzun vadeli mekanik performansını iyileştirdiği önceki çalışmalarda (Erçikdi vd. 2009; Cihangir vd. 2015) belirtilse de Şekil 5'te görüldüğü üzere 90 günlük kür süresi sonunda dayanımda düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca UK ikameli karışımında C tipi UK içeren çalışmaların (Hassani vd., 2001, 2007; Benzaazoua vd., 2002; Ramlochan vd., 2004; Erçikdi, 2009) aksine referans değerinin basınç dayanımını altında olduğu görülmüştür. SD ikameli ÇMD numunelerinin ise referans numunesinin basınç dayanımının değerini (Erçikdi vd., 2009) çalışmasında olduğu gibi geçtiği görülmektedir.



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada; ÇMD'da çimento maliyetlerinin azaltılması için çimento yerine ikame olarak kullanılan endüstriyel atıklardan zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemelerin puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda hazırlanan referans, zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı katkılı karışımların 28 ve 90 gün kür süreleri sonunda basınç dayanımı ve eğilme dayanımları belirlenmiş ve bulunan sonuçlar ile malzemelerin puzolanik aktivite indeksi değerleri elde edilmiştir. Ayrıca belirli oranlarda çimento yerine ikame edilen Z, YFC, UK ve SD ile oluşturulan ÇMD karışımlarının 28 ve 90 gün sonundaki TEBD sonuçları da puzolanik aktivite indeksi sonuçları ile beraber değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; 90 günlük kür süresi sonunda referans numunesinin basınç dayanımı değerini; Z ve UK numuneleri geçmektedir. Ayrıca sadece UK numunesinin eğilme dayanım değerinin, referansın dayanım değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte; zeolit; uçucu kül ve silis dumanı ile hazırlanan numunelerin puzolanik aktivite indeksi değerleri yüksek çıkmıştır. Ayrıca çimento yerine ikame edilen bu bağlayıcılar ÇMD numunelerinde dayanımı olumlu yönde geliştirerek dayanım artışını sağlamışlardır. Bu sonuç; ÇMD'de kullanılacak çimentonun miktarını ve maliyetini azaltmak için malzemelerin çimento yerine ikame

olarak kullanılabilmesini ortaya koymuştur. Böylece çimento üretimi sırasında sera gazı etkisi oluşturan CO<sub>2</sub> salınım miktarını da azaltma imkanı oluşmuştur. Buna ilaveten işletmelerde atık olarak nitelendirilen bu malzemelerin yeniden kullanımı sağlanarak işletmeye, ekonomik bir gelir sağlayacaktır. Çalışma ile ortaya çıkan sonuçlar ile madencilik atıklarında puzolan katkıların kullanılması ile sektörümüz için işletme, çevre ve maliyet açısından önemli faydalar sağlanabileceği görülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FDK-2018-24707.

#### Kaynaklar

- Alp, I., Deveci, H., Yılmaz, E., Yılmaz, A.O. ve Kesimal, A., 2003. Investigation of The Potential Use of the Quarry Product from Tas, Hane-Terme As Trass Raw Material in Cement Industry, in: E. Yüzer, H. Ergin, A. Tuğrul (Eds.), Proceedings of the International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, Istanbul, Turkey, pp. 553–559.
- Amaratunga, L.M. ve Hein, G.G., 1997. Development of a High Strength Total Tailings Paste Fill Using Fine Sulphide Mill Tailings, In: Proceedings of the 29th Annual Conference of the Canadian Mineral Processor (CIMCMP), pp. 293-305.

- ASTM C39 / C39M-18, 2018. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- ASTM C 311, 2017. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C618-19, 2019. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- ASTM C 989 / C989M-18a, 2018. Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete And Mortars, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Başçetin, A., Eker, H., Tüylü, S. ve Adıgüzel, D., 2018a. Bir Bakır Madeni Artıklarının Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi, KAYAMEK'2018-12. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 3-5 Ekim 2018, Trabzon, Türkiye, 162-167.
- Başçetin, A., Eker, H., Tüylü, S. ve Adıgüzel, D., 2018b. Zeolit İkamesinin Çimentolu Macun Dolgunun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Proceedings of the 4 th International Underground Excavations Symposium, UYAK 2018, İstanbul, s. 575-581.
- Belem, T. ve Benzaazoua, M., 2008. Design and Application of Underground Mine Paste Backfill Technology, Geotechnical and Geological Engineering, 26, 147-174.
- Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman, P. ve Verburg, R., 1999. Cementitious Backfill with High Sulphur Content: Physical, Chemical And Mineralogical Characterization. Cem. Concr. Res. 29(5), 719 - 725.
- Benzaazoua, M., Belem, T. ve Bussiere, B., 2002. Chemical Factors that Influence the Performance of Mine Sulphidic Paste Backfill, Cement and Concrete Research, 32(7), 1133 - 1144.
- Bouzoubaa, N. ve Simon, F.S., 2005. Use of Fly Ash and Slag in Concrete: a Best Practice Guide. Materials Technology Laboratory (MTL), Public Works and Government Services, Government of Canada, 2004 - 16.
- Cihangir, F., Erçıkıd, B., Turan, A., Kesimal, A., Deveci, H., Yazıcı, M. ve Karaoğlu, K., 2011. Utilisation of Sodium Silicate Activated Blast Furnace Slag as an Alternative Binder in Paste Backfill of High-Sulphide Mill Tailings, In: Proceedings of the 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Perth, Australia, p 465-475.
- Cihangir, F., Erçıkıd, B., Kesimal, A., Turan A. ve Deveci, H., 2012. Utilisation of Alkali-Activated Blast Furnace Slag in Paste Backfill of High-Sulphidemill Tailings: Effect of Binder Type and Dosage, Minerals Engineering, 30, 33-43.
- Cihangir, F., Erçıkıd, B., Kesimal, A., Deveci, H. ve Erdemir, F., 2015. Paste Backfill of High-Sulphide Mill Tailings Using Alkaliactivated Blast Furnace Slag: Effect of Activator Nature, Concentration And Slag Properties, Minerals Engineering, 83, 117-127.
- Değirmenci, N., 2005. The Use of Industrial Wastes in Adobe Stabilization, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(3), 505-515.
- Değirmenci, N. ve Okucu, A., 2007. Usability of Fly Ash and Phosphogypsum in Manufacturing of Building Products, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2), 273-278.
- Douglas, E. ve Malhotra, V.M., 1989. Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Cemented Mine Backfill: Production and Evaluation, CIM Bull. 82, 929, 27-36.
- Eker, H. 2019, Metalik Proses Artıklarının Macun Dolgu Yöntemi ile Depolanmasında Uygun Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Erçıkıd, B. 2009. Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erçıkıd, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, I., 2009. Utilization of Industrial Waste Products as Pozzolanic Material in Cemented Paste Backfill of High Sulphide Mill Tailings, Journal of Hazardous Materials, 168, 848-856.
- Erçıkıd, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H. ve Alp, I., 2009b. Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings: Importance of Binder Type and Dosage. Cement and Concrete Composites, 31, 268-274.
- Erçıkıd, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, I., 2010. Effect of Natural Pozzolans as Mineral Admixture on the Performance of Cemented-Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings, Waste Management and Research, 28, 430-435.
- Erçıkıd, B., Baki, H. ve İzki, M., 2013. Effect of Desliming of Sulphide-Rich Mill Tailings on

- the Long-Term Strength of Cemented Paste Backfill, *Journal of Environmental Management* 115,5-13.
- Erçikdi, B., Külekci, G. ve Yılmaz, T., 2015. Utilization of Granulated Marble Wastes and Waste Bricks as Mineral Admixture in Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings, *Construction and Building Materials* 93, 573-583.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Fall, M., Benzaazoua, M. ve Ouellet, S., 2005. Experimental Characterization of The Influence of Tailings Fineness and Density on the Quality of Cemented Paste Backfill, *Minerals Engineering*, 18(1), 41-44.
- Fall, M., Adrien, D., Celestin, J.C., Pokharel, M. ve Touré, M., 2009. Saturated Hydraulic Conductivity of Cemented Paste Backfill. *Minerals Engineering*, 22(15), 1307-1317.
- Godbout, J., Bussière, B., Aubertin, M. ve Belem, T., 2007. Evolution of Cemented Past Backfill Saturated Hydraulic Conductivity at Early Curing Time, In: *Diamond Jubilee Canadian Geotechnical Conference and the 8th Joint CGS/IAH-CNC Groundwater Conference*, Ottawa, Ontario. Canadian Geotechnical Society, Alliston, Ontario.
- Hassani, F.P., Ouellet, J. ve Hossein, M., 2001. Strength development in underground high sulphate paste backfill operation, *CIM Bull.* 94 (1050), 57 - 62.
- Hassani, F.P., Nokken, M.R., Annor, A.B., 2007. Physical and Mechanical Behaviour of Various Combinations of Mine Fill Materials, *CIM Bull.* 2 (3), 72.
- Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Yılmaz, E., 2003. The Effect of Desliming by Sedimentation on Paste Backfill Performance, *Minerals Engineering* 16(10), 1009-1011.
- Külekçi, G., 2013. Investigation of the Utility of the Waste Brick And Marble on the Paste Backfill (M.Sc. thesis), Karadeniz Technical University, 72 p.
- Manca, P.P., Massacci, G., Massidda, L. ve Rossi, G., 1983. Mill Tailings and Various Binder Mixtures for Cemented Backfill: Analysis of Properties Related to Mining Problems. in: *Proceedings 3rd International Symposium on Mining with Backfill*, pp. 39 - 47.
- Nantel, J. ve Lecuyer, N., 1983. Assessment of Slag Backfill Properties for the Noranda Chadbourne Project, *CIM Bull.* 849, 57 - 60.
- Ramlochan, T., Thomas, M., ve Hooton, R. 2004. The Effect of Pozzolans and Slag on the Expansion of Mortars Cured at Elevated Temperature: Part II: Microstructural and Microchemical Investigations, *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1341-1356.
- Tariq, A., Nehdi, M., 2007. Developing Durable Paste Backfill from Sulphidic Tailings, *Waste Res Manage*, 160(4), 155-166.
- TS 25, 2015. Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gerekler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 450-1, 2013. Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standardı, 2013.
- Udd, J.E. ve Annor, A., 1993. Backfill Research in Canada. In: *Proceedings, Fifth International Symposium on Mining with Backfill*, The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 361-368.
- Uusitalo, R., Seppanen, P. ve Nieminin, P., 1993. The Use of Blast Furnace Slag as a Binder, In: *Symposium Presented at the Fifth International Symposium on Mining with Backfill*, pp. 169-172. Johannesburg, South Africa.
- Weaver, W.S. ve Luka, R., 1970. Laboratory Studies of Cemented-Stabilized Mine Tailings, *CIM Bull.* 701, 988-1001.
- Yılmaz, T., Erçikdi, B. ve Cihangir, F., 2017. Yüksek Fırın Cürufu ve Perlit İkamesinin Çimentolu Macun Dolgunun Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 239-251.
- Yılmaz, E. ve Guresci, M. 2017. Design and Characterization of Underground Paste Backfill, in: *Paste Tailings Management*, Yılmaz E, Mamadou, F, Eds, Springer, London/Berlin/Switzerland, Cham, pp,111-144.
- Yu, T.R. ve Counter, D.B., 1988. Use of Fly Ash in Backfill at Kidd Creek Mines; *CIM Bull.* 81, 909, 44-50.

## Dağıtık Veritabanlarında Saldırı Önleme Metotları *Intrusion Prevention Methods in Distributed Databases*

Çiğdem BAKIR<sup>\*a</sup>, Mehmet GÜÇLÜ<sup>b</sup>, Veli HAKKOYMAZ<sup>c</sup>, Banu DİRİ<sup>d</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 29.08.2019 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2020

### Öz

Dağıtık sistemlerin kullanılmasıyla birlikte verilere farklı kullanıcılar farklı yerlerden anlık erişim sağlayabilmekte ve veriler üzerinde birtakım işlemler yapabilmektedir. Ancak, birden fazla kullanıcının aynı anda farklı noktalardan sisteme yetkisiz olarak erişmek istemesi veri güvenliği ve verinin gizliliği noktasında tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışma, dağıtık veritabanları üzerine inşa edilmiş saldırı tespit ve önleme sistemleri üzerine olup, kullanılan metotların sınıflamasını yaparak, başarılarını analiz etmekte ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Üç kategori olarak sınıflandırılan yöntemlerden yapay zeka teknikleri içerisinde yer alan yapay bağışıklık algoritmasının veri madenciliği ve istatistiksel yöntemler içerisinde geçen diğer tekniklere oranla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dağıtık Veritabanı, İstatistiksel Yöntemler, Saldırı Tespit Sistemleri, Saldırı Önleme Sistemleri, Veri Madenciliği, Yapay Zeka Yöntemleri

### Abstract

With the use of distributed systems, different users can instantly access data from different locations and perform some operations on the data. However, the unauthorized access of multiple users to the system from different points at the same time can lead to dangerous results in terms of data security and confidentiality of the data. This study is based on intrusion detection and prevention systems built on distributed databases and classifies the methods used to analyze and evaluate successes comparatively. It is observed that the artificial immunity algorithm we have described in artificial intelligence techniques, which is one of the methods classified as three categories, gives more successful results compared to the other techniques mentioned in the data mining and statistical methods.

**Keywords:** Distributed Database, Statistical Method, Intrusion Detection System, Intrusion Prevention System, Data Mining, Artificial Intelligence Method

\*a Çiğdem BAKIR; cigdem.bakr@gmail.com; Tel: (0212) 383 5730; orcid.org/0000-0001-8482-2412

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-7507-5694

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-3245-4440

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-4052-0049

## 1. Giriş

Gelişen teknoloji sayesinde verilere erişim ve veri iletişimi oldukça kolaylaşmıştır. Günümüzde İnternet kullanım oranının artması, kullanılan alanının genişlemesi ve yapılan işlerin çeşitliliğinin artması neticesinde güvenlik konusu ciddi bir araştırma konusu haline gelmiştir. Dağıtık sistemlerin kullanılmasıyla birlikte verilere farklı kullanıcılar, farklı yerlerden anlık erişim sağlayabilmekte ve veriler üzerinde birtakım işlemler yapabilmektedir. Özellikle güvenlik alanında her gün yeni bir tehdit ile karşılaşmakta, buna istinaden güvenlik önlemlerinde de hızlı bir gelişim yaşanmaktadır. Bu manada bilgisayar sistemlerinin güvenliğini sağlamak, yetkisiz erişim yapılmasının önüne geçmek bilgi güvenliği kapsamında kimlik doğrulama ve erişim kontrolleri için mekanizmalar geliştirmek gibi amaçlarla birçok yeni uygulamalar geliştirilmiştir. İnternet ve haberleşme alanındaki gelişim süreçlerinin hız kazanması aynı zamanda kötü niyetli saldırganların zarar verebilecekleri daha çok sistemi ve buna bağlı olarak da çok daha fazla bilgiyi elde etme ihtimalini doğurmuş, işte bu sebeple saldırı sayısında ve saldırı tespit ve önleme metotlarının kullanımında ciddi ilgi artışları gözlemlenmiştir.

Genellikle saldırıların büyük çoğunluğu kullanılan sistemlerin açıklarından faydalanılarak gerçekleştirilmekte olup, bu tür saldırıların önlenmesi için güvenli bir ortam oluşturma ve de saldırıların zamanında tespit edilip önlenmesi gerekmektedir. Bir sistem ne kadar güvenli olursa olsun burada önemli olan saldırıların erken tespit edilip, olası sızmaların önüne geçmektir. Bu bağlamda, farklı kaynaklardan gelebilecek muhtemel her bir saldırı türü için geliştirilmiş ve geçmişten günümüze kadar araştırma ve geliştirme çalışmalarına konu olan çeşitli saldırı tespit ve önleme sistemleri mevcuttur. Bu çalışmada, saldırı tespit ve önleme sistemlerinin gelişim süreci boyunca varmış olduğu noktaya değinilmiş ve söz konusu sistemler sınıflandırılarak sınıf içi ve sınıflar arası performans değerlendirilmeleri gerçekleştirilmiştir. Makalenin kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: İlgili çalışmalar 2., veri seti tanıtımı 3., materyal ve metot 4., bulgular 5., değerlendirme 6., tartışma ve sonuç son bölümde verilmiştir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Veritabanı saldırılarını önceden tahmin etme ve güvenlik açıklarını saldırı oluşmadan fark

edebilme amacıyla çok etmenli istatistiksel bir tahmin sistemi olan Quickprop sinir ağları geliştirilmiştir (Ramasubramanian vd., 2014). Bu çalışmada gizli katmanları hesaplayabilmek için Pearson korelasyon katsayısı kullanılmış ve bir banka verisi üzerinde yetkisi olmayan kullanıcılar belirlenmeye çalışılmıştır. Kısa vadede gerçekleşen anormal ve hatalı kullanıcı davranışları tespit edilebilmiştir.

Hatalı kullanıcı davranışlarını çözebilmek amacıyla yapılan bir başka çalışma da, genetik algoritmaların kullanımınıdır (Romasubramanian vd., 2006). Genetik algoritma, sinir ağlarına dayalı olarak ağ özelliklerinden çeşitli kurallar oluşturarak elde edilen kurallar ile sınıflandırma yapar. Bu çalışmanın sonuçları diğer çalışmalarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Ancak, bu çalışma da öncekinde olduğu gibi kısa vadede gerçekleştirilecek saldırılar için bir çözüm önerisi getirmiştir.

Saklı Markov Modeli kullanılarak saldırıyı tahmin ve önleme çalışması, diğer bir çalışmadır (Haslum vd., 2007). Saklı Markov Modeli, verilen durumlardan yola çıkarak gizli durumları bulmak için gerçekleştirilen bir sınıflandırma algoritmasıdır. Dağıtık veriler birbirleriyle çok büyük ağlar üzerinde haberleşir ve bu sebeple ciddi saldırılara açıktır. Bu çalışmada fuzzy tekniği kullanılarak risk analizi yapılmış, tehlikeli olarak giden paket oranı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, dağıtık çevreler için risk oluşturacak saldırılar belirlenmeye çalışılmıştır.

Deng. ve çalışma arkadaşları (Deng vd., 2003) wireless ve geçici ağlar için (ad hoc networks) saldırı tespit sistemi için Support Vector Machine (SVM) tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Kablosuz ve geçici ağlar için güvenlik sorunları SVM yöntemi ile çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada hiyerarşik ve tamamlayıcı dağıtık sistemler iki yaygın Denial of Service (DoS) saldırısı için geliştirilmiş ve performans ölçümleri yapılmıştır. DoS saldırısının hız, haberleşme mesafeleri arasındaki uzaklık değişimleri ve yer bilgisinin sistem performansına etkisi gözlemlenmiştir.

Jemili ve çalışma arkadaşları (Jemili, 2009) saldırı tahmin ve tespit sistemleri için Bayesian ağı ile olasılıkları birleştiren hibrit yayılma temeline dayalı yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Hibrit yayılma yaklaşımı hem normal hem de ağda oluşan anormal bağlantıları fark etmeye yarar. Bu çalışmanın amacı olası saldırı planlarını, senaryolarını ve aralarındaki ilişkileri ortaya

çıkarmaktır. Ayrıca, bu çalışma barındırma (host) tabanlı saldırı tespit sistemleri ile ağ tabanlı saldırı tespit sistemlerini birleştirerek veri tutarlılığının sağlanmasını gerçekleştirmektedir.

Hu ve çalışma arkadaşları (Hu vd., 2014) ağda meydana gelen değişikliklerden dolayı fark edilemeyen ve sıklıkla değişen ağ saldırıları için Particle Swarm Optimization (PSO) ve SVM tekniklerini birleştiren bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca, Adaboost temelli saldırı tespit algoritması olan Gaussian Mixture Model kullanarak dağıtık veritabanının her düğümü için saldırıların bulunmasını sağlamaya çalışmışlardır. Ancak, bu yaklaşım tüm saldırı türlerini özellikle de yeni saldırı türlerini tespit etmeyi tam olarak sağlayamamıştır.

Abraham ve arkadaşları (Abraham vd., 2007) saldırı tespit sistemlerinde evrimsel (genetik) algoritmaların kullanımını amaçlanmıştır. Çalışmada, verilen özellikleri kullanmak suretiyle otomatik bir saldırı tespit programı geliştirilmiştir. Çıktı programı ise küçük ve basittir. Saldırı tespiti için birçok makine öğrenme yöntemlerinin tüm özellikleri kullanılırken, önerilen çalışmada genetik programlamanın, az sayıda özelliği kullanılmıştır. Gelecek zamanda genetik programlama kullanılarak kablolu ağlar için saldırı tespit sistemi geliştiren bir çalışma önerilmiştir.

Sağiroğlu ve arkadaşları çalışmalarında (Sağiroğlu vd., 2011) yapay sinir ağı kullanılarak bir ağ üzerinde akan paketlerin hangi saldırı yöntemini kullandığını tespit etme amaçlanmıştır. Bu saldırılardan “Neptune” ve “the ping of death” bulunması için Çok Katman Algılayıcı yapay sinir ağ modeli kullanılmıştır. DARPA veri setleri örnek alınarak ağlar için eğitmişlerdir. Bu çalışmanın neticesinde internette gelebilecek DoS ataklarının algılanması başarı ile sağlanmıştır.

Saldırı tespit sistemleri için geliştirilmiş ve günümüze kadar kullanılan çeşitli veri madenciliği yöntemleri, yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemler gibi birçok yöntem kullanılmıştır.

### 3. Veri Seti Tanıtımı

Saldırı tespit sistemleriyle ilgili uygulamalarda en çok kullanılan veri setlerinden biri “KDD Cup’99” (Knowledge Discovery and Data Mining Cup’99) veri kümesidir. Bu veri kümesi üzerinde çok katmanlı yapay sinir ağlarının

uygulanabilirliği test edilmiş ve paralel programlama ile performans analizleri yapılmıştır (Yıldırım vd., 2014). KDD-Cup 1999 verisi DoS, R2L, U2R ve Probe olmak üzere farklı türden saldırıları içeren bir veri setidir. Bu veri seti toplam da 972780 örnek içerir. DoS saldırı türünde saldırgan sunucuya sürekli sahte istekler göndererek sunucuyu meşgul eder. Bu durumda sunucu resmi yollarla istekte bulunan kullanıcıların isteklerine cevap veremez hale gelir. R2L (Remote to Local Attack) saldırı türünde erişim yetkisi bulunmayan saldırgan ağ üzerinden paket gönderir. Böylelikle sisteme erişimi sağlayarak gerekli verileri izinsiz olarak kullanır. U2R (User to Root Attack) saldırı türünde saldırgan kullanıcının şifresini ele geçirerek sisteme yöneticiymiş gibi erişir. Probe (Probing Attack) saldırılarında ise saldırgan sistemdeki güvenlik kontrollerini bozarak ağ üzerinden istediği verileri alır.

KDD-Cup 1999 veri seti, Darpa Bsm (Defense Advanced Research Projects Agency Basic Security Module) verisinden türetilen bir veri setidir. Darpa Bsm verisi Amerikan Hava Kuvvetlerine ait bir ağ trafiğinin simülasyonu sonucu oluşturulmuştur ve saldırı tespitinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Toplamda 7 haftalık eğitim ve 2 haftalık test verisi olmak üzere 38 farklı saldırı türü içerir. Veri setinin içeriği saldırıya uğrayan makineden gece ve gündüz ağ dinleyicisinden alınan tcpdump dosyaları, saldırıya uğrayan makinelerden alınan kayıtların, log kayıtları ve güvenlik modülünden alınan dosyaları oluşturur (Liao vd., 2002).

### 4. Materyal ve Method

Dağıtık veritabanlarında saldırı tespit ve önleme sistemlerinde kullanılan yöntemler Tablo 1’de gösterildiği gibi üç ana grupta toplanmıştır: Veri madenciliği yöntemleri, İstatistiksel yöntemler ve Yapay Zeka yöntemleri. Her bir yöntemdeki tekniklere izleyen alt bölümlerde yer verilmiştir. Ayrıca, tekniklerin performans değerleri grup içi ve gruplar arası olmak üzere değerlendirilmiştir.

#### 4.1. Veri Madenciliği Yöntemleri

Bu grup altında K-Ortalama Kümeleme, En Yakın Komşuluk, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri ve Birliktelik Kuralları teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



**Tablo 1.** Saldırı tespit ve önlemede yöntemler

Kullanılan Yöntemler	
Veri Madenciliği	K-Ortalama kümeleme K En Yakın Komşuluk (kNN) Karar Ağacı Destek Vektör Makineleri (SVM) Birliktelik Kuralları
İstatistiksel Yöntemler	Öğrenmeli Vektör Kuantalama (LVQ) Saklı Markov Modelleri (SMM) Naive Bayes Bulanık Mantık
Yapay Zeka Yöntemleri	Genetik Algoritma Yapay Sinir Ağları Yapay Bağışıklık Teknikleri

#### 4.1.1. K-Ortalama Kümeleme

K-Ortalama Kümeleme tekniği nesnelere benzerliklerine göre gruplandırma eğitici olmayan öğrenme yöntemlerinden biridir. Bölünmeye dayalı bir yöntem olan K-Ortalama kümeleme, N tane nesneyi k küme merkezi uzaklığına göre hesaplar ve nesne hangi küme merkezine yakın ise o kümeyle dahil eder. Küme merkezi başlangıçta rastgele bir veya daha fazla örneğin ortalaması alınarak belirlenir ve her iterasyonda yeniden hesaplanır. Her defasında yeni küme merkezlerine göre tüm verilerin benzerlikleri bulunur. Bu şekilde benzer nesnelere aynı kümeyle diğer nesnelere farklı kümelerle ayrılır. Bu adımlar iteratif olarak tekrar eder. Kümeleme hata oranı (amaç fonksiyonu) minimum olduğunda adımlar sona erer. Saldırı tespit ve önlemede k-Ortalama; N adet saldırı türünü k adet kümeyle böler. Bölme işlemi sonucunda elde edilen kümelerin, küme içi benzerlikleri maksimum olurken; kümeler arası benzerlikleri minimum olmalıdır. Bu yöntemin başarısı ve performansı başlangıçta rastgele seçilen k adet küme sayısı, küme merkezleri ve kullanılan benzerlik ölçütlerine göre değişmektedir. Bu sebeple yanlış alarm (false alarm) oranını bulmada çok başarılı sonuçlar vermemiştir (Sharma vd., 2018). Yanlış alarm oranı, saldırı olmayan bir verinin saldırıya uğrayan bir veri olarak kabul edilmesi yani hatalı olarak sınıflandırılmasıyla da saldırıya uğrayan bir verinin normal bir veri olarak sınıflandırılması oranıdır.

K-Ortalama yöntemi saldırı tespit ve önleme sistemlerinde hesaplama karmaşıklığını azaltmak ve sınıflandırma başarısını arttırmak için kullanılmıştır (Faroun vd., 2007). KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda k-Ortalama

Kümeleme yöntemi yaklaşık %92 başarı sağlamıştır (Sharma vd., 2018). Nadiammai ve arkadaşları ise (Nadiammai vd., 2012) KDD-Cup 1999 verisi üzerinde k-Ortalama Kümeleme yöntemi ile %92.05 başarı elde etmişlerdir.

#### 4.1.2. K En Yakın Komşuluk

K En Yakın Komşu yöntemi, en eski ve en basit eğitici sınıflandırma yöntemidir. Verilen giriş vektörleri arasındaki uzaklığı hesaplar ve k adet en yakın komşusunun sınıfını seçer. Farklı k değerleri için farklı sınıflar bulunabilir. Bu sebeple sınıflandırma zamanı ve sınıflandırma doğruluğu için k parametresi oldukça önemlidir (Malhotra vd., 2017). Bu yöntemde sınıfı bulunmak istenen verinin, bilinen tüm verilere olan uzaklıkları hesaplanır. Uzaklık ölçütü olarak genelde Öklid uzaklığı kullanılır. Rastgele k adet komşu sayısı belirlenir. Veri, en yakın k adet komşusuna bakılarak dahil olduğu sınıf belirlenir. Bu yöntemde, k-Ortalama Kümeleme yönteminden farklı olarak kullanılan veri setinin sınıfları bellidir ve yeni gelen veri bu sınıflara bakılarak bulunur.

kNN algoritması saldırı tespitinde, normal ve saldırgan türlere ait veri örneklerinin sınıflandırılması için kullanılmıştır (Malhotra vd., 2017). Sınıfı bulunacak verinin tüm veriye olan uzaklığı hesaplanır. K adet verinin ortalamasına bakılarak eldeki verinin saldırı sınıfı belirlenir. Bu yöntemin başarısını ve performansını k adet komşu sayısı ve verinin sınıf sayısının dengeli olup olması etkiler.

Darpa Bsm verisi üzerinde sistem çağrılarının frekansına bakarak saldırgan sınıfa ait örnekleri tespit etmeye çalışmışlardır ve düşük yanlış pozitif oranı sağlamışlardır. Yanlış pozitif oranı saldırı içermeyen bir verinin saldırı türü olarak bulunması yani yanlış olarak sınıflandırılma oranıdır.

Saldırı tespitinde ve önlenmesinde hatalı ve normal olmayan verileri belirleyecek yanlış alarm oranını azaltmak için kNN sınıflandırıcı kullanılmıştır (Law vd., 2004). Bu çalışmada normal ve saldırgan olan verinin yanlış alarm modellerinin 5 yakın komşuluğu alınmıştır ve yüksek oranda başarı sağlamışlardır. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda kNN En Yakın Komşuluk yöntemi yaklaşık %96 başarı sağlamıştır (Senthilnayagi vd., 2019). Ayrıca, Aburomman ve arkadaşları (Aburomman vd., 2016) tarafından KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmada da yaklaşık %96 başarı elde

edilmiştir. Chen ve arkadaşları (Chen vd., 2016) ise KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yaptıkları çalışmada %91.96 başarı sağlamışlardır.

#### 4.1.3. Karar Ağaçları

Karar Ağacı tekniği veri madenciliğinde kullanılan ilk sınıflandırma algoritmalarından biridir. Sınıflandırma sonuçları daha kolay ve daha hızlı bir şekilde elde edilir. Bu teknikte her veri setinde sütunlar özellikleri gösterirken, her bir satırda bu özelliklerin değerleri tanımlanır. Ayrıca, her bir kayıt için özelliklerin değerlerine bağlı olarak sınıflar tanımlanır. Karar ağacında ilk yaklaşım özellikleri seçmektir. Daha sonrasında bu seçilen özelliğe göre sınıflar bölünür ve bu işlem iteratif olarak tekrarlanır.

Her düğüm bir özelliği gösterir ve bu düğümlerin çocuk düğümleri vardır (Moon vd., 2017). Karar ağacı tekniği kısacası iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada kök ve çocuk düğümlerden oluşan bir ağaç oluşturulur. İkinci aşamada ise bu ağacın yapısına göre çeşitli sınıflandırma kuralları çıkarılır. Bu sınıflandırma kuralları ağacın kök düğümü ile yaprakları arasında kalan düğümleri gösterir.

Ağ tabanlı saldırı tespit ve önleme sistemlerinde her düğüm, kullanıcı ya da verideki saldırı türlerini ya da normal olayları gösterir. Karar ağacı veri setini modelleyerek sınıflandırma problemini çözer. Hatalı saldırı tespitinde oluşturulan modele göre gelecekteki saldırı türlerini tahmin eder. Gerçek zamanlı saldırı tespitinde yüksek performans sağlar. Kural tabanlı çeşitli modelleri kullanır. Yeni saldırı türlerinin tespitinde ise oldukça başarılı sonuçlar verir. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda karar ağacı yöntemi yaklaşık %97 başarı sağlamıştır (Ugochukwu vd., 2018). Rachburee ve arkadaşları (Rachburee vd., 2017) KDD-Cup 1999 verisi üzerinde saldırı tespit sistemi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada Chi-Square yöntemi ile bu veri setinde özellik seçimi yapılarak saldırı türleri Karar Ağaçları ve Yapay Sinir Ağları ile sınıflandırılmıştır.

#### 4.1.4. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines–SVM) verileri analiz etmede, sınıflamada kullanılan eğitici öğrenmeye dayanan bir tekniktir. SVM başlangıçta iki sınıflı veri problemini çözmek için kullanılsa da daha sonra genişletilerek çok sınıflı veri probleminde kullanılmıştır. İki sınıflı veri probleminde iki

sınıfı birbirinden ayırmak için bir model oluşturulur. Bu model fonksiyon oluşturularak elde edilir. Yeni gelen verinin hangi sınıfa ait olduğu bu fonksiyona göre belirlenir. SVM tekniğindeki amaç; iki sınıfı birbirinden ayıracak en uygun hiper düzlemi elde edecek fonksiyonu bulmaktır. Ayrıca, iki sınıfa ait destek vektörleri sınıfları birbirinden ayırmak için mümkün olduğunca maksimum olmalıdır.

SVM yüksek boyutlu uzayda her bir eğitim vektörünün sınıfını belirleyen sınıflandırma algoritmasıdır. SVM verinin destek vektörlerini belirleyecek sınıflar ve hiper düzlem ile sistemin çıkışını belirler. Eğitim anında destek vektörlerini doğrusal, polinomsal ya da sismoid fonksiyonlar ile belirler. SVM'in sınıfları birbirinden ayırması çeşitli parametrelere bağlı olarak değişir (Shams vd., 2018).

Saldırı tespit ve önlenmesinde Darpa Bsm verisi üzerinde saldırı türlerini sınıflandırmak için SVM kullanılmıştır (Mukkamala ve Januski, 2002). SVM'in saldırı tespitinde iki önemli rolü vardır. İlk ve en önemlisi saldırı tespiti için gerçek zamanlı performans sağlayarak sistemi eğitmesidir ve sistemin başarısını hesaplamasıdır. İkinci rolü ise sistemde meydana gelebilecek ölçekleme problemlerinin üstesinden gelmesidir. Ayrıca, SVM yüksek boyutlu uzayda ve karmaşık sınıflandırma problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Mukkamala vd., 2002). Chen ve arkadaşları (Chen vd., 2016) ise KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yaptıkları çalışmada %92.46 başarı sağlamışlardır. Ayrıca, Aburomman ve arkadaşları (Aburomman vd., 2016) tarafından KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmada da %93.9 başarı elde edilmiştir.

#### 4.1.5. Birliktelik Kuralları

Birliktelik Kuralları algoritması geçmiş verilere bakarak veriler arasındaki birliktelik davranışlarını inceleyen veri madenciliği tekniğidir.  $T$  transaction olmak üzere veritabanında tüm transaction işlemleri  $\{ T_1, T_2, \dots, T_n \}$  ve işlem yapılan nesnelere  $\{ i_1, i_2, \dots, i_m \}$  ile ifade edelim. Veriler arasındaki ilişki kural  $X \rightarrow Y (c, s)$  'dir. Burada  $s$  veriler arasındaki destek (support),  $c$  ise güven (confidence) aralığını gösterir. Destek bir nesnenin tüm nesnelere için kullanılma sıklığını gösterir. Güven ise bir nesnenin diğer nesneyle kullanılma sıklığını gösterir.  $s$  birlikte yapılan  $X$  ve  $Y$  transaction işlemlerinin yüzdesini;  $c$  ise oranını belirtir (Tajbakhsh vd., 2009). Birliktelik kuralları en çok ürün satışında kullanılır. Örneğin; marketlerdeki

birlikte satılan ürünler bulunarak müşterilerin daha fazla satış yapılması sağlanabilir. Bu algortmada ilk adım her bir transaction işlemi için sık kullanılan veri nesnelere bulmak ve s güven aralığı için eşik değeri belirlemektir. İkinci adım ise veri seti için uygun kuralları oluşturmaktır. Apriori algoritmasındaki temel problem çok sayıda kuralı oluşturmaktır. Ancak sık kullanılan veri nesnelere seçilerek bu veri nesnelere üzerinde oluşturulan kuralları sınırlandırılabilir. Algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

- En küçük destek ve güven aralığı belirlenir.
- Her nesnenin destek değeri bulunur.
- En küçük destek değeri ile her nesnenin destek değeri kıyaslanır ve en küçük değerden küçük olanlar nesnelere kümesinden atılır.
- İkili birliktelik kuralları oluşturulur ve aynı işlemler tekrarlanır.

Saldırı tespit ve önlemede birliktelik kuralları kullanılarak yeni bir yaklaşım KDD-99 veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tajbakhsh vd., 2009). Bulanık ilişkisel kural seti ile birlikte farklı sınıfları belirleyen yeni sınıflandırma yaklaşımı oluşturulmuştur. Ayrıca, yeni veri nesnelere üzerinde ölçümler yapılabilecek etkili bir algoritma gerçekleştirilmesi hedeflemiştir. Tajbakhsh ve arkadaşları (Tajbakhsh vd., 2009) tarafından yapılan bu çalışmada %91 başarı sağlanmıştır. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda Birliktelik Kuralı yöntemi yaklaşık %96 başarı sağlamıştır (Abraham vd., 2007).

Olay kayıtları üzerinden okuma ve yazma işlemleri arasında ilişkisel kuralları oluşturarak güvenlik analizleri yapılmıştır (Hu vd., 2004). Bu çalışmada çok büyük veritabanı üzerinde güvenilir okuma ve yazma transaction işlemleri belirlemeye çalışarak sistemin performansı ölçülmüştür.

#### 4.2. İstatiksel Yöntemler

Bu grup altında Öğrenmeli Vektör Kuantalama, Saklı Markov Modelleri, Naive Bayes ve Bulanık Mantık teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

##### 4.2.1. Öğrenmeli Vektör Kuantalama

Öğrenmeli Vektör Kuantalama (Learning Vector Quantization-LVQ) bir eğitimci sınıflandırma yöntemidir. Bu teknik Kohonen öğrenme kuralına göre gerçekleştirilir. LVQ tekniği diğer sınıflandırma algoritmalarından farklı olarak; n

boyutlu girdi vektörünün hangi işlem elemanına ait vektörler ile temsil edilebileceğini bulur. Sınıfı bilinmeyen bir girdi vektörü için en yakın özellik vektörü bulunur. Bu vektörün bulunması öğrenme oranına ve maksimum eğitim sayısına bağlı olarak değişir. Girdi vektörüne en yakın işlem elemanı ödüllendirilir ve girdi vektörünün sınıfı bu işlem elemanına yaklaştırılır. Böylelikle bu işlem elemanı ödüllendirilir. Değil ise uzaklaştırılarak cezalandırılır. Bu şekilde özellik vektörleri güncellenir.

LVQ saldırı tespit ve önleme sistemlerinde sisteme giriş olarak verilen saldırı türlerini sınıflandırmak için bir katman kullanır. Bu katman giriş vektörlerinden bağımsızdır ve birbirine benzeyen giriş vektörlerini aynı sınıfta toplar (Noum vd., 2012). LVQ ağları ilk ve sonraki katman olmak üzere iki katmana sahiptir. İlk katman giriş vektörü olarak verilen saldırı türlerini sınıflandırmak için eğitir. İkinci katman kullanıcının belirlediği hedef katmana dönüştürülür. Eğitilen sınıflar sistemin alt sınıflarını ve hedefte oluşması gereken sınıflarını gösterir.

LVQ telekomünikasyondan robotiğe kadar birçok uygulamada başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Hamman vd., 2014). Ayrıca bu sınıflandırma algoritması sezgiseldir ve LVQ2, LVQ3 gibi çeşitli formları vardır. Sınıflar arasındaki uzaklık hesaplanarak maliyet fonksiyonu hesaplanır (Hamman vd., 2014). Öğrenme oranı ve iterasyonların sayısı performansı belirler ve iteratif olarak seçilir.

Saldırı türlerini sınıflandırmak için LVQ kullanılmıştır (Noum vd., 2012). Normal, DoS, U2R, R2L ve Prob olmak üzere 5 saldırı türünü sınıflandırmak için iki katman kullanılmışlardır. Bu katmanlar alt sınıf ve ana sınıfı belirler. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda LVQ yöntemi yaklaşık %81 başarı sağlamıştır (Soleiman vd., 2014). Degang ve arkadaşları (Degang vd., 2007) aynı veri seti üzerinde veriyi normalize edip, özellik seçimi yaptıktan sonra LVQ kullanarak saldırı türlerini sınıflandırarak %76.3 başarı elde etmişlerdir.

##### 4.2.2. Saklı Markov Modelleri

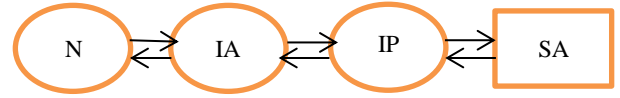
Saklı Markov Modelinde (Hidden Markov Model-HMM) sisteme giriş olarak mevcut durumlar verildiğinde oluşabilecek gelecek durumlar tahmin edilmeye çalışılır. Her çalıştırıldığında farklı bir çıkış ürettiğinden HMM stokastik bir süreçtir. Ayrıca, Markov modellerinde sistem

olasılık dağılımına bağlı olarak kendi durumundan başka bir duruma geçebilir ya da aynı durumda kalabilir. Durumda meydana gelen olasılıklar geçiş olasılıkları olarak adlandırılır. HMM normal Markov modelinden farklı olarak durumlar gözlemci tarafından görülmez. Ancak, duruma bağlı olan geçişler görülebilir.

Saldırı tespit sistemleri dağıtık sistemlerde ağ trafiğindeki kötü paketleri fark eden savunma mekanizmalarıdır. Saldırı önleme sistemleri ağ tabanlı ve host tabanlı saldırı önleme sistemleri olmak üzere 1'ye ayrılır. Saldırı önleme sistemlerinin asıl amacı normal ağ trafiğindeki şüpheli akışı ve şüpheli paketleri gözlemlemektir. Ayrıca, şüpheli ağ trafiğinin yolunu yeniden düzenleyerek DoS saldırısı gibi saldırılarının önlenmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda tüm ağ performansını ve yüksek paket işleme oranlarını gözlemler. Yanlış pozitif oranlarını DoS aşamasında azaltmaya çalışır (Haslum vd., 2007).

HMM biyoinformatik, el yazısı tanıma, görüntü işleme ve ses işleme gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dağıtık veritabanında saldırı tahmin önleme için HMM kullanılmıştır ve risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Haslum ve Abraham, 2007). HMM'de iki stokastik işlemi vardır. Biri sistemin durumu ( $x_t; t=1,2,\dots$ ) diğeri ise gözlemlenebilen işlemler ( $y_t; t=1,2,\dots$ )'dir. T saldırı tespit temsilcileri arasında ardışık olan gözlemleri ifade etmektedir. HMM birimleri aşağıdaki gibidir (Haslum ve Abraham, 2007):

- $S = \{ s_1, s_2, \dots, s_N \}$  sistemde olası durumları tanımlar. Bu çalışmada Normal (N), Intrusion Attempt (IA), ağda oluşan şüpheli aktiviteler Intrusion in Progress (IP) ve bir ya da daha fazla saldırının sistemde olması Successful Attack (SA) olmak üzere 4 durum vardır.
- Sistemde oluşan gözlemler ise  $V = \{ v_1, v_2, \dots, v_M \}$  ile ifade edilir. Bu çalışmada hiç şüpheli aktivite olmaması (N), ağda şüpheli bir aktivitenin olması (P) ve şüpheli bir aktivitenin başarılı olarak gerçekleştirilme gözlemi (SA) olmak üzere üç gözlem vardır.
- İlk dağıtık vektör  $\pi = \{ \pi_i \}$  ve  $\pi_i = P(x_i=i)$  olarak sistemde tanımlanır. Bu sistem N-durumlu olarak farz edilir.
- Geçiş olasılık matrisi  $P = \{ p_{ij} \}$  ve  $p_{ij} = P(x_t=j | x_{t-1}=i)$ 'dir. Bu sisteme izinsiz olarak giren kullanıcılar ile sistem arasındaki etkileşimi gösterir.
- Gözlemlenebilen olasılık matrisi ise her saldırı tespit sisteminin temsilcileri için güvenliği ya da kalitesi için tanımlanır.



Şekil 1. HMM'de kullanılan güvenlik durumları

Saklı Markov modelinin ağlardaki güvenlik modellemesi Şekil 1'deki gibidir (Haslum vd., 2007). Durumlar güvenlik durumlarını daireler olarak gösterirken eğer sisteme zarar veren bir durum oluşmuşsa bu durum SA ile gösterilmiştir. Gözlemler mevcut durumlardan bağımsızdır. Her iterasyon sonucundan hesaplanan olasılık dağılımları güncellenir (Rabier, 1990). Deshmukh ve arkadaşları (Deshmukh vd., 2015) tarafından KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yaptıkları çalışmada %93.4 başarı elde etmişlerdir. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda Saklı Markov modeli yöntemi yaklaşık %92 başarı sağlamıştır (Shanmugauadiu vd., 2014).

#### 4.2.3. Naive Bayes Sınıflandırıcılar

Naive Bayes tekniği Bayesian olasılığına dayalı bir tekniktir. Naive Bayes sınıflandırıcısı birbirinden bağımsız olayları işler. Bunun en önemli nedeni bir özelliğin olasılığının diğer özelliklerin olasılığından etkilenmemesidir. Metin dokümanlarını sınıflandırmada, e-postadaki gelen mailleri spam olup olmadığını sınıflandırmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Verilerin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için tüm verilerin olasılıklarını hesaplar. Bir verinin olasılığı diğer verilerin gerçekleşme durumunun meydana gelme olasılığına ve tüm verilerin olma olasılığına bağlıdır. Hangi sınıfın olasılık değeri büyükse veri o sınıfa dahil edilir. Naive Bayes sınıflandırıcısı tekniğinin sonuçları genelde doğrudur. Ancak verinin gürültülü olması, varyansı gibi bazı sebeplerden dolayı hatalı sonuçlar üretebilir. Naive Bayes giriş özelliklerini indirgeyerek önemli özelliklerin bulunmasını sağlar. Böylelikle etkili ve etkin saldırı tespit sistemi oluşturulabilir (Mukherjee vd., 2012).

Naive Bayes sınıflandırma yöntemi ile ağda meydana gelen saldırılar tespit edilmeye çalışılmıştır (Sharma, 2012). KDD'cup'99 veri seti üzerinde ağda meydana gelen yeni saldırı türlerini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Deshmukh ve arkadaşları (Deshmukh vd., 2015) tarafından KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yaptıkları çalışmada %88.02 başarı elde etmişlerdir. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda Naive Bayes yöntemi yaklaşık %91 başarı sağlamıştır (Obeidat vd., 2019).

#### 4.2.4. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) teknikleri bilgisayar güvenliği alanında 90'lı yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu teknikte kesinlik kavramı yoktur. Bir veri birden fazla sınıfa üyelik derecesine göre dahil edilir. Üyelik derecesi 0 ve 1 arasındadır. Örnek verecek olursak havanın veya suyun sıcak, soğuk ve ılık olması kişilere göre değişiklik gösterir. Bu sebeple belli değer aralıkları bu üç sınıfa kapsar. Bulanık Mantık tekniğinin adımları aşağıda verilmiştir:

- Tüm veriler tanımlanır.
- Üyelik fonksiyonları belirlenir.
- Uygulanacak kurallar tanımlanır.
- Kurallar değerlendirilir ve birleştirilir.
- Veriler gösterilen üyelik değerlerine göre sınıflandırılır.

Karışık sistemlerde bilgisayar güvenliğini sağlamak için gelen verileri sürekli analiz eder. Ayrıca, bu teknik kullanıcı imzalarını ya da klasik örüntü tanımayla saldırıları tespit etmeye çalışır. Hatalı ya da normal olmayan olayları tespit eder. İki aşamadan oluşur. İlk aşama kural üretimi; ikinci aşama ise saldırıların tespiti ve önlenmesidir. Bulanık Mantık, düşük, orta ve yüksek saldırı türlerini birbirini kapsayacak biçimde ele aldığı için birçok keskin sınır probleminin üstesinden gelir ve yanlış Pozitif olarak oluşan hataları azaltır. Gerçek zamanlı sistemlerde sistem optimizasyonunu sağlar (Rizvi vd, 2016).

Bulanık Mantık tekniği kullanılarak Tian ve arkadaşları (Tian, 2005) büyük veri setleri alt veri setlerine bölünmüştür ve farklı veri setleri için TCP verisi izlenerek veri setinin performans analizi gerçekleştirilmiştir. KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda Bulanık Mantık yöntemi yaklaşık %94 başarı sağlamıştır (Shanmugauadi vd., 2014). Nadiammai ve arkadaşları ise (Nadiammai vd., 2012) KDD-Cup 1999 verisi üzerinde k-Ortalama Kümeleme yöntemi ile %81.54 başarı elde etmişlerdir.

#### 4.3. Yapay Zeka Yöntemleri

Bu grup altında Genetik Algoritma, Yapay Sinir Ağları ve Yapay Bağışıklık teknikleri yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerdir.

##### 4.3.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma arama ve optimizasyon problemlerinin çözümünde ayrıca, modelleme

yapabilmek için kullanılan biyolojik süreçlerin esas alındığı yöntemlerdir.

Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılır. Genetik algoritmalar rastgele arama metodu olduğu için problemin optimum çözümü için tek bir çözüm aramak yerine birden fazla çözüm kümesi üzerinden çalışır. Bu nedenle problem çözümünde sonuçlar her zaman en iyi olmaz. Genetik algoritmanın tercih edilmesinin nedeni, genetik algoritmanın problemin doğasıyla ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamasıdır. Genetik algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir (Kannan, 2016):

- Rastgele popülasyon oluşturulur.
- Genetik işlemler (seçme, çaprazlama) uygulanarak bu popülasyondan yeni bireyler oluşturulur. Seçme ve çaprazlama işlemleri popülasyondaki bireylerden gen alışverişi yaparak yeni bireyleri oluşturur.
- Bu bireyler içerisinde problemi çözebilecek en uygun bireyler seçilir.
- Popülasyon boyu tüm iterasyonlar için aynıdır ve gelecek iterasyon için fonksiyonun en yüksek olasılığı seçilir. İterasyon en uygun eşik değerine gelince durur.

Dağıtık sistemlerde ağ yapısı  $G=(N,E)$  ağırlıklı graf ile gösterilir. E düğümler arasındaki haberleşme bağlantılarını gösterirken N ise düğümleri gösterir. Çoklu ağ yapılarında T değişkeni maliyet olmak üzere ağ yapısı  $T=(N_T,E_T)$  gösterilir.  $P_T(s,u)$  ise; s kaynağından u hedef düğüme olan yolu gösterir. T maliyeti eşitlik 1'teki gibi hesaplanır (Kannan, 2016).

$$C(T_e) = \sum e \in E_T C(e), e \in E_T \quad (1)$$

s kaynak düğümünden u hedef düğüme olan minimum bant genişliği ise eşitlik 2'teki gibi hesaplanır.

$$B_T = \min(B(e), e \in E_T) \quad (2)$$

KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarda genetik algoritma yaklaşık %85 başarı sağlamıştır (Hassan, 2013).

##### 4.3.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network-ANN) insan beynini modelleyen bilgi sistemleridir ve öğrenme yoluyla verileri sınıflandırır. İnsan beyninin çalışma prensibinden hareketle geliştirilmiştir. Bir başka deyişle; ANN

biyolojik sinir ağlarına benzer bir mantıkla geliştirilmiş ve birbirine ağırlıklar ile bağlantılı olan bilgi işleme yapılarıdır.

Bir ANN girdi, çıktı ve gizli katmanlardan oluşur. Girdi katmanı ile veriler yapay sinir ağına alınır, çıktı katmanı ile veriler dışarıya aktarılır. Girdi ile çıktı katmanları arasındaki katmanlar ise gizli katmanları oluşturur.

İleri beslemeli Yapay Sinir Ağlarında nöronlar sadece ileriye doğru bağlıdır. Nöron, birbirine bağlanmış tüm verileri ifade eder. Nöron ağının herbir katmanı gelecek katmanın bağlantısını içerir ve bu bağlantılar geriye doğru değildir. Yani nöronlar arasında hiyerarşik bir yapı vardır ve bir katmandaki nöronlar sadece kendinden sonraki katmana veri iletir. Şekil 3'te ileri beslemeli ANN yapısı gösterilmiştir. İleriye geçiş, çıkış katmanına ulaşan aktivasyon akışı ve giriş örneklerinden oluşur. Sigmoid, Gauss fonksiyonu gibi aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Geriye geçiş aşamasında ise ağıdaki asıl çıkış hedef çıkış ile karşılaştırılır ve çıkış birimlerinde oluşan hata hesaplanır (Alhello vd., 2017). Bu yapı saldırı tespit ve önleme sistemleri için eşitlik 3, eşitlik 4 ve eşitlik 5'deki gibi hesaplanır (Tong vd., 2009).

$$x(t) = f(W^A x_C(t) + W^B u(t-1)) \quad (3)$$

$$x_C(t) = x(t-1) \quad (4)$$

$$y(t) = g(W^C X(t)) \quad (5)$$

Bu ifadelerde  $x(t)$  gizli katman çıkışını,  $y(t)$  çıkış katmanının çıkışını,  $u(t-1)$  ise ağı girişini,  $W^A$  birimler ve gizli katman arasındaki bağlantının ağırlığını,  $W^B$  giriş ve çıkış katmanları arasındaki bağlantının ağırlığını,  $W^C$  gizli ve çıkış katmanları arasındaki bağlantının ağırlığını,  $f(.)$  ve  $g(.)$  ise gizli katman ve çıkış katmanları arasındaki aktivasyon kodunu gösterir (Tong vd., 2009).

Geri yayılım (backpropagation) ağ ise nöronun nasıl eğitildiğini gösterir. ANN eğitici öğrenmenin bir türüdür. Eğitici method kullanıldığında ağ hem örnek girişleri hem de beklenen çıkışlar ile sağlanır. Girişleri verilen ağlar için beklenen çıkışlar asıl çıkışlarla karşılaştırılır. Beklenen çıkışların kullanılması durumunda hata hesaplanır ve çıkış katmanından giriş katmanına geriye doğru çeşitli katmanların ağırlıkları ayarlanır. Ağ beklenen çıktıyı elde etmek üzere katsayılarını günceller.

ANN'da her iterasyon sonucunda çıkış katmanındaki hata hesaplanarak bu hata çıkış katmanından giriş katmanına doğru bütün nöronlara iletilir ve ağırlıklar hata payına göre tekrar düzenlenir. Bu hata payı nörona ait kendinden önceki nöronlara ağırlıklarıyla orantılı olarak dağıtılır.

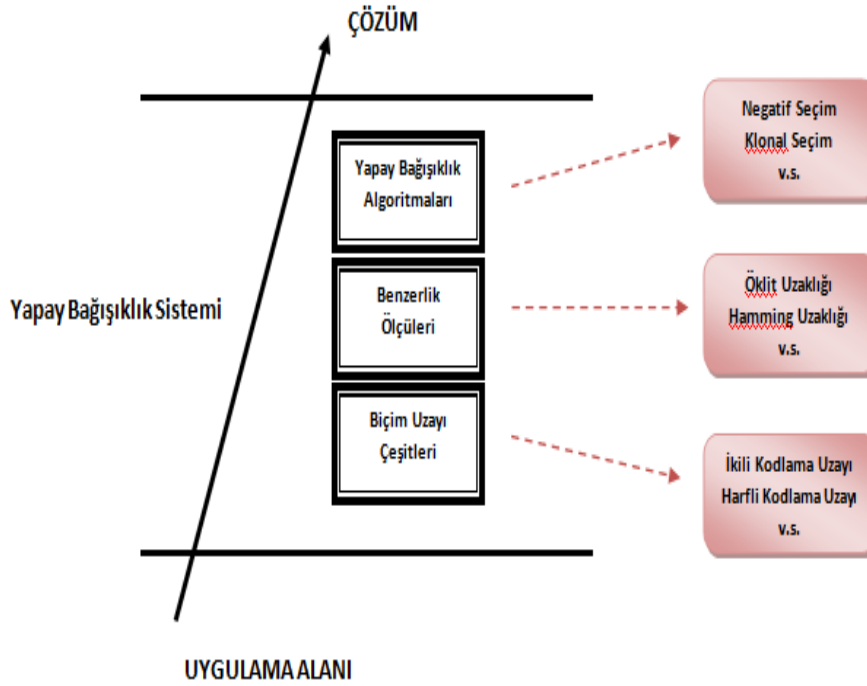
ANN dağıtık sistemlerde güvenlik açıklarının çözümlenebileceği bir yöntemdir. Dağıtık hesaplamalarda ANN düğümler, düğümler arasındaki bağlantılar ve işlem birimlerinden oluşur. İki birim arasındaki bağlantı bir birimin diğer birimi etkileyen ağırlıklarından oluşur. Bu birimler giriş düğümlerinden çıkış düğümlerine doğru toplanarak ve eşik değerden geçerek hareket eder. ANN farklı ağ güvenliklerinde, tıpta, pazarlamada, bankacılık ve finansa, telekomünikasyonda, işlemler yönetiminde ve diğer endüstrilerde uygulanır (Alhello vd., 2017).

Tong ve arkadaşları saldırı tespit sisteminde ANN modelini kullanmışlardır. Elman sinir ağları ile hem hatalı hem de anomali saldırıları tespit etmeye çalışmışlardır. Bu sinir ağları düğümlerin içeriğine sahiptir ve her düğümün içeriği tek gizli katmandan girişini alır ve her düğüm için çıkış gizli katmana bağlıdır (Tong vd., 2009). Mahit ve arkadaşları (Mahit vd., 2015) KDD-Cup 1999 verisi üzerinde ANN ile yapmış oldukları çalışmada yaklaşık %94 başarı sağlamıştır. Ayrıca, Aburomman ve arkadaşları (Aburomman vd., 2016) tarafından KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmada da %98.5 başarı elde edilmiştir.

### 4.3.3. Yapay Bağışıklık Sistemi

Genetik algoritma arama ve optimizasyon problemlerinin çözümünde ayrıca, modelleme yapabilmek için kullanılan biyolojik süreçlerin esas alındığı yöntemlerdir.

Bağışıklık sistemini, vücudu hastalıklara karşı koruyarak ona savunma kazandıran bir koruyucu mekanizma olarak tanımlayabiliriz. Bağışıklık sisteminin biyolojik tanımı ve çalışma mantığından esinlenerek ortaya çıkan Yapay Bağışıklık Sistemi (Artificial Immune System-AIM), özellikle son yıllarda yapay zeka temelli yöntem olarak araştırma çalışmalarında sıklıkla yer aldığı gözlemlenmiştir. Bahse konu bu araştırma alanlarından biri de AIM'nin saldırı tespitinde kullanılmasıdır. Yapay bağışıklık adını verdiğimiz bu sistemin ilk esinlenme kaynağının bilgisayar virüsleri olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 2. AIM'nin katmanlı yapısı (Shen vd., 2011)

Yapay Bağışıklık Sistemi (AIM), katmanlı bir yapıda olup, Şekil 2'de gösterilmiştir (Shen vd., 2011). Sistemin temel parçası olarak kullanılan antijen ve antikorlar arasındaki benzerlik, tanıma, şekil uzayında gösterim gibi Afinite Ölçümü (benzerlik ölçümü) ile sağlanır. Afinite ölçümü için Öklid, Hamming veya Manhattan mesafeleri kullanılır. Afinite ölçümü düşük olan bireyler daha fazla mutasyona uğratarak bir antijeni tanyacak en iyi antikor bulunur ve antikor belirli oranlarda mutasyon ile çoğaltılır (klonal seçim algoritması), çoğaltılan hücreler antikor hücrelerine eklenir. Antijen, antikor hücrelerine sunulur. Antijeni en iyi tanımlayan ve belirli bir eşik değerinin üzerinde olan antikorlar alınır ve aralarında yarışırılır (Afinite ölçümü ile benzerlik oranları hesaplanır). Yarışma sonucunda Afinitesi düşük olan belirli sayıda bireyler alınarak bellek hücresine eklenir. Böylece, bir antijene karşı en iyi antikor hücrelerini temsil edecek bellek hücresini üretilmiş olur. Bu süreç sisteme sunulacak diğer antijenler için de ayrı ayrı uygulanır (Farhaoui, 2017). Shen ve arkadaşları'nın (Shen vd., 2011) KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yapılan çalışmalarında yapay bağışıklık yöntemi yaklaşık %99 başarı sağlamıştır. Chen ve arkadaşları (Chen vd., 2016)

ise KDD-Cup 1999 verisi üzerinde yaptıkları çalışmada %92.41 başarı sağlamışlardır.

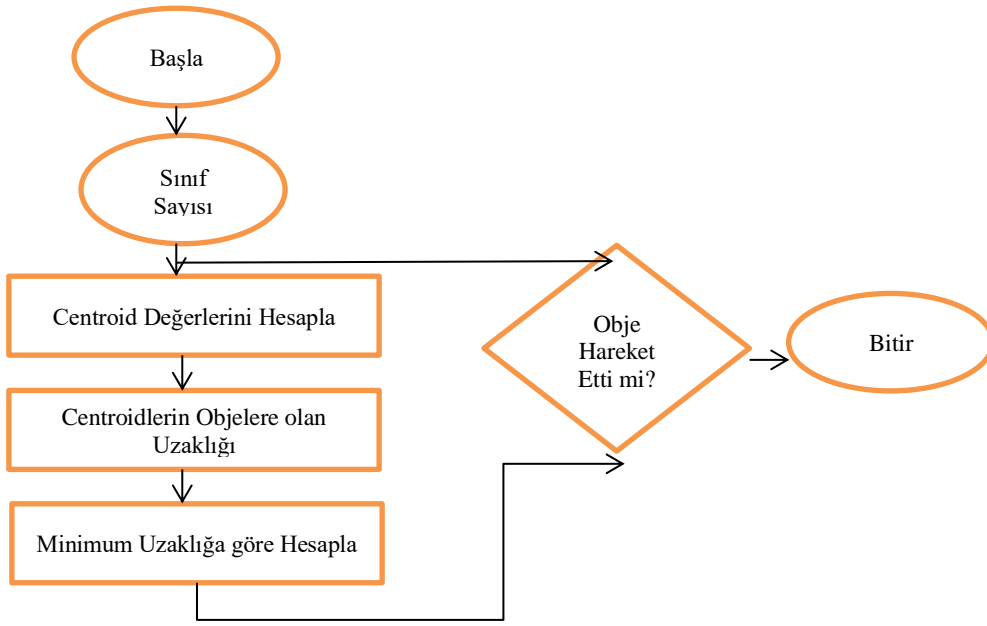
## 5. Materyal ve Method

Dağıtık veritabanlarında saldırı tespit ve önleme sistemlerinde kullanılan yöntemler Tablo 1'de gösterildiği gibi üç ana grupta toplanmıştır: Veri madenciliği yöntemleri, İstatiksel yöntemler ve Yapay Zeka yöntemleri. Her bir yöntemdeki tekniklere izleyen alt bölümlerde yer verilmiştir. Ayrıca, tekniklerin performans değerleri grup içi ve gruplar arası olmak üzere değerlendirilmiştir.

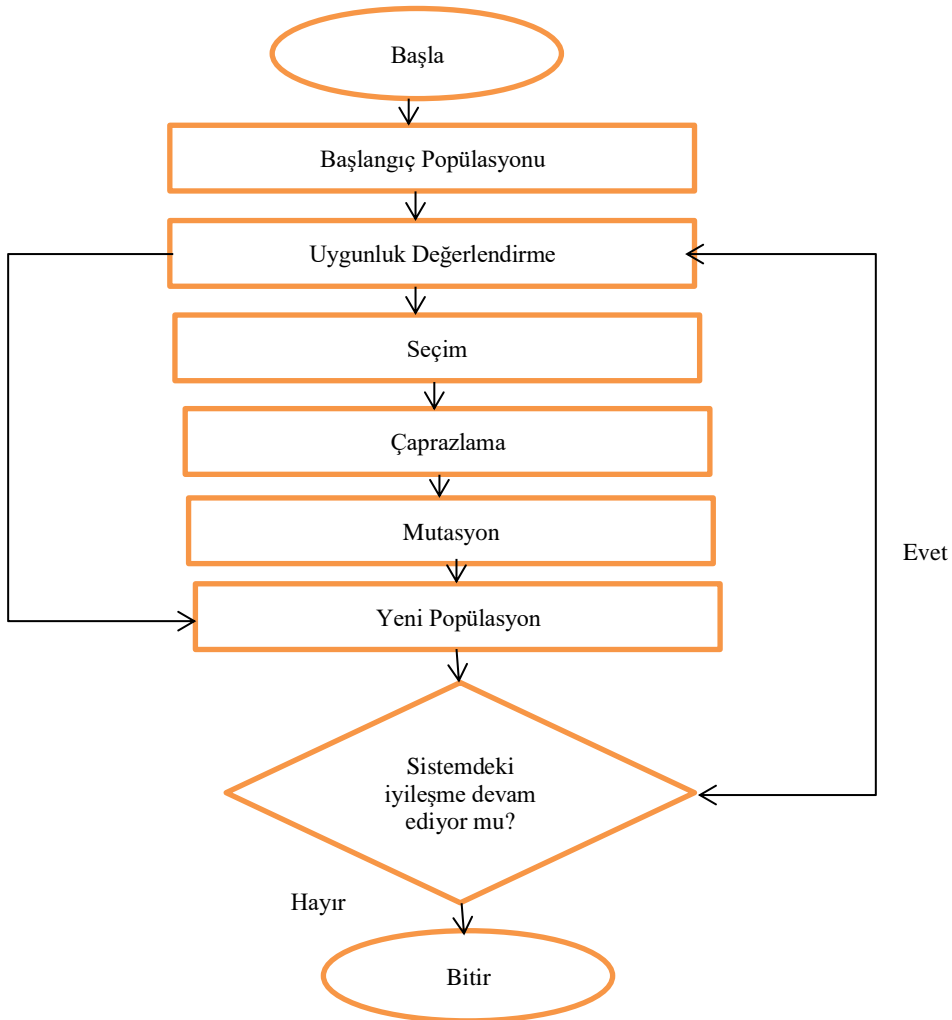
Şekil 3'de K Ortalama Kümeleme tekniğinin akış şeması verilmiştir. Bu teknikte tüm verilerin merkeze olan uzaklığı hesaplanır ve uzaklığı en küçük olan veriler aynı sınıfta toplanır.

Şekil 4'te genetik algoritmanın adımları verilmiştir. Genetik algoritmada iyileştirme süreci en iyi popülasyon bulununcaya kadar devam eder.

Şekil 5'de birliktelik kuralının akış şeması verilmiştir. Her nesnenin destek değeri bulunur ve en küçük destek değeri ile her nesnenin destek değeri karşılaştırılır ve küçük olanlar kümeye alınarak birliktelik kuralları oluşturulur.

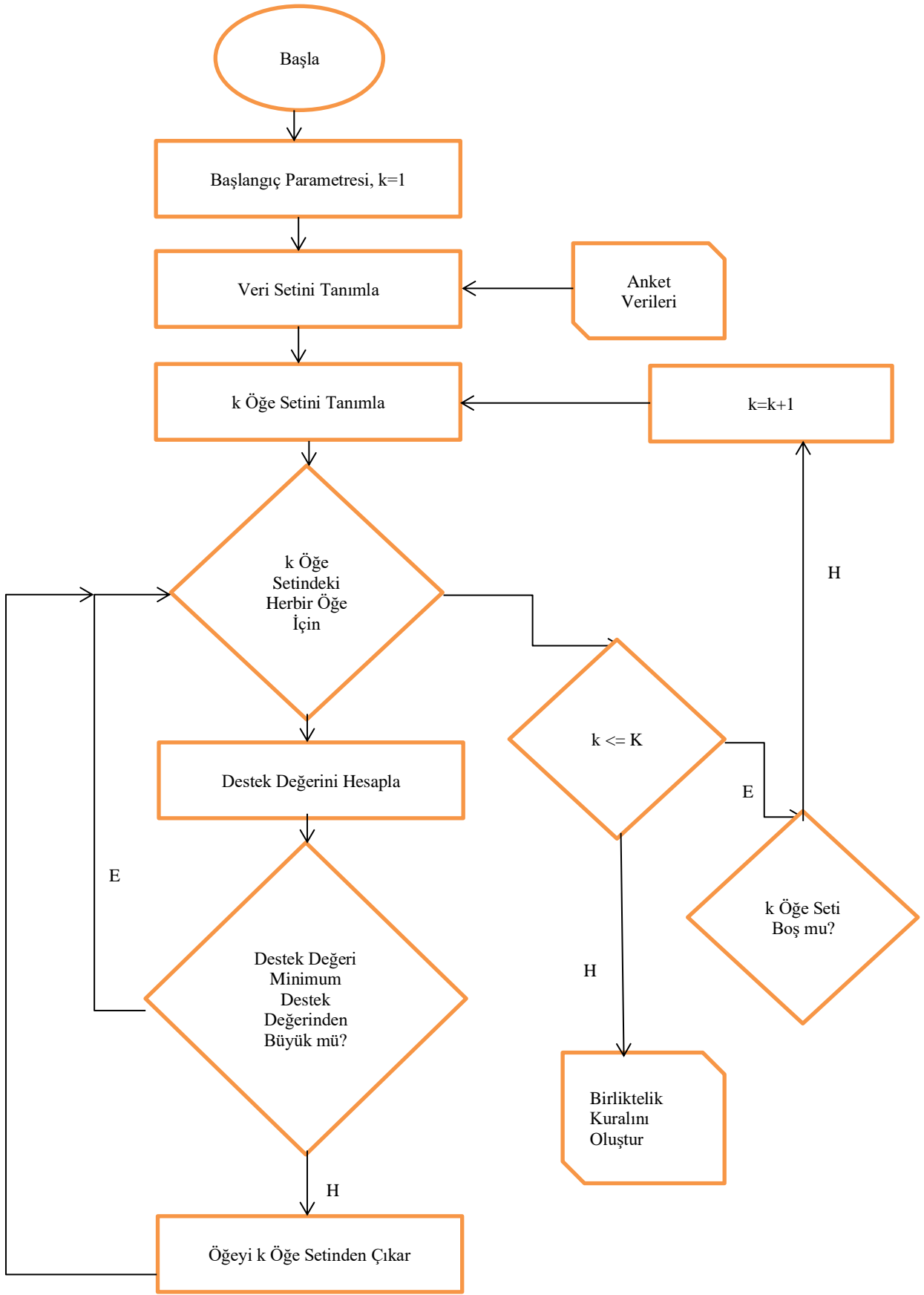


Şekil 3. K ortalama kümeleme tekniğinin akış diagramı



Şekil 4. Genetik algoritma akış diagramı





Şekil 5. Birliktelik kuralları akış diagramı

## 6. Bulgular

Bu çalışmada, dağıtık veritabanı saldırı tespit ve önleme yöntemleri doğruluk, hız, performans, kullanılan veri setinin büyüklüğü gibi bazı metriklere göre karşılaştırılmıştır. Buna göre kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 2’de gösterilmiştir. Veriler arasındaki benzerlikleri bulmak, ilişkiyi tespit etmek, verileri tanıma, geçmiş verilerden yararlanacak tüm veriler için ortak model oluşturma, benzer özelliklere göre gruplama yapmak veri madenciliği yöntemlerinin ortak özelliğidir. Saldırı türlerini kolay ve doğru bir şekilde tespit eder. Bu tekniklerin ortak özelliği faydalı ve mantıklı veriyi elde etmek için birden fazla basamaktan oluşan bir veri analizi yapar. Saklı ilişkileri ortaya koyduğundan küçük verilerde oldukça başarılı sonuçlar verir. Ayrıca birden fazla veri madenciliği tekniğini kullanarak daha başarılı sonuçlar eşde edilebilir. Ancak bu yöntemlerde geçmiş verilerden yararlanılarak

analiz yapıldığı için yeni saldırı türlerinin bulunması oldukça zordur. Ayrıca çok büyük veri setleri için uzun süren hesaplamalar gerektirir. Bu da ölçekleme problemi, zaman ve hesaplama karmaşıklığı gerektirir. İstatiksel yöntemler ise veri madenciliği yöntemlerine aksine geçmiş verilere ihtiyaç duymaz. Bu sebeple yeni saldırı türlerini bulmada veri madenciliği yöntemlerine göre daha etkilidir. Ancak veri madenciliği yöntemlerinde ek parametrelere ihtiyaç duyulmaz. Bu yöntemlerde ise ek parametreler gerekir ve tüm veriler için ortak ve doğru parametreleri belirlemek zordur. Yapay zeka yöntemleri çok büyük veri setleri için kullanılır. Diğer iki gruptaki yöntemlerin tersine oldukça pratiktir ve esnekler. Sezgiye dayalı teknikleri içerir. Ayrıca diğer yöntemlerden farklı olarak saldırı türlerini tespit ederken özel bilgilere ihtiyaç duymaz. Karmaşık yapıya sahip veri türlerini bulmada başarılı sonuçlar verir. Ancak bu gruptaki yöntemlerde tek bir çözüm yolu kullanılmadığı için yüksek miktarda kaynak tüketir.

**Tablo 2.** Dağıtık sistemlerde kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları

Veri Madenciliği Yöntemleri	<b>Avantaj:</b> Küçük veriler için oldukça kullanışlı ve başarısı yüksektir. Sağlamdır ve sonuçları kesine yakındır.
	<b>Dezavantaj:</b> Sisteme uygulanması bir takım hesaplama ve zaman karmaşıklığını beraberinde getirmektedir.
İstatiksel Yöntemler	<b>Avantaj:</b> Normal hareketleri gözlemlemek için genelde önceki bilgilere ihtiyaç duymaz. Bu sebeple yeni saldırı türlerini bulmada etkilidir.
	<b>Dezavantaj:</b> Sistemin başarısını hesaplayabilmek için gerekli olan parametreleri ve metrikleri belirlemek oldukça zordur ve her veri seti için farklılık gösterir.
Yapay Zeka Yöntemleri	<b>Avantaj:</b> Esnekler ve hemen hemen tüm veri setlerine uygulanabilir.
	<b>Dezavantaj:</b> Saldırı tespit ve önleme sistemleri için yüksek miktarda kaynak tüketir.

Yapay zeka teknikleri ve veri madenciliği yöntemleri istatiksel yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ayrıca, yapay zeka yöntemleri büyük veriler için daha kolay uygulanmaktadır. Bu teknikler birleştirilerek daha güvenli ve daha hızlı veri gönderimini gerçekleştirmek mümkün olabilir.

## 7. Değerlendirme

Dağıtık veritabanlarında saldırı tespit ve önleme sistemlerinde kullanılan yöntemler Tablo 1’de gösterildiği gibi üç ana grupta toplanmıştır: Veri madenciliği yöntemleri, İstatiksel yöntemler ve Yapay Zeka yöntemleri. Her bir yöntemdeki tekniklere izleyen alt bölümlerde yer verilmiştir. Ayrıca, tekniklerin performans değerleri grup içi ve gruplar arası olmak üzere değerlendirilmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte veriye erişim ve veri iletişimi oldukça kolaylaşmıştır. Dağıtık sistemler veriye her yerden hızlı ve kolay bir şekilde erişim sağlanmaktadır. Ancak, birden fazla kullanıcının aynı anda farklı yerlerden sisteme erişmek istemesi veri güvenliği, veri gizliliği, servis sürekliliği, yetkilendirme ve veriyi güvenli saklama gibi birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Kullanıcıların veriye erişim sorunları, ağın dinlenmesi, hizmetin engellenmesi, güvensiz ağlar, yetkisiz kişilerin önemli bilgileri ele geçirerek saklaması bu problemlerden birkaçını oluşturmaktadır. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için Veri Madenciliği, İstatiksel ve Yapay Zeka alanında kullanılan saldırı tespit ve önleme tekniklerine dayalı olarak gerçekleştirilmiş çeşitli sistemler kullanılmaktadır.

Dağıtık veritabanlarında saldırı tespit ve önleme sistemleri için kullanılan tekniklerin KDD-Cup-1999 verisi üzerindeki performans sonuçları çeşitli çalışmalardan derlenerek Tablo 3'de verilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları normalizasyon, gürültüden temizleme, özellik çıkarımı ve özellik seçimi tekniklerine bağlı olarak değişmektedir. Çünkü yapılan çalışmalarda gürültü giderimi, özellik çıkarımı ve seçme yöntemleri kullanılması sınıflandırma başarısını

arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemler ile elde edilen veri daha kullanışlı hale getirilmektedir.

Dağıtık veritabanlarında saldırı tespit ve önleme sistemleri için kullanılan tekniklerin gerçek veri seti üzerindeki performans sonuçları ise Tablo 4'de verilmiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılan veri seti bir bankanın 2 yıllık verileri gözönüne alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Dağıtık sistemlerde kullanılan yöntemlerin başarıları

Yöntemler	Teknikler	Başarı Oranı(%)
Veri Madenciliği Yöntemleri	Destek Vektör Makineleri	93.9 (Aburomman vd., 2016)
	k En Yakın Komşuluk	96.24 (Senthilnayagi, 2019)
	Karar Ağacı	97.7 (Ugochukwu vd., 2018)
	Birliktelik Kuralları	96.9 (Abraham vd., 2007)
	k-Ortalama Kümeleme	91.84 (Sharma vd., 2018)
İstatiksel Yöntemler	Bulanık Mantık	94.92 (Abraham vd., 2007)
	Saklı Markov Modelleri	93.4 (Shanmuyavadiu vd., 2014)
	Naive Bayes	91.23 (Obeidat vd., 2019)
	Öğrenmeli Vektör Kuantalama	81 (Soleiman vd., 2014)
Yapay Zeka Yöntemleri	Yapay Bağışıklık	99.74 (Shen vd., 2011)
	Yapay Sinir Ağları	94 (Aburomman vd., 2016)
	Genetik Algoritma	85.7 (Hassan, 2013)

**Tablo 4.** Banka verisi üzerinde kullanılan yöntemlerin başarıları

Yöntemler	Teknikler	Başarı Oranı(%)
Veri Madenciliği Yöntemleri	Destek Vektör Makineleri	87.64
	k En Yakın Komşuluk	88.16
	Karar Ağacı	82.75
	Birliktelik Kuralları	81.01
	k-Ortalama Kümeleme	83.61
İstatiksel Yöntemler	Bulanık Mantık	78.20
	Saklı Markov Modelleri	81.37
	Naive Bayes	79.59
	Öğrenmeli Vektör Kuantalama	75.88
Yapay Zeka Yöntemleri	Yapay Bağışıklık	93.26
	Yapay Sinir Ağları	90
	Genetik Algoritma	91.83

## 8. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde eğitim, ekonomi, askeri ve iş hayatının birçok yerinde bilgisayarlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ağ üzerinden gizli, özel ve korunması gereken birçok değerli bilgiler kullanıcılar arasında paylaşılmaktadır. Teknolojinin hızla artması, bilginin paylaşılması ağ ve bilgisayar güvenliğinde saldırıların oluşmasına neden olmaktadır. Şifreleme, yetkilendirme, yetkisiz kişilerin sisteme zarar vermesi, sistemi çökertme gibi birçok güvenlik sorununun ortaya çıkması gerekli güvenlik tedbirlerinin de alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu durumda sistemi kötüye kullanan kullanıcıları tespit etmek ve normal olmayan anormal davranışları önlemek için saldırı tespit ve önleme sistemleri ortaya çıkmıştır.

Veri madenciliği yöntemlerinde kullanılan tekniklerle veriler arasındaki benzerlikler, ilişkiler tam olarak belirlenir. Ancak özellikle Destek Vektör Makineleri, k-Ortalama gibi teknikler çok uzun süren hesaplamalar gerektiği için büyük

verilerde zaman ve maliyet gerektirir. Bu sorunu çözebilmek için kullanılan veride özellik çıkarımı, özellik seçimi ve boyut indirgeme yapılabilir. Böylelikle büyük verilerde algoritma karmaşıklığı azaltılır. Bu grupta en başarılı sonucu k En Yakın Komşuluk tekniği vermiştir. Çünkü bu teknikle her hesaplamada birbirine benzer saldırı türleri daha belirgin bir şekilde ortaya çıkar. Ayrıca Destek Vektör Makinelerinde saldırı türlerini birbirinden ayıran sınıfları temsil edecek en uygun fonksiyon elde edildiği için bu teknik bu gruptaki diğer tekniklere oranla daha başarılıdır.

İstatiksel yöntemlerde ise Saklı Markov Modeli bu gruptaki en başarılı tekniktir. Çünkü Saklı Markov Modelinde mevcut durumlara göre çıkışlar stokastik olarak üretilir ve en doğru çıkışlar böylelikle elde edilir. Veri madenciliği yöntemlerine göre bu gruptaki tekniklerde yeni saldırı türlerini bulmak için geçmiş veriler gibi ek parametrelere bakılmaz. Bu sebeple yeni saldırı türlerini bulmada daha başarılı sonuçlar verir.

Yapay zeka yöntemleri ise diğer iki gruptaki tekniklere oranla çok büyük hesaplamalar gerektirmez. Bundan dolayı daha kısa zamanda sonuç üretir. Sezgisel bir yöntem olduğundan dolayı istatistiksel yöntemler gibi ek bilgilere ihtiyaç duymaz. Ek bilgiler olmadan da doğru sonuçlar üretebilir. Yapay Bağışıklık tekniği saldırı türlerini bulmada bu gruptaki en başarılı tekniktir. Çünkü Genetik Algoritma ve Yapay Sinir Ağları, tek bir en iyi adayı bulmaya çalışırken, Yapay Bağışıklık Sistemi süreç boyunca oluşturulan tüm popülasyonlarda da en iyi bireyleri bulmaya çalışır. Ayrıca üç gruptaki tekniklerin hepsinde de gürültü giderimi, veri ön işleme yapılarak başarı artırılır.

Sonuç olarak, yapay zeka tekniklerinden özellikle Yapay Bağışıklık tekniği dağıtık veritabanları için saldırı tespit ve önleme sistemlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Yapay zeka tekniklerinin saldırı tespit ve önlemede etkin bir şekilde kullanılması ileride yapılacak çalışmalar için büyük önem taşır. Özellikle geliştirilmiş yapay zeka tekniklerini de içeren hibrit yöntemler kullanılarak daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği göz ardı edilmemelidir.

## Kaynaklar

Abraham, A., Grosan, C. ve Martiv-Vide, C., 2007. Evolutionary Design of Intrusion Detection Programs. International Journal of Network Security, 4, 328-339.

Aburonman, A. ve Reaz, M., 2016. A Novel SVM-kNN-PSO Ensemble Method for Intrusion Detection System. Elsevier Applied Soft Computing, 38, 360-372.

Alhello, Z., Abdul, A. ve Harleen, K., 2017. On Applicatiablity of Neural Network in Intrusion Detection and Prevention. International Journal of Advanced Research in Computer Science, 8(7), 494-498.

Bakır, C. ve Hakkoymaz, V., 2015. Veritabanı Güvenliğinde Saldırı Tahmini ve Tespiti için Kullanıcıların Sınıflandırılması, ISCTurkey 2015 8.Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı (VIII. Int'l Conference on Information Security and Cryptology), Ankara, Türkiye, s.1-6.

Castro, L. ve Timmis J., 2003. Artificial İmmune Systems as a Novel Soft Computing Paradigm. Soft Computing, Springer, 7(8), 526-544.

Chen, M., Chang, P. ve Wu, J., 2016. A Population-Based İncremental Learning Approach with Artificial İmmune System for Network Intrusion Detection. Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence, 51, 171-181.

Degang, Y. ve Guo, C., 2007. Learning Vector Quantization Neural Network Method for Network Intrusion Detection. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 12(1), 147-150.

Deng, H.ve Zeng, Q., 2003. SVM-baseed Detection System for Wireless Ad Hoca Networks, Vehicular Technology Conference, Orlando, USA, 2147-2151.

Faraoun, K.M. ve Boukelif, A., 2007. Neural Networks Learning Improvement Using the K-Means Clustering Algorithm to Detect Network Intrusions. International Journal of Computer and Information Engineering, 1(10), 3138-3145.

Farhaoui, Y., 2017. Design and Implementation of an Intrusion Prevention System. International Journal of Network Security, 19(5), 675-683.

Hamman, B. ve Hoffman, D., 2014. Learning Vector Quantization for (dis-)similarities. Elsevier Neurocomputing, 131, 43-51.

Haslum, K. ve Abraham, A., 2007. Disp: A Framework for Distributed Intrusion Prediction and Prevention Using Hidden Markov Models and Online Fuzzy Risk Assesment. 3rd International Symposium on Information Assurance and Security, Manchester, United Kingtom, 183-190 pp.

Hassan, M., 2013. Network Intrusion Detection System Using Genetic Algorithm and Fuzzy Logic. International Journal of Innovative Research in

- Computer and Communication Engineering, 1(7), 435-1445.
- Hu, W. ve Jun, G., 2014. Online Adaboost-Based Parameterized Methods for Dynamic Distributed network Intrusion Detection. *IEEE Transactions on CyberNetics*, 44(3), 66-82.
- Hu, Y. ve Panda, B., 2004. A Data Mining Approach for Database Intrusion Detection. *ACM Symposium on Applied Computing*, 711-716 pp.
- Jemili, F., 2009. Hybrid Intrusion Detection and Prediction multiAgent System, HIDPAS, (IJCSIS) *International Journal of Computer Science and Information Security*, 5(1), 62-71.
- Kannan S., Ruban M. ve Arun, M., 2016. Intelligent Intrusion Detection System using Genetic Algorithm. *Journal of Advances in Chemistry*, 12(17), 5020-5025.
- Law, K. ve Kwok, F., 2004. IDS False Alarm Filtering using KNN Classifier. *Springer Information Security Applications Lecture Notes in Computer Science*, 114-121 pp.
- Mahit, D., 2015. Using Artificial Neural Network Classification and Inversion of Intrusion in Classification and Intrusion Detection System. *International Journal of Innovative in Computer and Communication Engineering*, 3(2), 1102-1108.
- Malhotra, S., Bali, V. ve Paliwal, K., 2017. Genetic Programming and K-nearest Neighbour Classifier Based Intrusion Detection Model. 7th *International Conference on Cloud Computing*, 42-46 pp.
- Moon, D., Im, H. ve Kim, I., 2017. Dtb:Ids: An Intrusion Detection System based on Decision Tree using Behavior Analysis for Preventing Apt Attacks. *The Journal of Supercomputing*, 73(7), 2881-2895.
- Mukherjee, D.S. ve Sharma, N., 2012. Intrusion Detection using Naive Bayes Classifier with Feature Reduction. *Elsevier Procedia Technology*, 4, 119-128.
- Mukkamala, S. ve Janoski, G., 2002. Intrusion Detection using Neural Networks and Support Vector Machines, *IJCNN'02 Proceedings of the 2002 International Joint Conference on*, 1702-1707.
- Nadiammal, G.U. ve Hemalathen, M., 2012. An evaluation of clustering technique over intrusion detection system, *ICACCI'12 Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*, 1054-1060 pp.
- Noum, R. ve Al-Sultani, Z., 2012. Learning Vector Quantization (LVQ) and k-Nearest Neighbor for Intrusion Classification. *World of Computer Science and Information Technology Journal (WCSIT)*, 2(3), 105-109.
- Obeidat M., Hamadreh N. ve Alakassabeh M., 2019. Intensive Pre-Processing of KDD Cup 99 for Network Intrusion Classification Using Machine Learning Techniques. *International Journal of Interactive Mobile Tehnologies*, 16(1), 71-84.
- Rabier, L.R., 1990. A tutorial on Hidden Markov Models and Selected applications speech recognition. *Ready in Speech Recognition*, 267-296.
- Rachburee, N. ve Punlumjeak, W., 2017. Big Data Analytics: Feature Selection and Machine Learning for Intrusion Detection on Microsoft Azure Platform. *Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering*, 9(1-4), 1-5.
- Ramasubramanian, P. ve Kannan, A., 2014. Multi-Agent based Quickprop Neural Network Short-term Forecasting Framework for Database Intrusion Prediction System. *CiteSeerX*.
- Rizvi, S., Labrador, G. ve Guyan, M., 2016. Advocating for Hybrid Intrusion Detection Prevention System and Framework Improvement. *Elsevier Procesia Computer Science*, 95, 369-374.
- Romasubramanian, P. ve Kannan, A., 2006. A Genetic-Algorithm Based Neural Network Short-Term Forecasting Framework for Database Intrusion Prediction System. *Soft Computing*, 10(8), 699-714.
- Sağıroğlu, Ş., Yolaçan, E.N ve Yavanoğlu, U., 2012. Zeki Saldırı Tespit Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Gazi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 325-340.
- Sharma P., Sengupta J. ve Suri P.K., 2018. Wli-Fcm and Artificial Neural Network Based Cloud Intrusion Detection System. *International Journal Advanced Networking and Applications*, 10(1), 3698-3703.
- Senthilnayagi, B., Venkatalakshmi, K., Kannan, A., 2019. Intrusion Detection System using Fuzzy Rough Set Feature Selection and Modified KNN Classifier, *The International Arab Journal of Information Technology*, 16(4), 746-753.
- Shams, E.A., Rizaer, A. ve Ulusoy, A.H., 2018. Trust aware Support Vector Machine Intrusion Detection and Preventin System in Vehicular ad hoc Networks. *Elsevier Computers&Security*, 78, 245-254.

- Shanmugavadivu, R. ve Nagarajan, N., 2014. Network Intrusion Detection System using Fuzzy Logic. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 2(1), 101-111.
- Sharma, S., 2012. An Improved Network Intrusion Detection Technique based on k-means clustering via Naive Bayes Classification, *IEEE-International Conference on Advances In Engineering, Science and Management (ICAESM-2012)*, Nagapattinam, India, 417-422 pp.
- Shen, J. ve Wang, J., 2011. Network Intrusion Detection by Artificial Immune System, *IEEE Power and Energy General Meeting*, 1-8.
- Soleiman, E. ve Fetarat, A., 2014. Using Learning Vector Quantization (LVQ) in Intrusion Detection Systems. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 1(10).
- Tajbakhsh, A. ve Rahmati, M., 2009. Intrusion Detection Using Fuzzy Association Rules. *Elsevier Applied Soft Computing*, 9, 462-469.
- Tian, J., 2005. Intrusion Detection Combining Multiple Decision Trees by Fuzzy Logic, *Proceedings of the sixth International Conference on Parallel and Distributed Computing. Applications and Technologies (PDCAT'05)*.
- Tong, X. ve Wang, Z., 2009. A Research Using Hybrid RBF/Elman Neural Networks for Intrusion Detection System Secure Model. *Elsevier Computer Physics Communications*, 180, 1795-1801.
- Ugochukwu, C. ve Bennett E.O., 2018. Intrusion Detection System using Machine Learning Algorithm. *International Journal of Computer Science and Mathematical Theory*, 4(1), 39-47.
- Yıldırım, M.Z., Çavuşoğlu, A., Şen, B. ve Budak, İ., 2014. Yapay Sinir Ağları ile Ağ Üzerinde Saldırı Tespiti ve Paralel Optimizasyonu, XVI, *Akademik Bilişim, Şubat 2014, Mersin, Türkiye*, s.671-677.

## Application of the Air Quality Forecasting Analysis Using NARX Models *NARX Modellerini Kullanarak Hava Kalitesi Tahmin Analizinin Uygulanması*

Yelda FIRAT\*

Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies,  
17100, Çanakkale, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 16.08.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 29.02.2020

### Abstract

Air quality management and forecasting play a crucially important role in environmental problems. It is known that air quality problem is directly related to the quality of life and human health. In order to solve this problem, there are some conventional forecasting methods used in the literature. This paper presents a new non-linear autoregressive exogenous model method. In this method, all air quality parameters are entered into the system for four different locations. These are Çanakkale Central and the districts of Çan, Lapseki and Biga. This created model provides obtaining and extracting of some unmeasured environmental pollutant parameters for other air quality stations such as Nitric oxide (NO), Nitrogen oxide (NO<sub>2</sub>), Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and Ozone (O<sub>3</sub>). Within these stations, the Çanakkale Central air quality monitoring station measures only Particulate matter (PM<sub>10</sub>) and Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) parameters while others measure the parameters of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. Presented numerical model results are verified with measurement results and extracted acceleration error. These numerical results are realized for Çanakkale Central. Obtained results show that the forecasted parameter values are very successful and error acceleration is very low. The success of the learning process is over 90%.

**Keywords:** Air Quality, Çanakkale, Forecasting, NARX

### Öz

Hava kalite yönetimi ve tahmini çevre sorunlarında hayati derecede önemli bir rol oynamaktadır. Hava kalitesi sorununun insan sağlığı ve yaşam kalitesi ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu sorunu çözmek için, literatürde kullanılan bazı alışlagelmiş metotlar bulunmaktadır. Bu çalışma yeni doğrusal olmayan özbağlanımlı dışsal model yöntemini işlemektedir. Bu yöntemde tüm hava kalitesi parametreleri dört farklı yer bakımından sisteme girilmektedir. Bunlar Çanakkale Merkez ve Çan, Lapseki ve Biga ilçeleridir. Oluşturulan bu model, hava kalite istasyonları için Nitrik oksit (NO), Nitrojen oksit (NO<sub>2</sub>), Nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) ve Ozon (O<sub>3</sub>) gibi bazı ölçülmeyen çevresel kirlenici parametrelerin elde edilmesi ve ayıklanmasını sağlamaktadır. Bu istasyonlarda, Çanakkale Merkez hava kalitesi izleme istasyonu sadece Partikül madde (PM<sub>10</sub>) ve Sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) parametrelerini ölçerken, diğerleri PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> parametrelerini ölçmektedir. Sunulan sayısal yöntem sonuçları, ölçüm sonuçları ve çıkarılan ivme hatası ile doğrulanmaktadır. Bu sayısal sonuçlar Çanakkale Merkez için dikkate alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar, öngörülen parametre değerlerinin çok başarılı olduğunu ve hata ivmesinin çok düşük olduğunu göstermektedir. Öğrenme sürecinin başarısı %90'ın üzerindedir.

**Anahtar kelimeler:** Hava Kalitesi, Çanakkale, Hava Tahmini, NARX

\* Yelda FIRAT; yfirat@comu.edu.tr, Tel: (0505) 386 55 14, orcid.org/0000-0002-6741-2507

## 1. Introduction

Air pollution and quality play a crucial role in various countries around the world and cause enormous environmental problems. The development of technology, increased population and industrialized areas provide rapid economic development. In this study, Çanakkale city, located on both sides of the Dardanelles Strait directly connecting the Sea of Marmara with the Aegean Sea, has been selected as a study area.

On the other hand, the air pollution level is very serious and mainly reflected as a high concentration of suspended pollutant parameters in the city air environment within Çanakkale. In recent years, air pollution has led to a progressive climate change in Çanakkale and other cities ([URL-3, 2019](#)).

In order to prevent the negative effects of environmental pollution on global warming and human health, Çanakkale and many other cities have been trying to prevent air pollution through action plans according to the air quality estimates ([Kurt and Oktay, 2010](#); [Ortiz-Garcia et al., 2010](#); [Wang et al., 2017](#); [Zhu et al., 2017](#)).

High level of air pollution gives rise to human health problems. Air pollution consists of many gas air pollutants such as PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO and etc. These pollutants directly affect respiration and food quality. According to the food security studies ([URL-1, 2018](#)), increasing ozone precursor emissions was forecasted to cause relative worldwide crop losses for wheat 7-12%, soy 6-16% and maize 3-5%. Also, another recognized paper presents the economic losses due to the effect of ozone on 23 crops as amounted to 6.7 billion Euros at the European level for one year ([Wilkinson et al., 2012](#)). There are many studies on food quality ([Khalid et al., 2017](#); [Mickelson and Tsvankin, 2017](#); [Sun et al., 2017](#); [Fathy El-Sharkawy and Javed, 2018](#)) and air pollution ([Sheppard et al., 2010](#); [Hristov, 2011](#); [Hamaoui et al., 2014](#); [Sun et al., 2017](#)). The primary ecological concern with ammonia emissions is the formation of particles as a result of atmospheric reactions. Air particles of ammonia emissions, mainly from fertilized land and animal waste, are presently responsible for 75% of global emissions ([Hung et al., 2018](#); [Zheng et al., 2018](#)).

Additionally, the literature on air quality and pollution were cited. [Jaikumar et al. \(2018\)](#) meteorological and traffic parameters near busy

urban corridors were used to train NARX based neural network model for the prediction of ambient air quality. Diagnostic analysis between different model variables was done to understand the relationship between one other. The developed model predicted NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> concentrations over the entire dataset. [Khalid et al. \(2017\)](#) studied and examined energy consumption, environmental pollution, climate change, natural resources and CO<sub>2</sub> emissions, greenhouse gas emissions in Pakistan. [Delavar et al. \(2019\)](#) determined the prediction models to determine air pollutions based on PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> pollution concentrations in Tehran. To predict the air-pollution, the data related to day of week, month of year, topography, meteorology, and pollutant rate of two nearest neighbors as the input parameters and machine learning methods were used. These methods include a regression support vector machine, geographically weighted regression, artificial neural network and autoregressive nonlinear neural network with an external input as the machine learning method for the air pollution prediction. Due to the negative impact of air pollution on human health, it is important to correctly forecast over-threshold events to give timely warnings to the population. Nonlinear models of the nonlinear autoregressive with exogenous variable (NARX) class have been extensively used to forecast air pollution time series, mainly using artificial neural networks to model the nonlinearities. [Pisoni et al. \(2009\)](#) discussed the possible advantages of using polynomial NARX instead, in combination with suitable model structure selection methods. Furthermore, a suitably weighted mean square error (MSE) (one-step-ahead prediction) cost function was used in the identification/learning process to enhance the model performance in peak estimation, which was the final purpose of this application. The proposed approach was applied to ground-level ozone concentration time series. An extended simulation analysis was provided to compare the two classes of models on a selected case study (Milan metropolitan area) and to investigate the effect of different weighting functions in the identification performance index. [Sun et al. \(2017\)](#) analysed the current published studies on the relationship between air pollution and food safety from the outlook of food organization. They observed agricultural emissions. These emissions substantially cause air pollution that could happen at every phase along the food supply chain.

In order to prevent air pollution and environmental problems, forecasting of the air



quality has crucial role in air quality management systems (Aryal et al., 2013; Kusumaningtyas et al., 2018; Zheng et al., 2018). There are some conventional forecasting methods in the literature. This paper presents a new artificial neural network model unlike other studies. It uses a non-linear autoregressive exogenous model (NARX) method. All air quality parameters are entered into the system for four different locations. Creation of this model provides obtaining and extracting of some unmeasured environmental parameters for other air quality stations. Missing data was forecasted with the created model. Training results were tested with current air quality data.

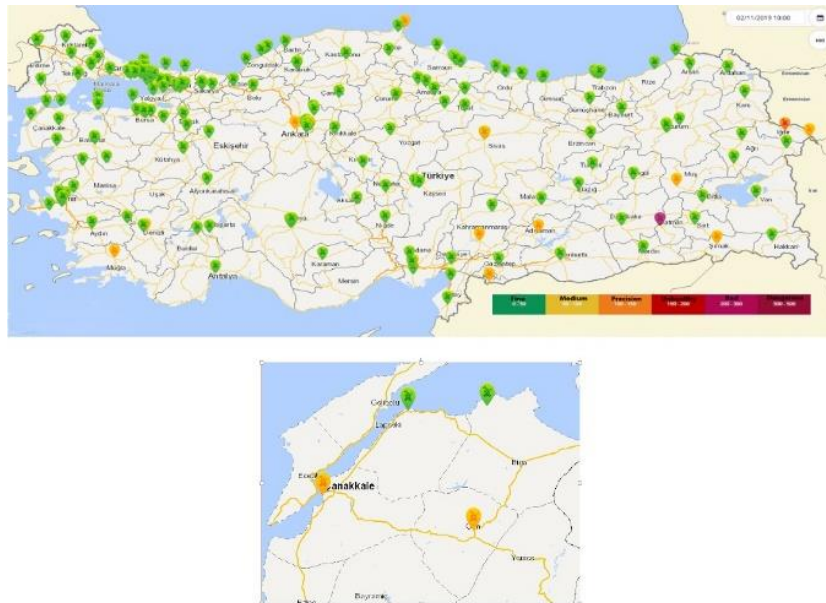
The organization of this study is as follows: Section 2 presents and shows air quality management systems and locations. Section 3 gives experimental measurements for four different locations. This section also realizes the proposed numerical method for forecasting air pollution parameters and details the numerical results. Results and discussion are given in Section 4. Finally, conclusions are provided in Section 5.

## 2. Air Quality Management Systems and Locations

It is known that the development of industry, increasing population and growth of cities cause air pollution. While air pollutants emitted from a local source show local effects, energy consumption, fossil fuel burning, increased motor vehicles cause deterioration of air quality in urban centers.

Çanakkale was selected as a model city. It is located in northwestern Turkey. Coordinate of Çanakkale is between  $25^{\circ} 40' - 27^{\circ} 30'$  east longitudes and  $39^{\circ} 27' - 40^{\circ} 45'$  northern latitudes. It has an area of 9.887 km<sup>2</sup>. Air quality management system of Çanakkale can be followed up on the Internet ([URL-2, 2019](#)).

There are four air quality monitoring stations in Çanakkale. These are Çanakkale Merkez Station (since 2004), the districts of Çan (since 2012), Lapseki (since 2012), Biga (since 2010). Figure 1 shows air quality monitoring stations in Çanakkale-Turkey ([URL-2, 2019](#)).



**Figure 1.** Air quality management system in Çanakkale-Turkey

Vehicular traffic and residential heating are the main sources of air pollution. These conditions should be taken into consideration when determining the city's air quality together with the adverse weather conditions caused by some meteorological events.

Sulfur oxide and particulate matter emissions have a high measurements at the fuel consumption used in heating. Especially during the winter season,

fuels with unknown contents may adversely affect air pollution. However, natural gas is used for residential heating in Çanakkale city center and some districts. SO<sub>x</sub> and PM emissions are very low in usage of natural gas. But heavy traffic, concretion and the developing industry (mining companies, ceramic factories etc.) with increasing population have a significant impact on air pollution within Çanakkale.

Foggy and unpleasant weather conditions are frequently observed in the various districts of Çanakkale, especially due to the use of solid fuels. In addition to these, thousands of ships cross the Dardanelles Strait each year. It is known that a large number of ship passages significantly contribute to air pollution such as SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub>. This emission is increased especially in areas of inland seas and harbours. Their emissions tend to increase air pollution in the size of a global scale.

### 3. Material and Method

#### 3.1. Experimental Measurements

Particulate matter (PM) is called particle pollution. The term for a mixture of solid particles and liquid droplets found in the air. Some particles, such as dust, dirt, soot, or smoke, are large or dark enough to be seen with the naked eye. Others are so small they can only be detected using an electron microscope. Particle pollution includes:

- PM<sub>10</sub>- inhalable particles, with diameters that are generally 10 micrometers and smaller
- PM<sub>2.5</sub>- fine inhalable particles, with diameters that are generally 2.5 micrometers and smaller

Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) is a gas. It is invisible and has a nasty, sharp smell. It reacts easily with other substances to form harmful compounds, such as sulfuric acid, sulfurous acid and sulfate particles. Sulfur dioxide affects human health when it is breathed in. It irritates the nose, throat, and airways to cause coughing, wheezing, shortness of breath, or a tight feeling around the chest.

Ozone (O<sub>3</sub>) is a form of oxygen having the molecular form of O<sub>3</sub>. It is a bluish, unstable gas with a pungent odour, found in two parts of the atmosphere: the stratosphere and the troposphere.

Nitric oxide (NO), also called nitrogen monoxide, colourless toxic gas that is formed by the oxidation of nitrogen. Nitric oxide performs important chemical signaling functions in humans and other animals and has various applications in medicine. It has few industrial applications. It is a serious air pollutant generated by automotive engines and thermal power plants.

Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) are poisonous gases derived from nitrogen and oxygen combustion under high pressure and temperatures. NO<sub>x</sub> is composed of nitric oxide (NO), and a smaller

percentage of more poisonous nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). NO<sub>x</sub> has direct and indirect effects on human health. It can cause breathing problems, headaches, chronically reduced lung function, eye irritation, loss of appetite and corroded teeth. Indirectly, it can affect humans by damaging the ecosystems they rely on in water and on land—harming animals and plants.

The Çanakkale air quality monitoring station measures parameters of PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>. The Biga air quality monitoring station measures parameters of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. The Çan air quality monitoring station measures parameters of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. The Lapseki air quality monitoring station measures parameters of PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. In this study, the measurement data of these measurement stations between April 2013 and April 2018 was considered.

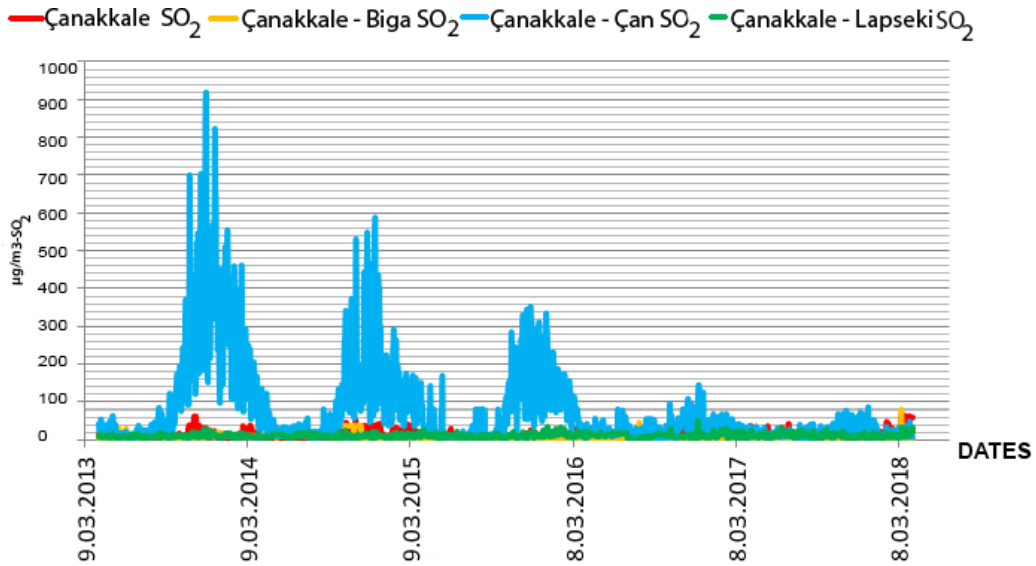
Figure 2 shows the alteration of the measured parameter of SO<sub>2</sub> data between April 2013 and April 2018. It can be seen that especially, the measured parameter of SO<sub>2</sub> is higher than others in Çan.

At the measurement station in Çanakkale Central, 1707 data were recorded among 1827 data for the daily average SO<sub>2</sub>. Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of SO<sub>2</sub> is measured as 11 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 68 µg/m<sup>3</sup> on 1 December 2013 and the lowest value is 1 µg/m<sup>3</sup> on 30 January 2014. The calculated standard deviation is 10.

At the measurement station in Biga, 1622 data were recorded among 1827 data for the daily average SO<sub>2</sub>. Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of SO<sub>2</sub> is measured as 6 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 75 µg/m<sup>3</sup> on 4 April 2018 and the lowest value is 0 µg/m<sup>3</sup> on 5 July 2013. The calculated standard deviation is 12.9.

At the measurement station in Çan, 1739 data were recorded among 1827 data for the daily average SO<sub>2</sub>.

Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of SO<sub>2</sub> is measured as 76 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 917 µg/m<sup>3</sup> on 27 December 2013 and the lowest value is 0 µg/m<sup>3</sup> on 28 July 2016. The calculated standard deviation is 114.3.

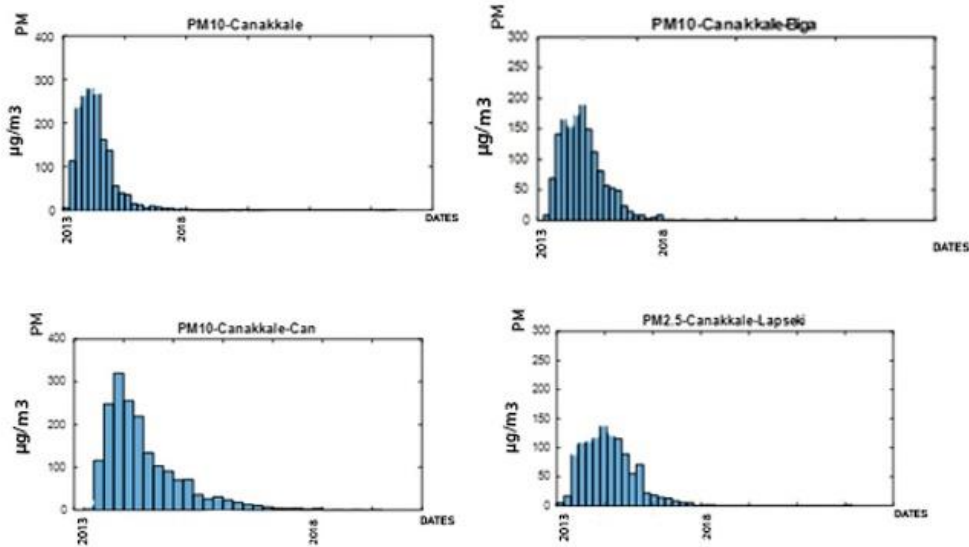


**Figure 2.** Alteration of the measured parameter of SO<sub>2</sub> data between April 2013 and April 2018

At the measurement station in Lapseki, 1698 data were recorded among 1827 data for the daily average SO<sub>2</sub>. Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of SO<sub>2</sub> is measured as 9 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 49 µg/m<sup>3</sup> on 2 January 2017 and the

lowest value is 0 µg/m<sup>3</sup> on 24 October 2015. The calculated standard deviation is 5.1.

Figure 3 shows the measured parameter of PM at the four air quality monitoring stations. 1827 data are recorded.



**Figure 3.** The measured parameter of PM at the four air quality monitoring stations

At the measurement station in Çanakkale Central, 1665 data were recorded among 1827 data for the daily average of PM<sub>10</sub>. Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of PM<sub>10</sub> is measured as 26 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 267 µg/m<sup>3</sup> on 1 February 2015 and the lowest value is 3 µg/m<sup>3</sup> on 4 October 2013. Calculated standard deviation is 15.8.

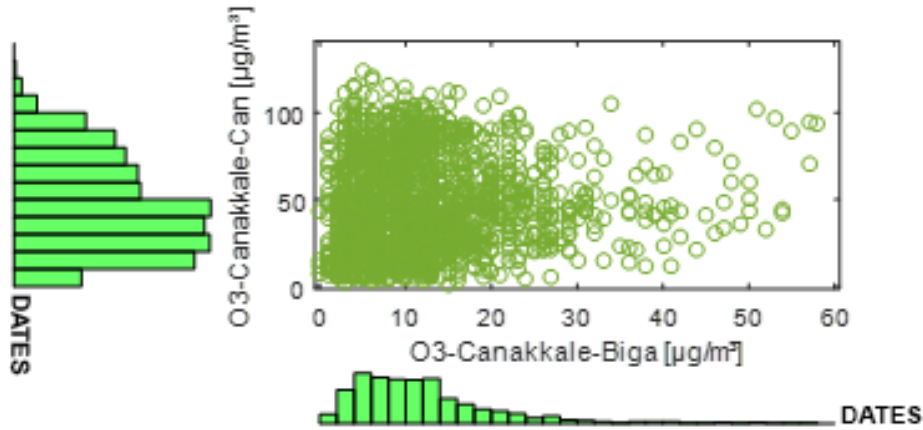
At the measurement station in Biga, 1594 data were recorded among 1827 data for the daily average of PM<sub>10</sub>. Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of PM<sub>10</sub> is measured as 22 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 163 µg/m<sup>3</sup> on 1 February 2015 and the lowest value is 5 µg/m<sup>3</sup> on 5 July 2013. The calculated standard deviation is 16.

At the measurement station in Çan, 1734 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $PM_{10}$ . Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of  $PM_{10}$  is measured as  $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $301 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 26 December 2013 and the lowest value is  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 2 October 2013. The calculated standard deviation is 38.8.

At the measurement station in Lapseki, 1695 data were recorded among 1827 data for the daily

average of  $PM_{2.5}$ . Measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of  $PM_{2.5}$  is measured as  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 1 February 2015 and the lowest value is  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 26 December 2017. The calculated standard deviation is 9.4.

Figure 4 introduces the measured parameter of  $O_3$  for the measurement station in the Çan and Biga.



**Figure 4.** The measured parameter of  $O_3$  for the air quality monitoring stations of Çan and Biga

At the measurement station in Çan, 1753 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $O_3$ . Measurements realized between April 2013 and April 2018. Daily average value of  $O_3$  is measured as  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 25 June 2013 and the lowest value is  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 4 January 2017. The calculated standard deviation is 26.8.

At the measurement station in Biga, 1681 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $O_3$ . The measurements realized between April 2013 and 2018. The daily average value of  $O_3$  is measured as  $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 10 August 2013 and the lowest value is  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 5 November 2016. The calculated standard deviation is 24.1.

Figure 5 presents the measured value of  $NO$  for the air quality monitoring stations of Çan, Biga and Lapseki.

At the measurement station in Biga, 1515 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $NO$ . The measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of  $NO$  is measured as  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The

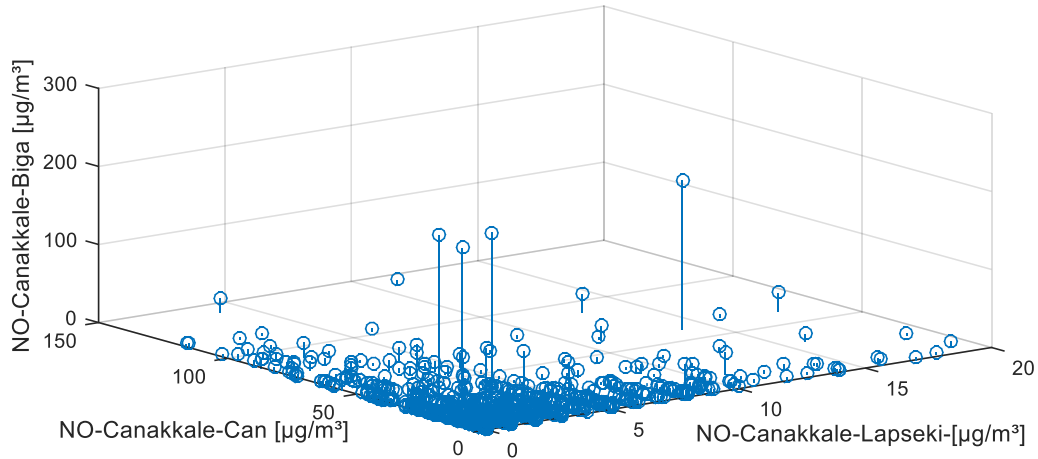
highest value is  $212 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 7 November 2014 and the lowest value is  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 25 September 2014. The calculated standard deviation is 18.8.

At the measurement station in Çan, 1389 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $NO$ . The measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of  $NO$  is measured as  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 8 January 2018 and the lowest value is  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 6 June 2015. The calculated standard deviation is 17.

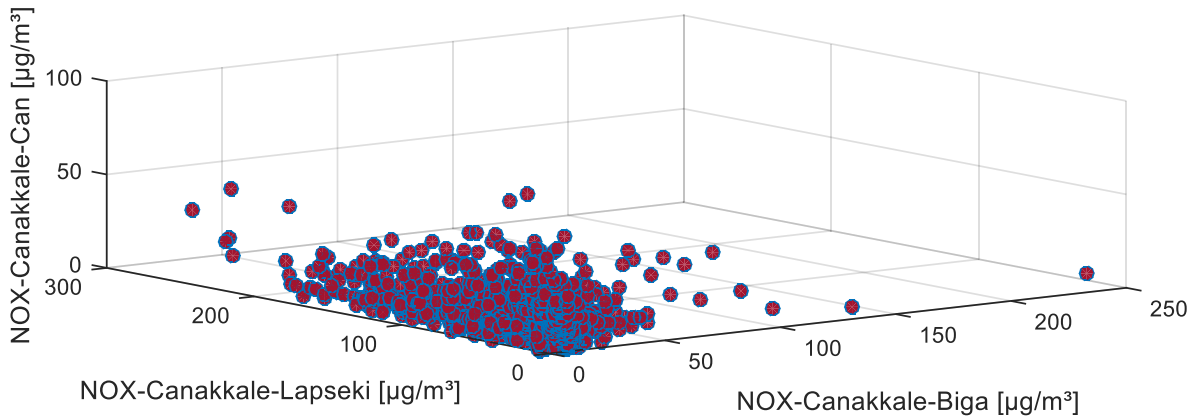
At the measurement station in Lapseki, 1475 data were recorded among 1827 data for the daily average of  $NO$ . Measurements realized between April 2013 and April 2018.

The daily average value of  $NO$  is measured as  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The highest value is  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 26 March 2015 and the lowest value is  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on 13 May 2015. The calculated standard deviation is 2.5.

Figure 6 shows the measured value of  $NO_x$  for the air quality monitoring stations of Çan, Biga and Lapseki.



**Figure 5.** The measured value of NO for the air quality monitoring stations of Çan, Biga and Lapseki



**Figure 6.** The measured value of NO<sub>x</sub> for the air quality monitoring stations of Çan, Biga and Lapseki

At the measurement station in Biga, 1515 data were recorded among 1827 data for the daily average of NO<sub>x</sub>. The measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of NO<sub>x</sub> is measured as 13 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 240 µg/m<sup>3</sup> on 14 July 2017 and the lowest value is 1 µg/m<sup>3</sup> on 25 September 2014. The calculated standard deviation is 12.2.

At the measurement station in Çan, 1231 data were recorded among 1827 data for the daily average of NO<sub>x</sub>. The measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of NO<sub>x</sub> is measured as 48 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 261 µg/m<sup>3</sup> on 8 January 2018 and the lowest value is 1 µg/m<sup>3</sup> on 13 August 2016. The calculated standard deviation is 41.6.

At the measurement station in Lapseki, 1456 data were recorded among 1827 data for the daily average of NO<sub>x</sub>. The measurements realized between April 2013 and April 2018. The daily average value of NO<sub>x</sub> is measured as 11 µg/m<sup>3</sup>. The highest value is 79 µg/m<sup>3</sup> on 6 April 2018 and the lowest value is 0 µg/m<sup>3</sup> on 30 November 2016. The calculated standard deviation is 8.3.

**3.2. Numerical Method for Forecasting Air Pollution Parameters**

The hourly and daily data were used in the training of artificial neural networks. Matlab Neural network time series tool is used in order to solve this problem. NARX method is applied to the modeling system. The non-linear

autoregressive network with exogenous inputs (NARX) is a recurrent dynamic network with feedback connections enclosing several layers of the network. The NARX model is based on the linear Autoregressive with Exogenous (ARX) model, which is commonly used in time-series modelling. The Çanakkale Central air quality monitoring station measures the parameters of PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>. The Biga air quality monitoring station measures the parameters of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. The Çan air quality monitoring station measures the parameters of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. The Lapseki air quality monitoring station measures the parameters of PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. These data are trained by neural network and entered into the modeling system.

Parameters of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> values are forecasted by a neural network. 1827 data were used for each data and the relationship between the parameters was tried to be established. Inputs of the proposed model are given in Table 1 and Figure 7. Also, Table 2 and Figure 8 give outputs of the proposed modeling system according to the inputs.

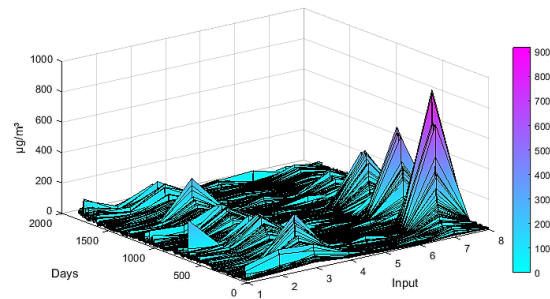
**Table 1.** Inputs of the proposed model

Inputs		
1	PM <sub>10</sub>	Çanakkale
2	PM <sub>10</sub>	Çanakkale - Biga
3	PM <sub>10</sub>	Çanakkale - Çan
4	PM <sub>2.5</sub>	Çanakkale - Lapseki
5	SO <sub>2</sub>	Çanakkale
6	SO <sub>2</sub>	Çanakkale - Biga
7	SO <sub>2</sub>	Çanakkale - Çan
8	SO <sub>2</sub>	Çanakkale - Lapseki

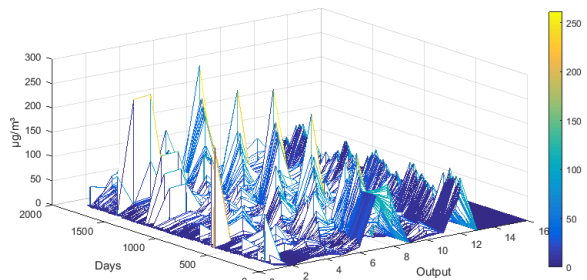
The NARX method is applied to the modeling system. The NARX Networks are similar to the training oriented Multilayer Layer Perceptron network architecture, but the network output is applied as input feedback. They are able to produce successful results in non-linear model simulations. These discrete-time systems are used as a mathematical model;

**Table 2.** Outputs of the proposed model

Outputs		
1	NO	Çanakkale - Biga
2	NO <sub>2</sub>	Çanakkale - Biga
3	NO <sub>x</sub>	Çanakkale - Biga
4	O <sub>3</sub>	Çanakkale - Biga
5	NO	Çanakkale - Çan
6	NO <sub>2</sub>	Çanakkale - Çan
7	NO <sub>x</sub>	Çanakkale - Çan
8	O <sub>3</sub>	Çanakkale - Çan
9	NO	Çanakkale - Lapseki
10	NO <sub>2</sub>	Çanakkale - Lapseki
11	NO <sub>x</sub>	Çanakkale - Lapseki
12	O <sub>3</sub>	Çanakkale - Lapseki
13	NO	Çanakkale
14	NO <sub>2</sub>	Çanakkale
15	NO <sub>x</sub>	Çanakkale
16	O <sub>3</sub>	Çanakkale



**Figure 7.** Inputs of the proposed model by the NARX method



**Figure 8.** Outputs of the proposed model by the NARX method

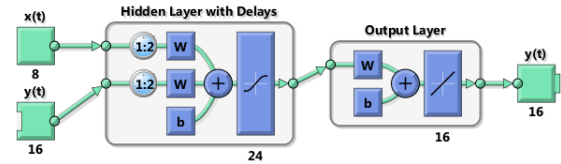
$$o(t) = F(o(t - 1), o(t - 2), \dots, o(t - k), x(t), x(t - 1), \dots, x(t - p)) \tag{1}$$

Here,  $o(t - k) \in \mathbb{R}$  and  $x(t - p) \in \mathbb{R}$  respectively denote the network outputs and inputs,  $k$  and  $p$  respectively denote the number of past outputs and past inputs to be applied for feedback, respectively. That is, the feedback and input layers are time-delayed and contain past data.

A used learning algorithm is called as the conjugate gradient backpropagation algorithm. Proposed this basic backpropagation algorithm regulates the weights in the steepest descent direction as the most negative of the gradient. Performance function of this direction is decreasing most quickly. It turns out that, although the function decreases most quickly along with the negative of the gradient, this does not necessarily produce the fastest convergence. In the conjugate gradient algorithms, a search is performed along such a direction. So, it produces generally faster convergence than the steepest descent direction, while conserving the error minimization achieved in all previous steps. This direction can be called as the conjugate direction. Generally, the step-size of these algorithms is adjusted for the each iteration. A search is made along the conjugate gradient direction to determine the step size. This situation provides minimizing the performance function along that line. All of these algorithms start out by searching in the steepest descent direction at the first iteration.

In order to realize the proposed modeling system, we used neural network time series. It solves

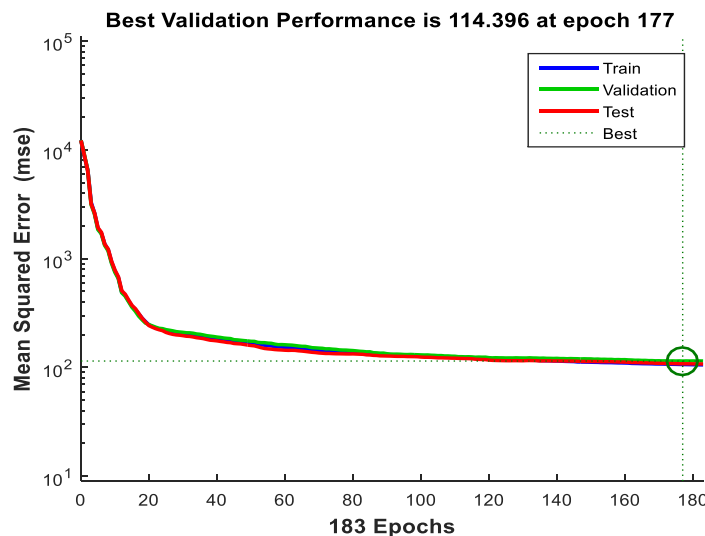
problems of dynamic neural network. Figure 9 shows the cellular structure of the model created by the NARX method.



**Figure 9.** The cellular structure of the model created by the NARX method

The parameters of  $PM_{10}$  and  $SO_2$  are modeled as inputs of the NARX and  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$  and  $O_3$  data are modeled as outputs of the NARX, respectively. Data of the four air quality measurement system are used for this proposed model. This method has also closed loop in order to reach the best performance.

The network was trained with 1827 data for each of the 14 parameters measured at the four measurement stations. The entrance number of the network is 8, the number of neurons is 24 in the hidden layer, and the number of neurons is 16 in the output layer. The training algorithm is called as the conjugate gradient backpropagation algorithm. Figure 10 presents the best validation performance. Also, figure 11 shows the error histogram.



**Figure 10.** Best validation performance for the proposed model

In figure 10, the mean (average) magnitude of the squares of the error: the distance between the model's estimate of test values and the actual test value. Generally, the error reduces after more epochs of training, but might start to increase on

the validation data set as the network starts overfitting the training data. In the default setup, the training stops after consecutive increases in validation error, and the best performance is taken from the epoch with the lowest validation error.

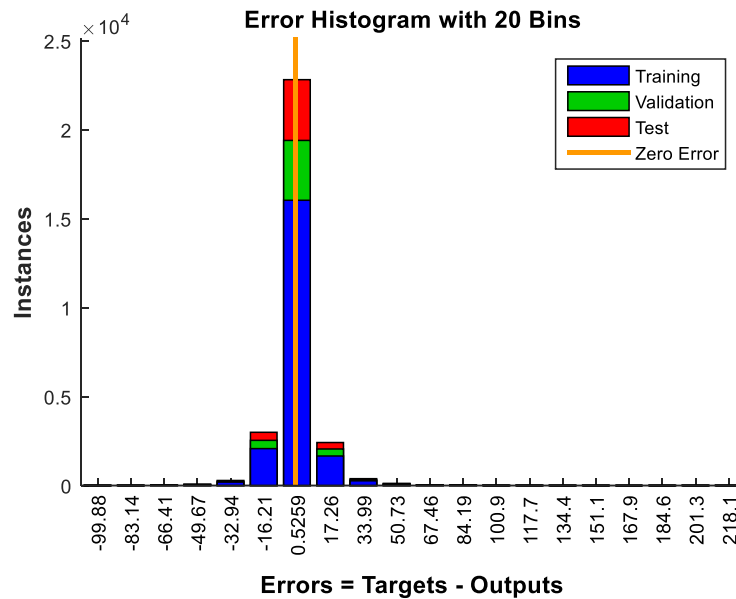


Figure 11. The error histogram

The figure 11 highlights the fact that the majority of the errors falls between  $-16.21$  and  $17.26$ , a narrow interval, and only for a very few training points, the errors fall outside this range (most of the errors being around the  $0.5259$  value). Therefore, the error histogram highlights the fact that the devised method has output results with a very good forecasting accuracy.

For this algorithm, results are repeatedly trained. The best result has been investigated by changing the number of layers and the network inputs and outputs in the hidden layer. The learning process is realized as 8 inputs and 16 outputs. Also, the success of the learning process is over 90%. Figure 12 shows the learning process results. Also, Figure 13-15 introduces error correlations. The error values are minimized in order to achieve the learning process.

Figure 12 shows the correlation between the target and output values for both the training and validation, created in MATLAB software. According to this figure, both the training and validation show desirable correlation coefficients (R values). The correlation coefficient shows how strong the association between two variables are.

The figure 13 of input-error cross-correlation function illustrates how the errors are correlated with the input sequence  $x(t)$ . For a perfect prediction model, all of the correlations should be zero. If the input is correlated with the error, then it should be possible to improve the prediction, perhaps by increasing the number of delays in the tapped delay lines. In this case, all of the correlations fall within the confidence bounds around zero.

The figure 14 displays the error autocorrelation function. It describes how the prediction errors are related in time. For a perfect prediction model, there should only be one nonzero value of the autocorrelation function, and it should occur at zero lag. This would mean that the prediction errors were completely uncorrelated with each other. If there was significant correlation in the prediction errors, then it should be possible to improve the prediction - perhaps by increasing the number of delays in the tapped delay lines. In this case, the correlations, except for the one at zero lag, fall approximately within the 90% confidence limits around zero, so the model seems to be adequate.



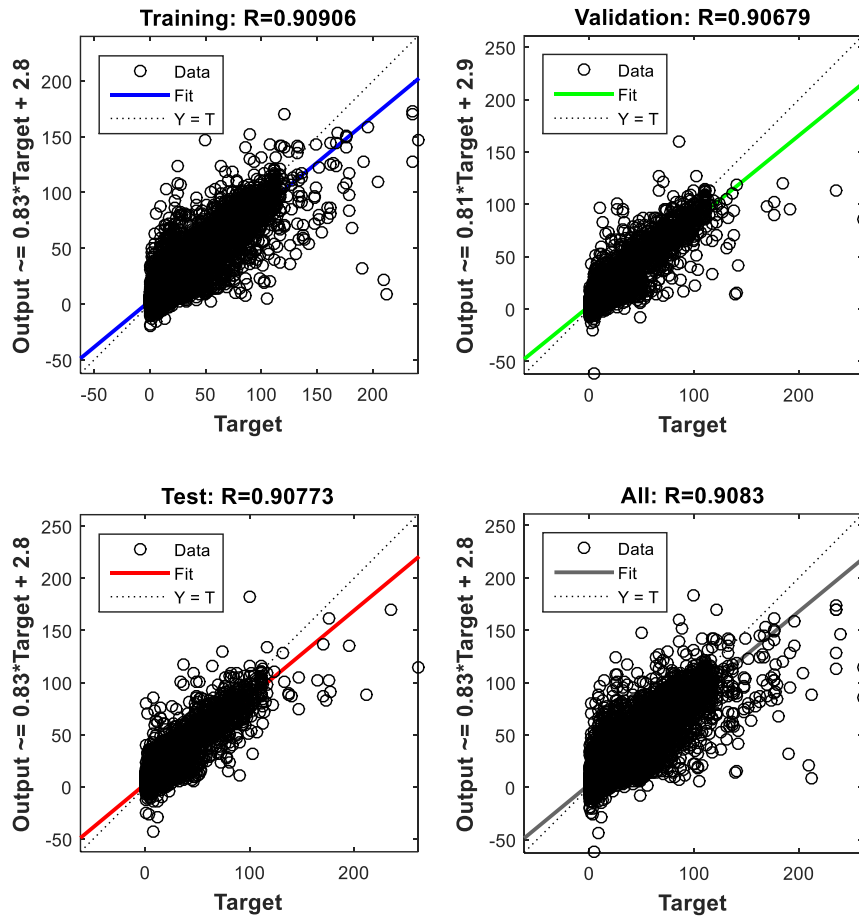


Figure 12. The conjugate gradient backpropagation algorithm learning process results

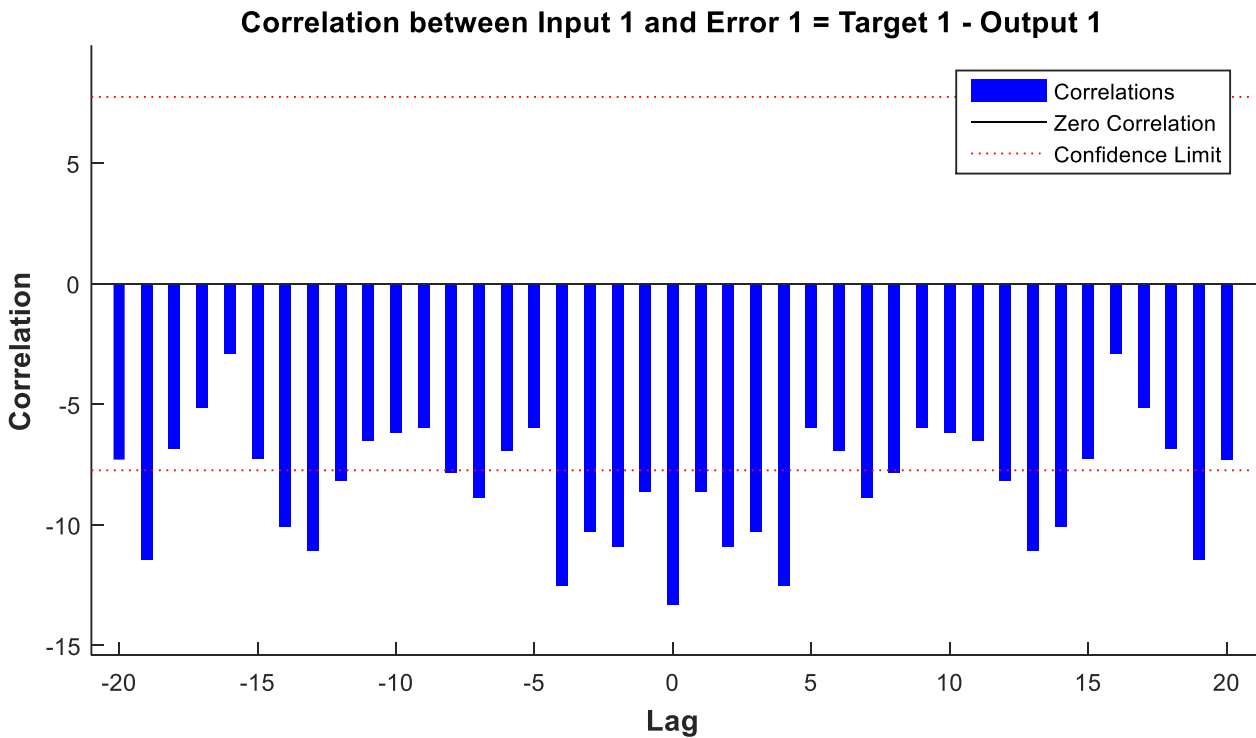


Figure 13. The correlation between input 1 and error 1

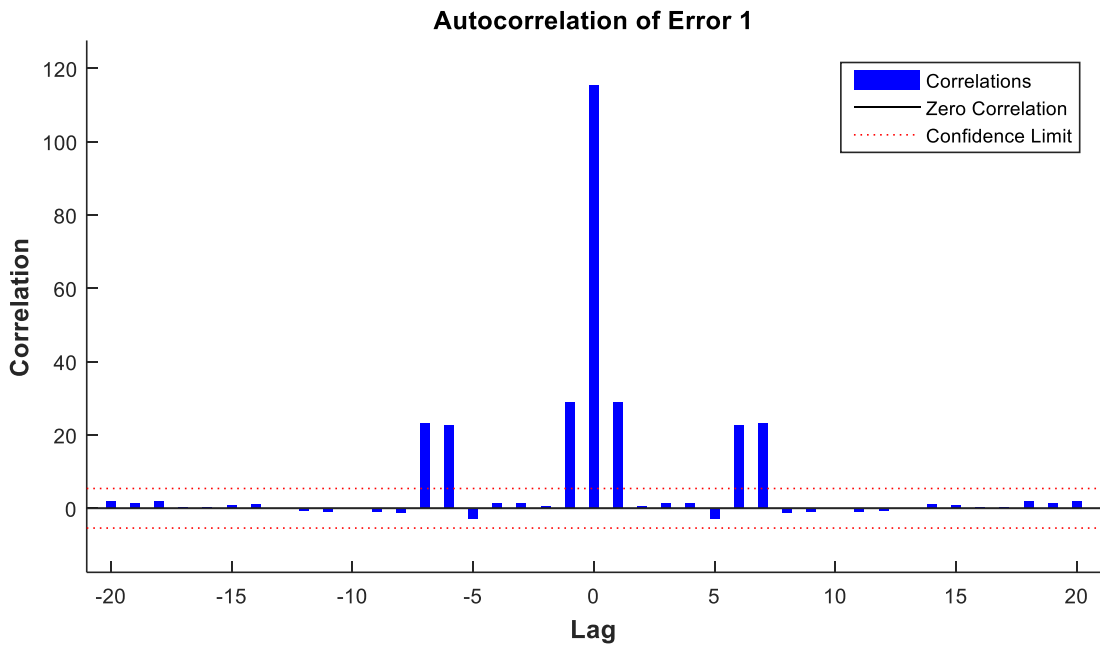


Figure 14. Autocorrelation of error 1

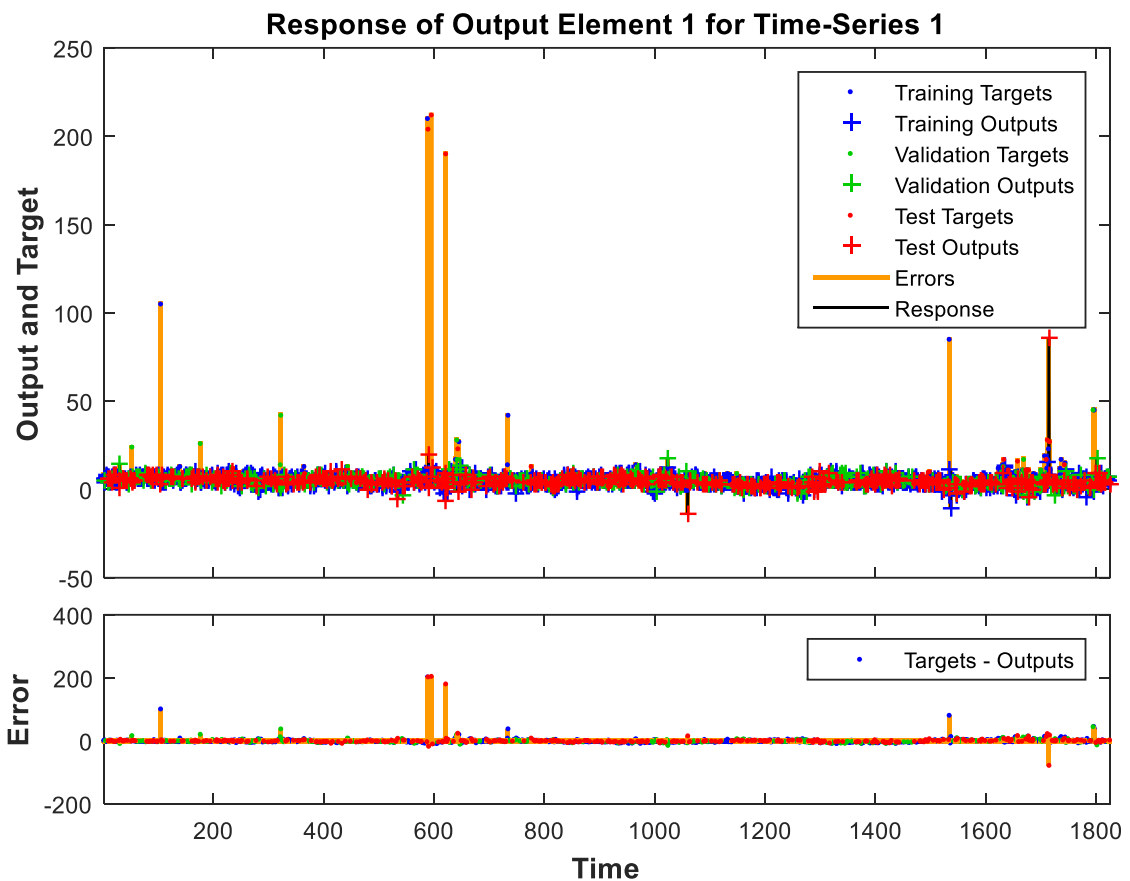


Figure 15. The response of output element 1 for time-series 1

The figure 15 displays the inputs, targets and errors versus time. It also indicates which time points were selected for training, testing and validation. Proposed model by the NARX method

is applied to the system. The obtained parameters of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> are forecasted for Çanakkale Central. Successful results are obtained by minimized errors as shown in Figure 16.

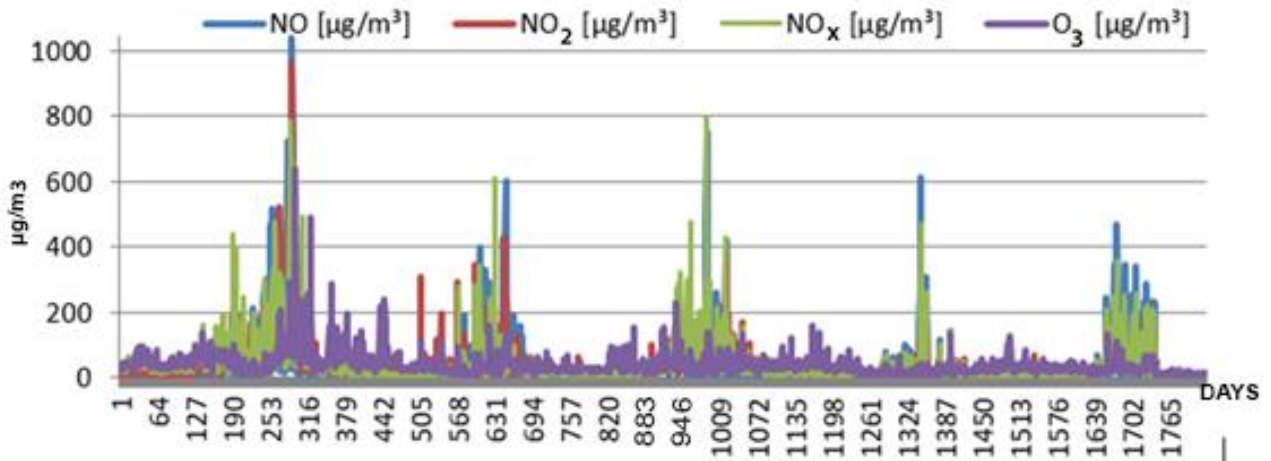


Figure 16. Successful results for obtained parameters of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> in Çanakkale Central

4. Results and Discussion

As seen in figure 16, numerical results are realized for Çanakkale Central. The measurement data between April 2013 and April 2018 was considered. Table 3 shows the results with statistical tool.

Table 3. The results with statistical tool

Pollutants Parameters	Max Value (µg/m <sup>3</sup> )	Min Value (µg/m <sup>3</sup> )	Avg Value (µg/m <sup>3</sup> )
NO	1042.074	0.25	32
NO <sub>2</sub>	958.62	1.18	37
NO <sub>x</sub>	795.39	0.67	40
O <sub>3</sub>	636.74	2.96	40

These results show that the lowest parameter of NO value is obtained as 0.25 µg/m<sup>3</sup> while the highest value is obtained as 1042.074 µg/m<sup>3</sup>. Also, the average NO is found as 32 µg/m<sup>3</sup>. The lowest parameter of NO<sub>2</sub> value is obtained as 1.18 µg/m<sup>3</sup> while the highest value is obtained as 958.62 µg/m<sup>3</sup>. Also, the average NO<sub>2</sub> is found as 37 µg/m<sup>3</sup>. The lowest parameter of the NO<sub>x</sub> value is obtained as 0.67 µg/m<sup>3</sup> while the highest value is obtained as 795.39 µg/m<sup>3</sup>. Also, the average NO<sub>x</sub> is found as 40 µg/m<sup>3</sup>. The lowest parameter of the O<sub>3</sub> value is obtained as 2.96 µg/m<sup>3</sup> while the highest value is obtained as 636.74 µg/m<sup>3</sup>. Also, the average O<sub>3</sub> is found as 40 µg/m<sup>3</sup>. These results show that the obtained forecasted parameter values are very successful and error acceleration is very low. This realized model can be used in the desired locations.

5. Conclusions

In this study, four different locations have been selected. These are Çanakkale Central and the districts of Çan, Lapseki and Biga. Measurements were carried out between April 2013 and April 2018. The daily air quality parameters were measured and recorded for these stations. Within these stations, the Çanakkale Central air quality monitoring station measured only PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> parameters while others measured the parameters of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>. In order to forecast the unmeasured air quality parameters, a NARX model was created. The success of the learning process is over 90%. In the time series modeling, a non-linear autoregressive exogenous model (NARX) is a nonlinear autoregressive model which has exogenous inputs. All measured parameters are defined as the input for this proposed system. Then this mathematical model is applied to the system. This provides forecasting of other air quality parameters and a comparison between numerical and measurement results.

References

Aryal, R., Kafley, D., Beecham, S. and Morawska, L., 2013. Air Quality in the Sydney Metropolitan Region during the 2013 Blue Mountains Wildfire. *Aerosol and Air Quality Research*. 18 (9), 2420-2432. doi: 10.4209/aaqr.2017.10.0427.

Delavar, M., Gholami, A., Shiran, G., Rashidi, Y., Nakhaeizadeh, G., Fedra, K. and Afshar, S. H., 2019. A Novel Method for Improving Air Pollution Prediction Based on Machine Learning Approaches: A Case Study Applied to the Capital City of Tehran. *International Journal*

- of Geo –Information. 8(2), 99, 1-20. doi: 10.3390/ijgi8020099.
- Fathy El-Sharkawy, M. and Javed, W., 2018. Study of Indoor Air Quality Level in Various Restaurants in Saudi Arabia. *Environment Progress & Sustainable Energy*. 37(5), 1713-1721. doi: 10.1002/ep.12859.
- Hamaoui-Laguel, L., Meleux, F., Beekmann, M., Bessagnet, B., Générumont, S., Cellier, P. and Létinois, L., 2014. Improving Ammonia Emissions in Air Quality Modelling for France. *Atmospheric Environment*. 92, 584–595. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.08.002.
- Hristov, A. N., 2011. Contribution of Ammonia Emitted from Livestock To Atmospheric Fine Particulate Matter (PM 2.5) in the United States. *Journal of Dairy Science*. 94 (6), 3130–3136. doi: 10.3168/jds.2010-3681.
- Hung, C-H., Lo, K-C. and Yuan, C-S., 2018. Forming Highly Polluted PMs Caused by the Invasion of Transboundary Air Pollutants: Model Simulation and Discussion. *Aerosol and Air Quality Research*. 18 (7), 1698-1719. doi: 10.4209/aaqr.2017.11.0488.
- Khalid, Z., Iqra, A. and Muneeb A., 2017. Decomposing The Linkages Between Energy Consumption, Air Pollution, Climate Change and Natural Resource Depletion in Pakistan. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 36 (2), 638-648. doi: 10.1002/ep.12519.
- Kurt, A. and Oktay, A. B., 2010. Forecasting Air Pollutant Indicator Levels with Geographic Models 3 Days in Advance Using Neural Networks. *Expert Systems with Applications*. 37 (12), 7986-7992. doi: 10.1016/j.eswa.2010.05.093.
- Jaikumar, R., Nagendra, S. M. S. and Sivanandan, R., 2018. Development of NARX Based Neural Network Model for Predicting Air Quality Near Busy Urban Corridors, In: Zadeh, L. A., Yaser, R.R., Shahbazova, S. N., Reformat, M. Z. and Kreinovich, V. (Eds.), *Recent Developments and the New Direction in Soft-Computing Foundations and Applications*, Springer International Publishing, 581-593.
- Kusumaningtyas, S., Aldrian, E., Wati, T. and Atmoko, D., 2018. The Recent State of Ambient Air Quality in Jakarta. *Aerosol and Air Quality Research*. 18 (4), 2343-2354. doi: 10.4209/aaqr.2017.10.0391.
- Mickelson, A. and Tsvankin, D., 2017. Water Quality Monitoring for Coupled Food, Energy and Water Systems. *Environment Progress & Sustainable Energy*. 37 (1), 165-171. doi: doi.org/10.1002/ep.12789.
- Ortiz-Garcia, E. G., Salcedo-Sanz, S., Perez-Bellido, A. M., Portilla-Figueras, J. A. and Prieto, L., 2010. Prediction of Hourly O3 Concentrations Using Support Vector Regression Algorithms. *Atmospheric Environment*. 35 (44), 4481-4488. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.07.024.
- Pisoni, E., Fariha, M., Carnevale, C. and Piroddi, L., 2009. Forecasting Peak Air Pollution Levels Using NARX models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 22(4-5), 593-602. doi: 10.1016/j.engappai.2009.04.002.
- Sheppard, S. C., Bittman, S. and Bruulsema, T. W., 2010. Monthly Ammonia Emissions from Fertilizers In 12 Canadian Ecoregions. *Canadian Journal of Soil Science*. 90(1), 113–127. doi: 10.4141/CJSS09006.
- Sun, F., Yun, D. and Yu, X., 2017. Air Pollution, Food Production and Food Security: A Review from The Perspective of Food System. *Journal of Integrative Agriculture*. 16 (12): 2945-2962. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61814-8.
- URL-1, <https://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envltrapwelcome/cross-sectoral-linkages/air-pollution-and-food-production.html>. May 1, 2018.
- URL-2, [www.havaizleme.gov.tr](http://www.havaizleme.gov.tr). November 2, 2019.
- URL-3, <https://www.canakkalekalem.com/biga-zehir-soluyor/>. November 8, 2019.
- Wang, D., Wei, S., Luo, H., Yue, C. and Grunder, O., 2017. A Novel Hybrid Model for Air Quality Index Forecasting Based on Two-Phase Decomposition Technique and Modified Extreme Learning Machine. *Science of the Total Environment*. 580, 719-733. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.018.
- Wilkinson, S., Mills, G., Illidge, R. and Davies, W. J., 2012. How is Ozone Pollution Reducing Our Food Supply? *Journal of Experimental Botany*. 63(2), 527-536. doi: 10.1093/jxb/err317.
- Zheng, H., Liu, J., Tang, X., Wang, Z., Wu, H., Yan, P. and Wang, W., 2018. Improvement of the Real-time PM2.5 Forecast over the Beijing-Tianjin-Hebei Region using an Optimal Interpolation Data Assimilation Method. *Aerosol and Air Quality Research*. 18 (5): 1305–1316. doi: 10.4209/aaqr.2017.11.0522.
- Zhu, S., Lian, X., Liu, H., Hu, J., Wang, Y. and Che, J., 2017. Daily Air Quality Index Forecasting with Hybrid Models: A Case in China. *Environmental Pollution*. 231 (Pt 2), 1232-1244. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.069.

## Organofosforlu Pestisidlerden Phosmet'in *Pseudomonas fluorescens* ile Biyodegradasyonunun Dolgulu Kolon Reaktörde Araştırılması

### *Organophosphorus Pesticides Phosmet's Investigation of Biodegradation with Pseudomonas fluorescens in Filled Column Reactor*

Gülşad USLU ŞENEL\*<sup>1,a</sup>, Selin YILMAZ DURDU<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ

<sup>2</sup>Elazığ Valiliği, İller Bankası İl Müdürlüğü, 23100, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 25.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 03.03.2020

#### Öz

Bu çalışmada  $d_p=2\text{mm}$  çaplı tutuklanmış *P. fluorescences* tanecikleri ile dolgulu kolon reaktörde, öncelikle 1 mg/L phosmet derişiminde besleme akış hızının phosmet tüketim hızına etkisi incelenmiştir. Akış hızı arttıkça film difüzyon direncinin azaldığı ve phosmet tüketim hızının arttığı gözlenmiştir. En yüksek phosmet % tüketim değeri (% 99) en düşük akış hızında (1.17 mL/dak) elde edilmiştir. Amaç yüksek dönüşüm yüzdesi elde etmek olduğu kadar, yüksek phosmet tüketim hızında sağlamak olduğundan 1.67 mL/dak akış hızı daha sonraki denemelerde kullanılabilir akış hızı olarak belirlenmiştir. Bu akış hızında elde edilen phosmet tüketim hızı; 0.0096 mg/ g k.mo.sa, tüketim yüzdesi ise % 97.5'dur. Dolgulu kolon reaktörde phosmet giderimi %99 olarak belirlenmiştir. Analizler tarımsal üretiminde yaygın olarak kullanılan phosmetin çevreye olumsuz etkilerini azaltmak için alternatif olarak dolgulu kolon reaktörde bakteriyel biyokütle kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dolgulu Kolon Reaktör, Phosmet, Pseudomonas Fluorescens

#### Abstract

In this study, the effect of feed flow rate on phosmet consumption rate was investigated at a concentration of 1 mg / L phosmet in a column reactor filled with arrested *P. fluorescences* particles with  $d_p = 2$  mm diameter. It was observed that the film diffusion resistance decreased and phosmet consumption rate increased with increasing flow rate. The highest phosmet % consumption value (99%) was obtained at the lowest flow rate (1.17 mL/min). Since the goal was to achieve a high conversion percentage as well as a high phosmet consumption rate, a flow rate of 1.67 mL / min was determined as the flow rate that could be used in subsequent trials. The phosmet consumption rate obtained at this flow rate; 0.0096 mg / g k.mo.sa, the percentage of consumption is 97.5%. Phosmet removal in the filled column reactor was determined as 99%. Experiments have shown that fungal biomass can be used as an alternative to reduce the negative environmental impacts of phosmet, which is widely used in agricultural production.

**Keywords:** Continuous Reactor, Phosmet, Pseudomonas Fluorescences

\*a Gülşad USLU ŞENEL; guslu@firat.edu.tr., Tel: (0533) 7483553, orcid.org/0000-0002-5304-9436

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

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte ortaya çıkan gıda maddesi ihtiyacı tarımsal üretimden maksimum verim elde edebilmek için gübre ve pestisit kullanımını zorunlu hale getirmiştir (Storck vd., 2017; Chen vd., 2017). Hem Türkiye’de hem de dünyada tarımı destek amacıyla kullanılan pestisitler sayesinde, yeterli miktarda ve kalitede ürün elde edilmektedir (Hillocks, 2012).

Dünya genelinde ve ülkemizde olduğu gibi pestisit kullanımını her geçen gün artmakta ve ekolojik döngüyü bozmaktadır. Günlük yaşantımızda her alanda rastlayabileceğimiz pestisitler özellikle tarımsal faaliyetlerde yoğun olarak kullanılmakta ve çevresel taşınımları sonucunda su kaynaklarına ulaşabilmektedir. Artan popülasyon neticesinde tarım alanlarından daha fazla ürün alma isteği bu bölgelerde uygulanan zirai ilaç kullanımını da arttırmaktadır. Bilinçsiz ve düzensiz aşırı ilaç kullanımı topraktan süzülerek yüzeysel sulara ve yeraltı su kaynaklarına ulaşmaktadır. Kullanılan bu ilaçlar pestisit olarak bilinen oldukça toksik, biyolojik olarak kararlı ve aynı zamanda çok düşük konsantrasyonlarda bulunan kimyasallardır. Pestisitlerin ihtiyaç duyulan dozlardan fazla kullanımı, alıcı ortamın doğal dengesini bozarken aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere yol açtığı bilinmektedir.

Uzun süre bozunmadan doğada kalan pestisitler konvansiyonel arıtım yöntemleri ile yeterince arıtılamamaktadır (Jasim vd., 2006; Curutio vd., 2017). Çeşitli sebeplerle doğal su kaynaklarına, yeraltı suyuna ve toprağa ulaşan pestisitler ve parçalanma ürünleri canlılara zarar vermektedir. Pestisitlerle kirlenmiş suların kullanılması insanlar ve diğer canlılar için tehlike oluşturmaktadır (Pazi vd., 2013; Ardiç, 2013). Alıcı ortamlarda pestisitlerin tespiti sonucunda bu kirleticilerin; fizikokimyasal arıtma, koagülasyon flokülasyon, adsorpsiyon, biyolojik arıtma, ileri oksidasyon prosesleri, membran prosesleri ve hibrit prosesler gibi birçok değişik arıtma teknikleri pestisit gideriminde kullanılmaktadır (Kitiş, 2014).

Pestisitlerin toksik ve kompleks yapılarından dolayı suların biyolojik olarak giderimi oldukça sınırlıdır (Feakin vd., 1995). Genel olarak bir pestisit biyolojik parçalanması, üç ana kategoride incelenmektedir. Birinci kategoride parçalanma az veya yok gibidir. Bu durumda pestisit molekülü aktivitesini uzunca bir süre toprakta sürdürebilir. Çevre kirliliği açısından en zehirli olan kategori

budur. İkinci kategorideki pestisit molekülü, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmayacak şekilde yavaş bir ayrışmaya uğramaktadır. Üçüncüde ise, pestisit molekülünü sadece kısmi bir bozunmaya uğramakta ve bu nedenle da bu tipteki pestisitler çevrede en çok birikim eğilimi gösteren bileşikler olarak görülmektedir. Pestisit kalıntılarının biyolojik bozunmalarında yer alan mikroorganizma tür ve cinsleri çok çeşitlidir. Pestisitlerin biyolojik mineralizasyon süreçlerinde en etkin olan bakteri cinsleri *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus* ve *Achromobacter*’dir. Pestisitlerin biyodegradasyonu etkileyen faktörler sırasıyla sıcaklık, bekleme süresi, nütrient muhtevası, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mikrobiyal popülasyon ve pestisit çözümlülüğüdür (Fernandes vd., 2013; Antonious, 2012; Chowdhury vd., 2008).

Dünyada yapılan birçok çalışma kirleticilerinin tanımlanması ve teşhisi üzerinedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise çeşitli pestisitlerle kirlenmiş alıcı ortamların bu kirleticilerden giderilmesinde görev alan mikroorganizmaları tanımlamaya yönelik olmuştur. Biyodegradasyon, mikroorganizmalar tarafından kısa sürede gerçekleştiği için önemli bir arıtım tekniğidir. Özellikle bakteriler hem doğal veya yapay kirleticilere karşı dirençli olmaları hem de sentezledikleri enzimler sayesinde biyolojik bozunmayı destekledikleri için ilgi odağı haline gelmiştir. Bununla birlikte, bazı funguslar, algler, arkeler ve bitkiler de pestisitleri biyolojik olarak parçalayabilme özelliğine sahiplerdir (Copley, 2009). Literatürde bakteriler tarafından pestisitlerin özellikle de herbisitlerin biyodegradasyonu ile ilgili yapılan birçok çalışma vardır (Radosevich vd., 1995; Struthers vd., 1998; Bending vd., 2003). Ancak Phosmet pestisitinin giderimi konusunda yapılan çalışmalar çok sınırlıdır. Kullanımı oldukça yaygın olan ve özellikle sucul çevresel ortamlara giriş yapmış olan phosmetin giderimiyle ilgili farklı giderim yöntemlerinin detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Phosmetin biyodegradasyon kapasitesini belirlemek ve arıtma formülasyonları geliştirmek bu kirleticilerle kirlenmiş atıksuların yönetiminde önemlidir. Bu çalışmanın amacı, phosmetin biyodegradasyon yöntemleriyle dolgu kolon reaktörde giderim etkinliğini araştırmaktır. Bu amaçla dp=2mm çaplı tutuklanmış *P. fluorescences* tanecikleri ile dolgu kolon reaktörde, öncelikle 1 mg/L phosmet derişiminde besleme akış hızının phosmet tüketim hızına etkisi incelenmiştir.

### 1.1. Dolgulu Kolon Reaktör

Biyoteknolojik işlemlerde kesikli düzende çalışan reaktörlerin yanında sürekli düzende çalışan kolon tipi reaktörlerin kullanımı da oldukça yaygındır. Dolgulu kolon reaktörler, mikroorganizma miktarı ayarlanarak büyük miktarda atıksu arıtımı yapılabilmesi, mikroorganizma bulaşmasının görülmemesi ve arıtılmış atıksuyun sistemden kolaylıkla ayrılabilmesi gibi özelliklerinden ötürü tercih edilen bir reaktör türüdür. Bu çalışmada phosmetin biyodegradasyonu için kalsiyum aljinatta tutuklanmış *P. fluorescens* taneciklerini içeren dolgulu kolon reaktör kullanılmıştır.

Dolgulu kolon reaktörde phosmet tüketim hızı Denklem (1)'de tüketim yüzdesi ise Denklem (2)'de tanımlanmıştır.

$$v_k = (C_{po} - C) \frac{Q}{w} \left( \frac{60}{1000} \right) \quad (1)$$

Burada;  $v_k$ : Kolon phosmet tüketim hızı (mg phosmet/g k.mo.sa);  $C_{po}$ : Kolon phosmet besleme derişimi (mg/L);  $C$ : Kolon phosmet çıkış derişimi (mg / L);  $Q$ : Hacimsel akış hızı (mL / dak);  $w$ : Kolondaki toplam kuru mikroorganizma miktarını (g) vermektedir.

$$\% \text{ Tüketim} = \frac{C_o - C}{C_o} \times 100 \quad (2)$$

Kolon kesit alanı (cm<sup>2</sup>)  $A$ 'nın hesabı Denklem (3)' e göre yapılmıştır.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon \quad (3)$$

Burada;  $D$ : Kolon çapı (cm);  $\varepsilon$ : Poroziteyi ifade etmektedir.

Alıkonma süresi ise Denklem (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{V}{Q} \varepsilon \quad (4)$$

Burada  $V$  Boşluk hacmi (cm<sup>3</sup>)'ni ifade etmektedir.

#### Dolgulu Kolonda Görünür Tepkime Hız Sabitinin Hesaplanması

Dolgulu kolonda substrat için süreklilik denkliği aşağıdaki şekilde verilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + D_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right) - U \frac{\partial C}{\partial z} - v_k \quad (5)$$

-Yatışkın durum, -Tıpa tipi akış, -Radyal ve eksenel yöndeki difüzyonla kütle aktarımı ihmal

edilebilir, varsayımları yapılarak Denklem (6) elde edilir.

$$U \frac{\partial C}{\partial z} = -v_k \quad (6)$$

Buradaki tepkime hızı ( $v_k$ ) (g mol/L-sa) birimindedir. İncelenen tepkime tutuklanmış mikroorganizma ile katalizlenen tepkime olduğundan tepkime hızı (mg/g k.mo.sa) biriminde olmalıdır. Eşitliğin sol tarafı  $h/w$  ile çarpıldığında ve akış hızı hacimsel akış hızı olarak alındığında gerekli birim değişikliği yapılmış olur.

$$\frac{h}{w} Q \frac{\partial C}{\partial z} = -v_k \quad (7)$$

Burada;  $h$ , Kolon boyu (cm);  $w$ , Tutuklanmış taneciklerdeki toplam kuru mikroorganizma miktarı (g);  $Q$ , Hacimsel akış hızı (cm<sup>3</sup>/dak.)'dir. Düşük substrat derişimlerinde biyodegradasyonun 1. Derece bir tepkime olduğu kabul edilirse;

$$v_k = k_p C \quad (8)$$

$k_p$  : Görünür tepkime hızı (cm<sup>3</sup>/g. sa)'dir.

Denklem 7 ve 8'de kullanılırsa

$$\frac{hQ}{w} \frac{dC}{dz} = -k_p C \quad (9)$$

elde edilir. Denklem (6);  $z=0$   $C=C_{po}$  ve  $z=h$   $C=C$  sınır koşulları ile çözümlerse, Denklem (10) elde edilir.

$$\ln \frac{C_{FO}}{C} = \frac{w}{Q} k_p \quad (10)$$

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Mikroorganizma Kültürü

American Type Culture Collection (A.T.C.C.)'dan Liyofilize halde temin edilen *P. fluorescens*<sup>BAA-477</sup> çalışmalarda kullanılmak üzere zenginleştirilmiş besin ortamında labaratuarda üretilmiştir. *P. fluorescens*'in üretiminde kullanılan zengin sıvı besiyerinin bileşimi 5g/L glukoz, 1 g/L maya özütü, 1g/L pepton, 0,5 g/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,5 g/L(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.SO<sub>4</sub> ve 0,05 g/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'dur. Sterillenecek üretime hazırlanan besiyerine *P. fluorescens* 1/10 oranında aşılacaktır. Daha sonra 30 °C sıcaklık ve 150 rpm karıştırma hızında çalışan orbital inkübatörde 24 saat süre ile bekletilerek, *P. fluorescens*'in üremesi gerçekleştirilmiştir (Yılmaz, 2012; Uslu Şenel ve Yılmaz Durdu, 2020).

Phosmet pestisitinin mikroorganizmalarla biyodegradasyonunda mevcut pestisit 10 ppm konsantrasyonunda stok çözelti hazırlanmıştır. Besi ortamına bu stok çözülden istenilen konsantrasyonu oluşturacak şekilde pipet yardımıyla pestisit çözeltisi ilave edilmiştir.

## 2.2. Pestisit Solüsyonu Hazırlanması ve LC MS/MS Cihazında Tayin Şartlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan phosmet pestisitinin analitik standardı Dr Ehrenstorfer firmasının Türkiye temsilcisinden temin edilmiş olup % 98.5 saflıktadır. Phosmet pestisitinin etkin maddesi metanolde (% 98) çözünerek 10 ppm'lik stok çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözelti çalışma süresince derin dondurucuda -15 °C'de muhafaza edilmiştir. Pestisit stok çözeltisinden seyreltme ile 1- 10 ppm arasında bir dizi standart çözelti hazırlanmıştır.

LC-MS/MS tekniğinde yüksek basınçlı sıvı kromatografisinde fizikokimyasal özelliklerine göre ayrılan moleküller kütle dedektörü ile analiz edilmektedir. Birinci kuadropol filtrede m/z (kütle/yük) oranına göre ayrılan moleküller collision gaz adı verilen yüksek saflıkta özel bir gaz ile parçalanmaya tabi tutulmaktadır. İkinci kuadropol filtrede parçalanma sonucu oluşan iyonların üzerinden teşhis ve miktar tayini yapılmaktadır. Aynı m/z oranına sahip pek çok molekülün mevcut olmasına karşın aynı parçalanma iyonlarına sahip molekül sayısı doğada 1/10000 dür. Bu nedenle LC-MS/MS tekniği çok düşük konsantrasyonlarda maddenin miktar tayininin yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca sonuçların doğrulanmasına da gerek duyulmamaktadır.

LC-MS/MS ile pestisitlerin analizinde öncelikle numuneler vial adı verilen küçük cam şişelere filtreler yardımıyla enjekte edilir. Metanol ve su çözeltisi ile amonyum formattan oluşan hareketli faz belli bir akış hızıyla gelir ve numuneyi alarak sürüklemeye başlar. Kolon kısmına gelir ve buradan da numune MS kısmındaki elektrota geçer. Burada phosmet iyonlaşarak gaz fazına geçer. Buradan gaz 1 'in olduğu kuadropole gelir. Q<sub>0</sub> 'da moleküller spiral hareket yaparak sıraya girer. Q<sub>1</sub>'de phosmet yakalanır. Q<sub>2</sub>'de azot jeneratöründen gelen azotla phosmet molekülü çarpıştırılır ve parçalanma ürünleri oluşur. Q<sub>3</sub>'de parçalanma ürünleri yakalanarak dedektör tarafından miktar belirlenir ve pik olarak tayin edilir.

Bu çalışmada phosmet pestisitinin analizinde Shimadzu marka LC MS/MS cihazı kullanılmıştır.

## 2.3. Mikroorganizmanın Tutuklanması

Bu çalışmada kullanılan *P. fluorescens*, iyon değiştirme ile jelleşme temeline göre oluşturulan kalsiyum aljinat jeli tutuklanarak kullanılmıştır. İlk olarak bir aljinik asit tuzu olan sodyum aljinattan, % 2 'lik sodyum aljinat çözeltisi hazırlanmıştır. İkinci olarak; zengin sıvı besi ortamında logaritmik evreye kadar üretilen mikroorganizmalar, 5000 devir/dak. hızda santrifüjlenmiştir. Daha sonra 1 g yaş hücre/3 mL sodyum aljinat çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım düzgün küresel tanecikler oluşturabilmek için bir şırınga yardımıyla % 20'lik kalsiyum klorür çözeltisi içine damlatılmıştır. Sodyum aljinat-mikroorganizma karışımı CaCl<sub>2</sub> çözeltisine damlatıldığında kalsiyum iyonları, sodyum iyonları ile yer değiştirir ve kalsiyum aljinat jeli çöker. Böylece mikroorganizma hücreleri de kalsiyum aljinat jeli içine hapis olur. Tutuklanmış hücreleri içeren kalsiyum aljinat taneciklerinin jel oluşumunu tamamlayabilmeleri için en az 2 saat CaCl<sub>2</sub> çözeltisi içinde laboratuvar ortamında bekletilmiştir (Yılmaz, 2012).

Çalışmada kullanılan besleme çözeltisi, 15 L hacminde saf suda 0,005g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,1g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,005g KNO<sub>3</sub>, 2 g NaCl, 0,25g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 2.25g CaCl<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O bileşikleri çözülerek hazırlanmıştır. Çözeltinin pH değeri NaOH ve MOPS çözeltisi ile 8.3'e sabitlenmiştir.

Tutuklanmış mikroorganizmalarla yapılan biyodegradasyon deneylerinde kullanılan sıvı besiyerinin bileşimi, 0,010 g/L maya özütü, 0,040g/L pepton, 0,07 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,015 g/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.SO<sub>4</sub> ve 0,050 g/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'dur.

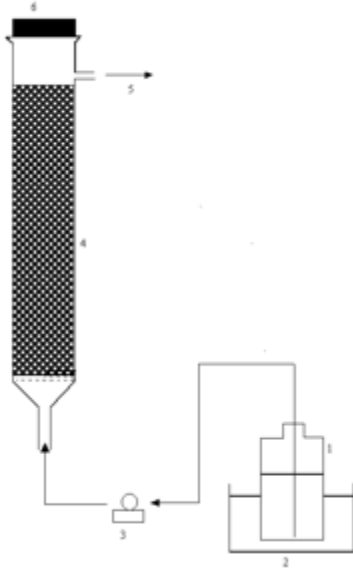
## 2.4. Dolgulu Kolon Deney Düzenegi

Dolgulu kolon reaktör deneylerinde iç çapı 2. 2. cm, dolgu yüksekliği 27. 5 cm olan pyrex camdan yapılmış bir dolgulu kolon reaktör kullanılmıştır. Kolon ortalama çapı 2 mm olan tutuklanmış mikroorganizmalarla doldurularak dolgulu yatak elde edilmiştir. Dolgulu Kolon Reaktör sistemi Şekil 1.'de verilmiştir (Yılmaz, 2012).

## 2.5. Mikroorganizma Derişimi Analizi

Yaş mikroorganizma derişimi g/L cinsinden spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Daha sonra yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusundan yararlanarak g/L cinsinden kuru mikroorganizma derişimine geçilmiştir (Yılmaz, 2012).





**Şekil 1.** Dolgulu kolon reaktör akım şeması (1. Besleme çözeltisi tankı; 2. Sabit sıcaklıktaki su banyosu; 3. Besleme pompası, 4. Dolgulu kolon reaktör; 5.Reaktör çıkışı, 6.Tıpa).

### 3. Bulgular

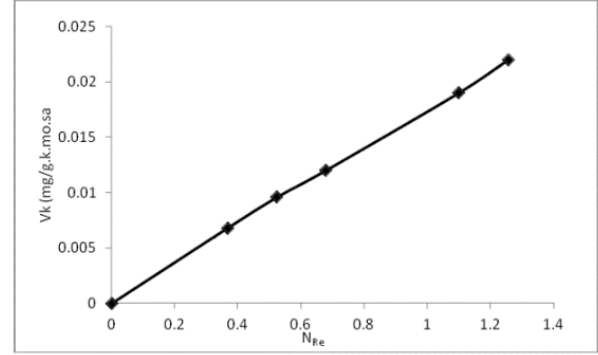
Bu çalışmada, besleme akış hızının ve phosmet derişiminin, phosmet tüketim hızına ve verimliliğine etkileri araştırılmıştır.

#### 3.1. Besleme Akış Hızının Etkisi

Dolgulu kolon reaktörlerde Besleme akış hızının phosmet tüketimine etkisi, kolon substrat tüketim hızı ve substrat tüketim verimi cinsinden araştırılmıştır. Bu amaçla kalsiyum aljinatta tutuklanmış bakteri hücrelerini içeren ve 30 °C'de tutulan dolgulu kolona pH 7'de 1 mg/L phosmet içeren ve bileşimi verilen besleme çözeltisi 1.17-4.00 ml/dak. arasında değişen akış hızlarında beslenmiştir. Dolgulu kolonda phosmet tüketim hızının kolon Reynolds Sayısı ile değişimi Şekil 2'de verilmiştir.

Mikroorganizmalar gözenekli bir matrikste tutuklandığında, substrat ilk olarak tutuklanmış tanecik etrafındaki film tabakasından difüzenerek porların içine ulaşır. Burada reaksiyon verir ve ürünler sıvı besin ortamına difüzenir. Düşük akış hızlarında tanecik etrafındaki film tabakası direnci kırılmadığından düşük phosmet tüketim hızları gözlenmektedir. Akış hızı artırıldığında ise phosmet tüketim hızı bir plato değerinde kalmaktadır. Substrat dönüşüm yüzdesi açısından veriler değerlendirildiğinde ise akış hızının artması ile dönüşüm yüzdesinin sürekli olarak azalması söz konusudur (Tablo 1). En yüksek substrat tüketim yüzdesi en düşük akış hızı olan 1.17 mL/dak'da elde edilmiştir. Düşük alıkonma sürelerinde

çalışıldığı takdirde, sistemde geri döngü yapılarak % dönüşüm artırılabilir. Tek geçişte amaç yüksek dönüşüm verimi elde etmek olduğundan aynı zamanda film direncini düşük, substrat dönüşüm hızını da yüksek seviyede tutabilmek için 1.67 mL/dak besleme akış hızı, daha sonraki çalışmalarda kullanılacak uygun bir değer olarak belirlenmiştir.



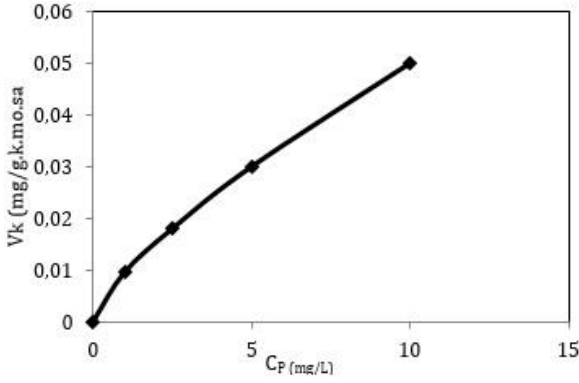
**Şekil 2.** Dolgulu kolonda phosmet tüketim hızının kolon reynolds sayısı ile değişimi (pH=7, T=30°C,  $C_{po}$ =1 mg/L, w= 10.15 g,  $\epsilon$ =0.33, dp=2 mm)

**Tablo 1.** Farklı akış hızlarında elde edilen alıkonma süreleri ve % phosmet tüketim değerleri (pH= 7, T= 30 °C,  $C_{po}$ = 1 mg/L, w=10.15 g,  $\epsilon$ = 0.33)

Q (mL/dak)	$\tau$ (sa)	% Tüketim	$N_{Re}$
1.17	0.56	99	0.367
1.67	0.39	97.5	0.524
2.16	0.30	96.7	0.678
3.5	0.19	95.6	1.099
4.0	0.16	94.9	1.256

#### 3.2. Besleme Phosmet Derişiminin Etkisi

Başlangıç phosmet derişiminin kolon phosmet tüketim hızına ve % dönüşümüne etkisi, 30 °C sabit sıcaklık, başlangıç pH'ı 7 ve 1.67 mL/dak besleme akış hızında incelenmiş, sonuçlar Şekil 3'de; farklı phosmet derişimlerinde elde edilen kolon phosmet yüzde tüketim değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 3 ve Tablo 2'den de görüldüğü gibi phosmet derişimi arttıkça kolon phosmet tüketim hızı artarken, tüketim yüzdesi ise % 97.5'den % 55.4'e kadar azalmıştır. Dolgulu kolonda amaç yüksek % dönüşüm sağlamak olduğu kadar yüksek substrat tüketim hızı da elde etmektir.



**Şekil 3.** Phosmet derişiminin kolon phosmet tüketim hızına etkisi (pH=7, T=30°C,  $C_{po}$ =1 mg/L, w=10.15 g,  $\epsilon$ = 0.33, dp=2 mm,  $\tau$ =0.30 sa)

**Tablo 2.** Farklı phosmet derişimlerinde elde edilen kolon % phosmet tüketim değerleri (pH=7, T=30°C, w=10.15 g,  $\epsilon$  =0.33  $\tau$ =0.30 sa)

$C_{po}$ (mg/L)	% Tüketim
1.0	97.5
2.5	76.4
5.0	63.2
10.0	55.4

### 3.3. Dolgulu Kolon Reaktörde Görünür Tepkime Hız Sabitinin Hesaplanması

Dolgulu kolon için 1. derece biyodegradasyon kabulü ile süreklilik denkleğinin çözümünden elde edilen Denklem 10 kullanılarak çeşitli akış hızları için görünür tepkime hız sabitleri hesaplanmış ve Tablo 3.'te çeşitli akış hızları için bulunan görünür tepkime hız sabiti değerleri sunulmuştur. Sıvı akımındaki türbülansın artması, sıvı film difüzyon direncinin sebep olduğu kütle aktarım kısıtlamalarını düşürür, dolayısı ile tepkime hızı artar. Kolon Reynolds sayısının artmasıyla deneysel  $K_p$  değerlerinin artması teori ile uyum içindedir.

**Tablo 3.** Çeşitli akış hızlarında elde edilen görünür tepkime hız sabiti değerleri (pH=7, T= 30 °C,  $C_{po}$ = 1 mg/L, w=10.15 g,  $\epsilon$  =0.33)

Q, (mL/dak.)	C/C <sub>0</sub>	$K_p$ , (cm <sup>3</sup> /g k. mo. sa)
1.17	100	31.85
1.67	40	36.4
2.16	30.30	43.5
3.5	22.72	64.6
4.0	19.6	70.35

## 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada organofosforlu pestisitlerden phosmetin giderimi, *P. fluorescens* bakterisi ile dolgulu kolon reaktörde incelenmiştir. Elde edilen veriler besleme akış hızının etkisi ve phosmet derişiminin etkisi açısından değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Biyodegradasyon ortam bileşiminin pestisitlerin tüketimini büyük ölçüde etkilediği anlaşılmış ve ortamda başka bir karbon kaynağı bulunduğunda bakterinin pestisiti tüketmek yerine kullanımı daha kolay olan diğer karbon kaynağını tercih ettiği anlaşılmıştır. Mikroorganizmalar ortamda bulunan pestisitleri karbon kaynağı olarak tüketmekte ve böylece çok önemli bir çevre kirleticisi olan pestisitleri ortamdaki uzaklaştırmaktadırlar. dp=2 mm çaplı tutuklanmış *P. fluorescences* tanecikleri ile dolgulu kolon reaktörde, öncelikle 1 mg/L phosmet derişiminde besleme akış hızının phosmet tüketim hızına etkisi incelenmiştir. Akış hızı arttıkça film difüzyon direncinin azaldığı ve phosmet tüketim hızının arttığı gözlenmiştir. En yüksek phosmet % tüketim değeri (% 99) en düşük akış hızında (1.17 mL/dak) elde edilmiştir. Amaç yüksek dönüşüm yüzdesi elde etmek olduğu kadar, yüksek phosmet tüketim hızını da sağlamak olduğundan 1.67 mL/dak akış hızı daha sonraki denemelerde kullanılabilecek akış hızı olarak belirlenmiştir. Bu akış hızında elde edilen phosmet tüketim hızı; 0.0096 mg/g k.mo.sa, tüketim yüzdesi ise % 97.5 'dur. Dolgulu kolon reaktörde phosmet giderimi % 99 olarak belirlenmiştir. [Yahiat vd., \(2011\)](#) yaptıkları çalışmalarında, *Pseudomonas fluorescens* kullanarak siprokonazol fungusinin sudaki giderimini hibrit fotokataliz ve biyolojik arıtma prosesiyle araştırmışlardır. Çalışmada 500 dakika aydınlatma sonunda, 85 mg/L siprokonazol giderimi yapılmıştır. Sonraki biyolojik arıtma için artık organik madde miktarı önemli olduğundan, %85,8 parçalanma, %38,5 mineralizasyon ve %51,6 oksidasyonun olduğu 255 dakikalık aydınlatma süresi seçilmiştir. Sonuçta, sulardan siprokonazol gideriminde biyolojik arıtım öncesi fotokataliz prosesi başarılı olmamıştır. Oysa bizim çalışmamızda *P. fluorescens* kullanarak dolgulu kolon reaktörde 10 mg/L phosmet derişiminde %55.4 giderim sağlanmıştır.

Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinin kullanımı ile yoğun hücre derişimi sağlanır ve mikroorganizmalar uzun süre biyolojik aktivitelerini kaybetmeden kullanılabilirler. Ayrıca pH, sıcaklık, substrat derişimi gibi ortam özelliklerinden daha az etkilendiklerinden daha

geniş pH, sıcaklık, substrat derişim aralıklarında kullanılabilirler.

Dolgu kolon reaktörde mikroorganizma miktarı ve akış hızı ayarlanarak istenilen phosmet tüketim hızı ve dönüşüm değerlerinde çalışmak mümkündür. Tek geçişte yüksek dönüşüm istendiğinde düşük akış hızlarında çalışmak gerekir. Yüksek akış hızlarında dönüşüm azalır. Geri döngü yapılarak verim artırılabilir. Sistem substrat inhibisyonundan daha az etkilendiğinden yüksek phosmet derişimlerinde çalışılabilir. Arıtılmış atıksuyun mikroorganizmalardan kolayca ayrılabilmesi sistemin önemli bir üstünlüğüdür. Besleme çözeltisi sürekli akış halinde olduğundan diğer mikroorganizmalar uygun üreme ortamı bulamazlar. Dolayısıyla sistemde bulaşma gözlenmez. Arıtılacak atıksu miktarı fazla, phosmet derişimi yüksek ise dolgu kolon reaktör sistemi akış hızı ve mikroorganizma miktarı ayarlanarak başarı ile uygulanabilir.

### Teşekkür

Bu Makale Selin Yılmaz Durdu'nun Yüksek Lisans Tezi'nden üretilmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere de teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Antonious, G.F., 2012. On-farm Bioremediation of Dimethazone and tTrifluralin Residues in Runoff Water from an Agricultural Field. *Journal of Environmental Science and Health*, 47(7), 608-621.
- Ardıç, G., 2013. Yukarı Sakarya Havzası'nda Yaşayan Balık Türlerindeki Organoklorlu Pestisit Kalıntılarının Mevsimsel Olarak Belirlenmesi. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye,
- Bending, G.D., Lincoln, S.D., Sorensen, S.R., Morgan, J.A.W., Aamand, J. ve Walker, A., 2003. In-field Spatial Variability in the Degradation of the Phenyl-urea Herbicide Isoproturon is the Result of Interaction Between Degradative *Sphingomonas spp.* and Soil pH. *Applied Environmental Microbiology*, 69, 827-834.
- Chen, Y, Wen, X., Wang, B. ve Nie, P., 2017. Agricultural Pollution and Regulation: How to Subsidize Agriculture?. *Journal of Cleaner Production*, 164, 258-264.
- Chowdhury, A., Pradhan, S., Saha, M. ve Sanyal, N., 2008. Impact of Pesticides on Soil Microbiological Parameters and Possible Bioremediation Strategies. *Indian Journal Microbiology*, 48, 114

- Copley, S.D., 2009. Evolution of Efficient Pathways for Degradation of Anthropogenic Chemicals. *Nature Chemical Biology*, 5(8):559-66.
- Curutiu, C., Lazar, V. ve Chifiriuc, M.C., 2017. Pesticides and Antimicrobial Resistance: from Environmental Compartments to Animal and Human Infections. *New Pesticides and Soil Sensors*, Academic Press, 373-392.
- Feakin, S.J., Gubbins, B., McGhee, I., Shaw, L.J. ve Burns, R.G., 1995. Inoculation of Granular Activated Carbon with S-Triazine Triazinedegrading Bacteria for Water Treatment at Pilot-Scale. *Water Research*, 29 (7), 1681-1688.
- Fernandez-Alba, A.R., Hernando, D., Agüera, A., Caceres, J. ve Malato, S., 2002. Toxicity Assays: a Way for Evaluating AOPs Efficiency. *Water Research*, 36 (17), 4255-4262.
- Hillocks, R.J., 2012. Farming with Fewer Pesticides: EU Pesticide Review and Resulting Challenges for UK Agriculture. *Crop Protection*, 31(1), 85-93.
- Jasim, S.Y., Irabelli, A., Yang, P., Ahmed, S. ve Schweitzer, L., 2006. Presence of Pharmaceuticals and Pesticides in Detroit River Water and the Effect of Ozone on Removal. *Ozone: Science & Engineering*, 28(6), 415-423.
- Kitiş, M., 2014. Sularda Tehlikeli ve Öncelikli Maddeler-Arıtma Prosesleri, OSİB, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Personel Eğitimi, 5 Kasım, Afyon.
- Pazı, İ., Gönül, L.T. ve Küçüksezgin, F., 2013. Pesticide and PCB Residues in Biotic and Abiotic Environment in Lake Bafa. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 30(4), 175-182.
- Radosevich, M., Traina, S.J., Hao, Y.L. ve Touvinen, O.H., 1995. Degradation and Mineralization of Atrazine by a Soil Bacterial Isolate. *Applied Environmental Microbiology*, 61, 297-302.
- Storck, V., Karpouzias, D.G. ve Martin-Laurent, F., 2017. Towards a Better Pesticide Policy for the European Union. *Science of Total Environment*, 575, 1027-1033.
- Struthers, J.K., Jayachandran, K. ve Moorman, T.B., 1998. Biodegradation of Atrazine by *Agrobacterium Radiobacter J14 a* and use of this Strain in Bioremediation of Contaminated Soil. *Applied Environmental Microbiology*, 64, 3368-3375.
- Yahiat, S., Fourcade, F., Brosillon, S. ve Amrane, A., 2011. Photocatalysis as a Pre-treatment Prior to a Biological Degradation of Cyproconazole. *Desalination*, 281, 61-67.
- Yılmaz, S., 2012. Organofosforlu Pestisitlerden Phosmetin *Pseudomonas fluorescens* ile Biyodegradasyonun Kesikli ve Sürekli Sistemlerde Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

## Production of Wall Tiles Containing Ulexite Waste at Different Sintering Temperatures

*Üleksit Atığı İçeren Duvar Karolarının Farklı Sinterleşme Sıcaklıklarında Üretimi*

**Kemal KÖSEOĞLU<sup>1,a</sup>, Hakan CENGİZLER<sup>2,b</sup>, Lina İSRAEL İSRAİL<sup>\*1,c</sup>**

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Seramik Cam Çinicilik Programı, 35100, İzmir

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Seramik Programı, 45410, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 04.12.2019 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 11.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 04.03.2020

### Abstract

Experimental compositions were prepared by the additions of ulexite concentrator waste to a standard wall tile body sintered at different temperatures. Tests of linear firing shrinkage, water absorption, and fired bending strength (eğilme mukavemeti) were done. XRD analyses were conducted to determine major crystalline phases in wall tile bodies. SEM-EDX analyses were performed to study the microstructural evolution of the standard and experimental wall tile bodies. Colorimetric analyses were also made. The wall tile body containing 5 weight percent ulexite concentrator waste fired at 925°C for 6 minutes was determined to be the optimal composition with 0.60% of linear firing shrinkage, 17.66% of water absorption, and 208.60 of kg/cm<sup>2</sup> fired bending strength (eğilme mukavemeti). Sintering temperature was reduced from 1182°C of industrial practice down to 925°C. Utilization of ulexite concentrator waste in tile bodies will help reduce energy costs in favour of the environment and economy.

**Keywords:** Sintering, Ulexite Waste, Wall Tile

### Öz

Üleksit konsantratör atığının standard duvar karosu bünyesine katılması ve değişik sıcaklıklarda sinterleşmesiyle deneysel numuneler hazırlanmıştır. Doğrusal pişme küçülmesi, su absorpsiyonu ve pişme bükülme testleri yapılmıştır. X-ışınları kırınım analizleri duvar karolarının kristal fazlarını tayin etmekte; SEM-EDX analizleri standard ve deneysel duvar karolarının mikro yapılarındaki değişimlerin anlaşılmasında kullanılmıştır. Renk analizleri de gerçekleştirilmiştir. 925°C de 6 dakika pişirilen %5 üleksit konsantratör atığı %0.6 doğrusal pişme küçülmesi, %17.66 su emme ve 208.6 kg/cm<sup>2</sup> pişme bükülmesi değerleriyle optimum konsantratör atık derişimi olarak belirlenmiştir. Endüstriyel üretimde 1182°C olan sinterleşme sıcaklığı 925°C'ye düşürülmüştür. Üleksit konsantratör atığının duvar karolarında kullanımı enerji maliyetlerini düşürmeye yardım ederek ekonomi ve çevreye yarar sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sinterleşme, Üleksit Atığı, Duvar Karosu

\*c Lina İSRAEL İSRAİL, lina.israil.01@mail.ege.edu.tr, Tel: 0(232) 3112939, orcid.org/0000-0002-0560-1839

<sup>a</sup>orcid.org/0000-0003-11,16-9103,

<sup>b</sup>orcid.org/0000-0001-5982-7692

## 1. Introduction

Turkey was the seventh largest tile producer in the world and third in Europe. Besides, it was the fifth largest exporter in the world and third in Europe (Sezzi, 2004; Alp, 2005).

Boron minerals are very strategic and valuable raw materials. Their products are widely used in more than 200 fields of application (Önal and Burat, 2008). Eti Mine Works, the national mining enterprise of Turkey, produces concentrates of tincal, colemanite and ulexite (URL-1; Kurama et al., 2007; Ediz and Yurdakul, 2009; Kavas et al., 2011). Boron occurs as minerals associated with clay and other impurities in nature (Ediz and Yurdakul, 2009). Therefore, mineral processing methods are employed to obtain boron concentrates for further use in industry (Önal and Burat, 2008). During the ore treatment and refining processes to respectively produce boron concentrates and refined boron products of chemical purity (Önal and Burat, 2008), a substantial amount of different types of solid boron-containing wastes around 400.000 tons/year are formed and rejected in tailing dams or discharged in land fillings (Karasu et al., 2004; Kurama et al., 2006; Kurama et al., 2007; Önal and Burat, 2008; Ediz ve Yurdakul, 2009; Kavas et al., 2011). Boron is a known micronutrient, but high concentrations are deleterious for plants and materials containing high amounts of boron should be considered as a pollutant (Levinkas, 1964). Continuous accumulation of this large amount of industrial waste raises environmental concern. Because most boron compounds are easily dissolved in water which may result in severe environmental pollution when rains dissolve and carry these wastes to underground or surface water reservoirs (Ediz and Yurdakul, 2009). In particular, the dissolved boron compounds form several complexes with the heavy metals (Pb, Cu, Co, Ni, Cd, etc.), which are more toxic than their metals (Boncukoglu et al., 2003). Some environmental effects came about due to boron mining and processing practised on a large scale in Turkey for almost 50 years (Önal and Burat, 2008). The B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of these wastes usually varies between 11 and 20 weight % depending on the initial minerals and the processing conditions (Kavas et al., 2011).

Ceramic industry is the large energy consumer especially due to drying and firing processes (Alp, 2005). Boron oxide-bearing minerals have a glass-forming character and have been used in the ceramic industry to assist the amount of molten

phase to increase and the sintering temperature to decrease acting as a fluxing agent (Kurama et al., 2006). The best way to supply cheap boron oxide-bearing raw materials to ceramic industry as a fluxing agent is to incorporate boron containing wastes. A number of studies were carried out to utilize boron concentrator wastes in wall tile/tiles (WT) production (Karasu et al., 2002a,b,c, 2004; Ediz et al., 2004; Kurama et al., 2007; Çelik, 2015). However, these studies were related to the utilization of tincal and colemanite concentrator wastes of different chemical compositions. There were two previous works using additions of ulexite containing material (38.01 wt. % ulexite content) (Bayca, 2009) and ulexite concentrator waste (UCW) (17.23 wt. % ulexite content) (Koseoglu, 2017) in floor tile bodies. However, floor tile body compositions and process conditions are different from those of WT. Nevertheless, they reported encouraging results such as accelerated vitrification and improved liquid phase development leading to better properties. However, to the best of our knowledge, there was no study on the effect of UCW on the physico-mechanical properties and sintering behaviour of WT bodies.

The present study was therefore carried out to investigate the effect of various UCW additions on the physico-mechanical properties and the sintering behaviour of a standard (reference) WT body/bodies (SWTB) prepared commercially in a ceramic factory at various lower experimental temperatures than that of industrial practice. Experimental WT body/bodies (EWTB) were tested for linear firing shrinkage (LFS), water absorption (WA) and fired bending strength (eğilme mukavemeti-FBS) which were compared with those of the standard floor tile body (SWTB). XRD analyses were conducted for qualitative determination of major crystalline phases in SWTB and EWTB. SEM-EDX analyses were conducted to observe the microstructural evolution of both SWTB and EWTB. Correlation between the physico-mechanical properties and the phase and microstructural evolution of the fired EWTB was taken into consideration. The colorimetric analyses were also carried out to observe the change in colour of EWTB.

Waste recycling is a crucial issue of today's mining industry. Therefore, utilization of these wastes would help to ease the strain on environmental issues related to boron mining and would help to cut down expensive energy costs. In addition, this attempt would also be a favourable alternative from economical viewpoint due to the

valuable B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of these wastes. Finally, a new product with potentially better properties would be an additional benefit.

**2. Materials and Methods**

**2.1. Raw Materials**

The body and the chemical composition of the SWTB prepared at Ege Seramik Factory (Polat Holding A.Ş., İzmir, Turkey) are seen in Table 1. The chemical analysis of UCW sample collected from the inflow to the tailings dam at Bigadiç Boron Company (Etibor Companies, Bandırma, Turkey) is seen in Table 2.

**2.2. Preparation of EWTB**

Five different compositions of EWTB were prepared (Table 3) and were coded as EWTB1,

EWTB3, EWTB5, EWTB7, and EWTB10 containing 1, 3, 5, 7 and 10 wt. % UCW, respectively. The sieve analysis of the SWTB indicated that 96.88% of the material was under 63 µm which is similar to those used industrially (Table 4).

A polypropylene ball mill (Maccihine Macine Schmalta) with alumina milling media was used to dry ground the as-received UCW sample to -63 µm for 3 hours. Various amounts of UCW were added to the SWTB and mixed to prepare the EWTB compositions (Table 3). The same polypropylene ball mill was employed to simultaneously mix and ground the materials for 5 minutes. A Sartorius BP 41005 digital scale was employed to weigh SWTB and EWTB to be 70 g each.

**Table 1.** Batch formula and chemical composition of SWTB.

	%	LOI	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Calcite	6.5	43.54	0.58	0.15	0.19		55.00	0.47	0.08			
Kaolinite	6	7.01	68.96	20.47	1.54	0.26	0.26	0.15	0.84	0.26	0.26	
Silica	5	2.09	90.15	5.43	0.75	1.07	0.12	0.07		0.14	0.15	0.03
	A	6.76	59.84	17.46	6.73	0.80	2.61	1.80		0.67	3.12	0.11
	B	10.39	52.99	27.92	3.22	1.07	0.83	1.25	0.15	0.34	1.74	0.05
	51	C	5.35	66.28	19.66	2.43	1.08	0.16	0.84		0.54	3.66
Clay		D	7.36	61.48	23.18	2.65	1.23	0.15	0.67	0.34	2.95	
Pumice	9.5	4.28	72.40	12.54	1.6		0.54	0.11		2.59	6.4	
Sand	22	2.87	76.02	13.70	1.02	0.47	0.36	0.52		1.48	3.56	

**Table 2.** Chemical analysis of UCW (on dry basis, not including moisture and LOD).

Oxide	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI
(%)	17.23	10.98	0.80	0.15	0.96	10.70	12.20	6.67	0.30	39.37

**Table 3.** Batch formulas of SWTB and EWTB containing different UCW additions.

WT formula	SWTB	EWTB1	EWTB3	EWTB5	EWTB7	EWTB10
Calcite (%)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Kaolinite (%)	6	6	6	6	6	6
Silica (%)	5	5	5	5	5	5
Clay (%)	51	50	48	46	44	41
Pumice (%)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Sand (%)	22	22	22	22	22	22
UCW (%)	0	1	3	5	7	10

**Table 4.** Sieve analysis of SWTB.

Screen size ( $\mu\text{m}$ )	Weight (%)	Cumulative under size (%)	Cumulative over size (%)
+125	0.07	100.00	0.07
-125 +100	0.27	99.93	0.34
-100 +63	2.78	99.66	3.12
-63 +45	5.23	96.88	8.35
-45 +32	9.29	91.65	17.64
-32	82.36	82.36	100.00
Total	100		

### 2.3. Processing and Characterization of EWTB

The mixtures were dried in a laboratory drying oven (NÜVE KD 400) at 110 °C for 1 hour and were moisturized with 6 wt. % water for shaping. They were then placed in a 5cm×10cm×0.5cm steel die and uniaxially pressed with a hydraulic press (SACMI 470, PIL type) under 27 MPa pressure. The pressed green tiles were firstly dried at 110 °C for 1 hour and were fired in a laboratory electrical muffle furnace (Nabertherm G100/9) at 925, 975, and 1025 °C for dwelling times of 6 and 30 min under conditions simulating industrial practice. It must be noted that the industrial firing temperature and dwelling time at Ege Seramik Factory was 1182 °C and 6 minutes, respectively. The EWTB were then allowed to cool down to the room temperature in the furnace.

### 2.4. Characterization of EWTB

LFS, WA and FBS values of sintered WT were determined through physical and mechanical tests carried out at the quality-control department of Ege Seramik Factory in accordance with TS EN ISO 10545-2, TS EN ISO 10545-3 and TS EN ISO 10545-4. The FBS tests were performed in a Gabrielli Crometro CR4-A4-B4 hydraulic press. Three EWTB were prepared and fired for each test condition (Table 4) and the average values of LFS, WA and FBS were calculated in order to provide better representation of the results. LFS, WA and FBS values obtained were compared with those of the SWTB.

Major crystalline phases present in the SWTB and the selected EWTB were qualitatively determined by X-Ray diffraction (XRD) on powder samples using a Rigaku Miniflex II X-Ray powder diffractometer with Ni-filtered Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.54 \text{ \AA}$ ) radiation in the 5–80° 2 $\theta$  range at 30kV and 15mA. A JEOL JSM 6060 scanning electron microscope

(SEM) attached with a JEOL Energy dispersive X-ray (EDX) spectrometer was used for microstructural observations. Polished cross-sections were produced by mounting sample fragments in low viscosity epoxy resin and polishing to a 1  $\mu\text{m}$  finish. Samples were coated with a thin layer of Pt prior to SEM imaging. The colorimetric analyses of WT were carried out at Ege Seramik Inc. using an Erichsen Spectromaster 565-D according to EN ISO 10545-16.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Physico-mechanical Properties

The results of the experimental tests carried out to determine the physico-mechanical properties of WT, namely LFS, WA, FBS, and colouring parameters are presented in Table 5. As can be seen, the LFS values increased with an increase in the UCW content at all compositions, sintering temperatures, and dwelling times, which was in agreement with the previous studies using wastes of other boron bearing minerals (Karasu et al., 2002a,b,c, 2004; Ediz et al., 2004; Kurama et al., 2006; Kurama et al., 2007; Bayca, 2009). Increase in LFS values with increasing UCW ratio can be ascribed to enhancement in vitrification due to the generation of glassy phase, which filled the pores already present in the WT body structure. It was seen that UCW assisted glassy phase to form easier at all sintering temperatures because of its B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content (Table 2) which all built up a powerful fluxing action as a low temperature auxiliary flux (Kurama et al., 2006). Therefore, the LFS values increased while the porosity decreased. In most cases, the LFS values of EWTB with 30 minutes holding time were higher than those with 5 minutes holding time. Longer dwelling time promoted sintering and caused higher amount of glassy phase formation that filled the pores. The LFS values

also increased with increasing sintering temperatures. Increased temperature led to higher levels of glassy phase formation again causing a decrease in the pore numbers.

As the degree of sintering progressed, the amount of molten phase increased and correspondingly some of the pores, already built up in inter-particle voids during sintering, disappeared completely while the rest were surrounded by the molten glassy phase of lower viscosity forming closed pores in the structure. Thus, slowly collapsing open pores in initial structure led to partial shrinkage (Coble, 1961; Coble and Burke, 1963; Thümmeler and Thomma, 1967; Carter and Norton, 2013). Therefore, increasing UCW content, longer dwelling time and higher sintering temperature enhanced the degree of sintering with an increase in the LFS values.

As expected, the WA values decreased with increasing UCW content and LFS values for all sintering temperatures, compositions, and dwelling times (Table 5). The fluxing effect of UCW promoted vitrification and thereby formation of glassy phase, which filled the initial pores in the body structure (Coble, 1961; Coble and Burke, 1963; Thümmeler and Thomma, 1967; Carter and Norton, 2013). The decrease in WA values at higher sintering temperatures and longer soaking times was again due to higher levels of glassy phase formation causing a decrease in the pore numbers as explained above.

The FBS values, in most cases, also increased with increasing amount of UCW, longer dwelling time, and higher sintering temperature (Table 5).

One of the criteria in choosing the best WT recipe was to use as high ratio of UCW as much as possible for maximum waste recycling. The second criterion was to employ lowest sintering temperature possible with shortest dwelling time for energy conservation. When these criteria and the conformity of physico-mechanical properties to the required standards (TS EN ISO 10545-2 2000; TS EN ISO 10545-3 2000; TS EN ISO 10545-4 2000) were taken into account, the optimal EWTB5 composition was found to be EWTB5 fired at 925 °C for 6 minutes. In this case, the LFS, WA, and FBS values were 0.60 %, 16.15 %, and 208.60 kg/cm<sup>2</sup>, respectively (Table 5). In the present study, when compared with the properties of SWTB, 5 wt. % UCW addition decreased the LFS value by 41%, and increased the WA and the FBS values by 2.4 % and 2.7 %, respectively. This result translated itself as an

improvement in the physical and mechanical properties of SWTB (Table 5). Besides, sintering temperature was significantly reduced from 1182 °C down to 925 °C, which will contribute to lower energy costs, considerably. 5 wt. % UCW addition improved the physical and mechanical properties of SWTB (Table 5).

### 3.2. Phase Analysis

As seen from Table 2, the UCW contains a high ratio of fluxing oxides such as alkali B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, earth alkali CaO, MgO, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> which play an important role in the vitrification behaviour of WT bodies and help liquid phase to form easily at lower temperatures during sintering (Coble, 1961; Coble and Burke, 1963; Thümmeler and Thomma, 1967; Singer and Singer, 1984; Glendenning and Lee, 1996; Carter and Norton, 2013). According to the XRD analysis (Figure 1), UCW composed of ulexite, colemanite, quartz, and dolomite. Figures 2 and 3 show the XRD spectra of SWTB and EWTB5 (optimal composition), respectively. As seen from Figure 3 main crystalline phases in UCW, upon firing of EWTB5, disappeared and transformed into new phases of mullite (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>), albite (Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub>) and hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). It was also noticed that no new phase formation took place with UCW additions to the SWTB (Figure 2). However, the peak intensity of these phases in SWTB was reduced (Figures 2 and 3). It is known that borates decrease the melting temperature of the glass and act as an important glass builder. Alkali and alkaline earth oxides in borates break up the bonds between silicon and oxygen in the glass structure. This effect reflects itself as a lower glass phase viscosity with increasing temperature (Glendenning and Lee, 1996; Baele, 1998). In the present investigation, UCW assisted the glassy phase to form more easily during sintering due to its fluxing capacity. Therefore, the proportion of glassy phase was higher in EWTB5. The phases of albite, mullite and hematite in the fired SWTB were partly dissolved in the low viscosity glass phase formed by high alkali fluxing type of oxides (Karasu et al., 2004; Kurama et al., 2006; Kurama et al., 2007; Ediz and Yurdakul, 2009) of UCW (Table 5). Therefore, the peak intensities of those crystalline phases were reduced in the XRD patterns of EWTB5 (Figures 2 and 3). The raw material of WT and UCW originally comprised quartz as an unreacted residue in SWTB and EWTB5 to a large extent. Quartz, mullite, albite and hematite were the main crystalline phases in the structure of sintered EWTB and EWTB5 (Figures 2 and 3).



**Table 5.** Physico-mechanical properties of SWTB and EWTB sintered at 925, 975, and 1025 °C.

Sample	Temperature and time	LFS (%)	FBS (kg/cm <sup>2</sup> )	WA (%)	L	a	b
SWTB	1182 °C (6 min.*)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	925 °C (6 min.)	-0.20	88.66	17.51	72.08	13.93	26.78
EWTB3	925 °C (6 min.)	-0.02	134.70	17.02	67.84	15.75	28.45
EWTB5	925 °C (6 min.)	0.60	208.60	16.15	62.15	17.91	27.89
EWTB7	925 °C (6 min.)	1.48	221.20	14.88	54.98	19.72	26.68
EWTB10	925 °C (6 min.)	3.18	254.00	48.34	48.34	18.12	22.22
SWTB	1182 °C (6 min.)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	925 °C (30 min.)	-0.10	98.28	18.14	69.86	14.94	27.34
EWTB3	925 °C (30 min.)	0.28	144.04	16.53	64.35	17.55	28.61
EWTB5	925 °C (30 min.)	1.10	181.06	14.52	57.57	19.63	27.77
EWTB7	925 °C (30 min.)	2.64	268.70	29526	50.80	19.68	24.62
EWTB10	925 °C (30 min.)	6.26	368.00	4.77	44.38	15.91	18.88
SWTB	1182 °C (6 min.)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	975 °C (6 min.)	0.04	97.89	17.87	70.81	13.62	26.22
EWTB3	975 °C (6 min.)	0.86	200.40	15.14	60.81	17.50	26.65
EWTB5	975 °C (6 min.)	2.10	236.20	12.46	53.21	18.22	24.10
EWTB7	975 °C (6 min.)	3.32	243.20	10.27	48.70	17.64	22.02
EWTB10	975 °C (6 min.)	3.78	258.10	7.72	46.77	17.06	20.63
SWTB	1182 °C (6 min.)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	975 °C (30 min.)	0.16	158.70	17.52	67.59	15.45	26.96
EWTB3	975 °C (30 min.)	1.04	225.70	13.81	58.78	18.95	26.97
EWTB5	975 °C (30 min.)	3.52	318.70	9.49	48.97	17.69	21.91
EWTB7	975 °C (30 min.)	6.72	388.50	3.94	42.43	14.88	17.43
EWTB10	975 °C (30 min.)	8.60	392.50	0.07	41.25	10.88	13.59
SWTB	1182 °C (6 min.)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	1025 °C (6 min.)	0.90	164.40	15.82	63.43	15.25	25.01
EWTB3	1025 °C (6 min.)	1.94	268.80	14.82	60.01	16.66	25.44
EWTB5	1025 °C (6 min.)	2.88	328.60	9.74	54.56	16.19	22.37
EWTB7	1025 °C (6 min.)	8.42	458.20	0.56	41.42	9.87	13.17
EWTB10	1025 °C (6 min.)	7.84	-	0.00	40.20	8.51	12.94
SWTB	1182 °C (6 min.)	1.01	203.18	15.78	72.11	9.89	19.47
EWTB1	1025 °C (30 min.)	1.36	162.00	15.39	62.03	12.96	21.37
EWTB3	1025 °C (30 min.)	2.70	244.00	10.93	56.44	13.37	20.63
EWTB5	1025 °C (30 min.)	4.58	274.00	7.00	50.04	12.10	17.40
EWTB7	1025 °C (30 min.)	6.92	341.00	2.95	40.91	10.55	14.54
EWTB10	1025 °C (30 min.)	6.54	338.00	0.28	38.90	8.82	12.80

\*min: minutes

### 3.3. Microstructural Analysis

Figures 4 a and b show SEM images of SWTB fired at 1182 °C and EWTB5 fired at 925 °C for 6 minutes, respectively. The dark grey areas are distinguished as the glassy matrix phase, whereas black areas indicate the pores. The comparison of Figures 4 a and b revealed that UCW acted as a low temperature auxiliary flux and decreased the

viscosity of the glassy phase. Enhanced vitrification caused the transformation of the larger pores (Figure 4a) mostly into the smaller closed pores in EWTB5 (Figure 4b). The structure of EWTB5 was denser due to improved vitrification (Figure 4b), which was also justified by higher FBS value of 208.60 kg/cm<sup>2</sup> than 203.18 kg/cm<sup>2</sup> of SWTB.

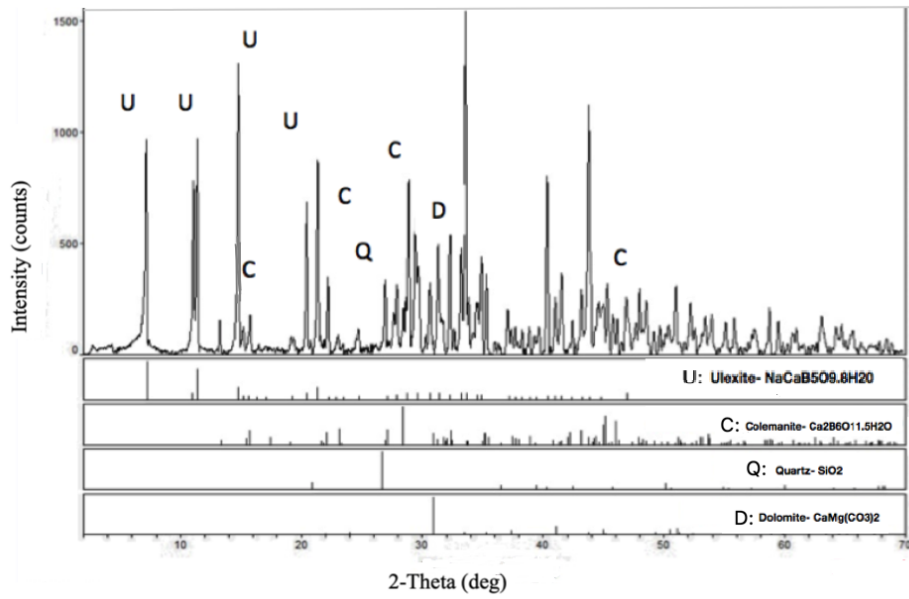


Figure 1. XRD spectra of UCW.

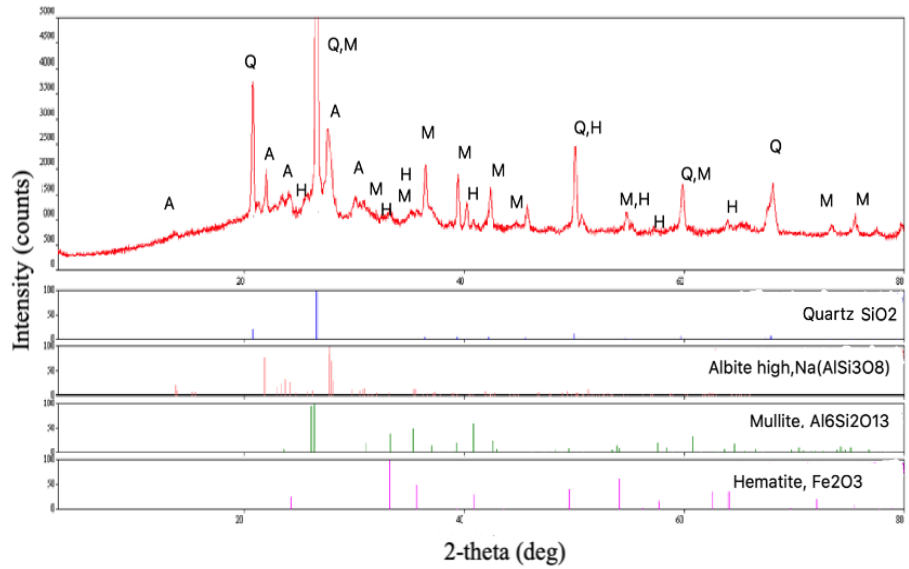


Figure 2. XRD spectra of SWTB.

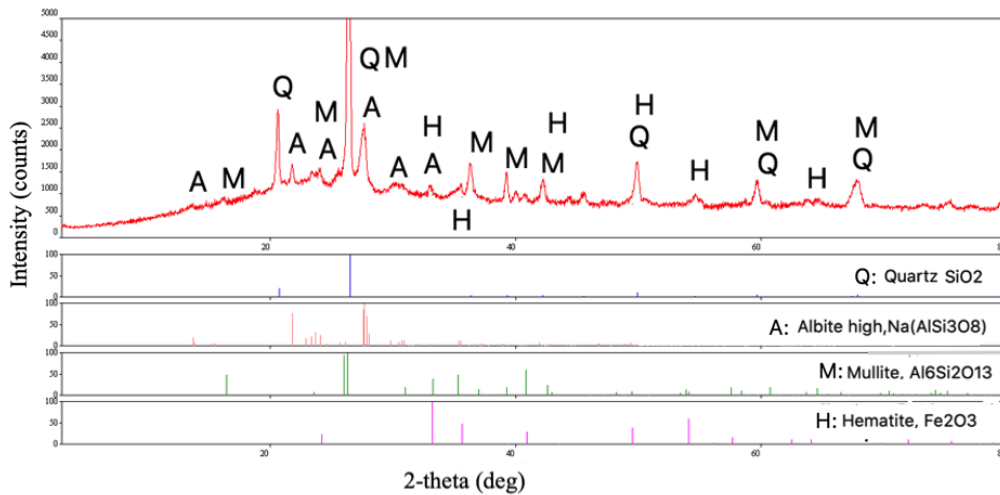
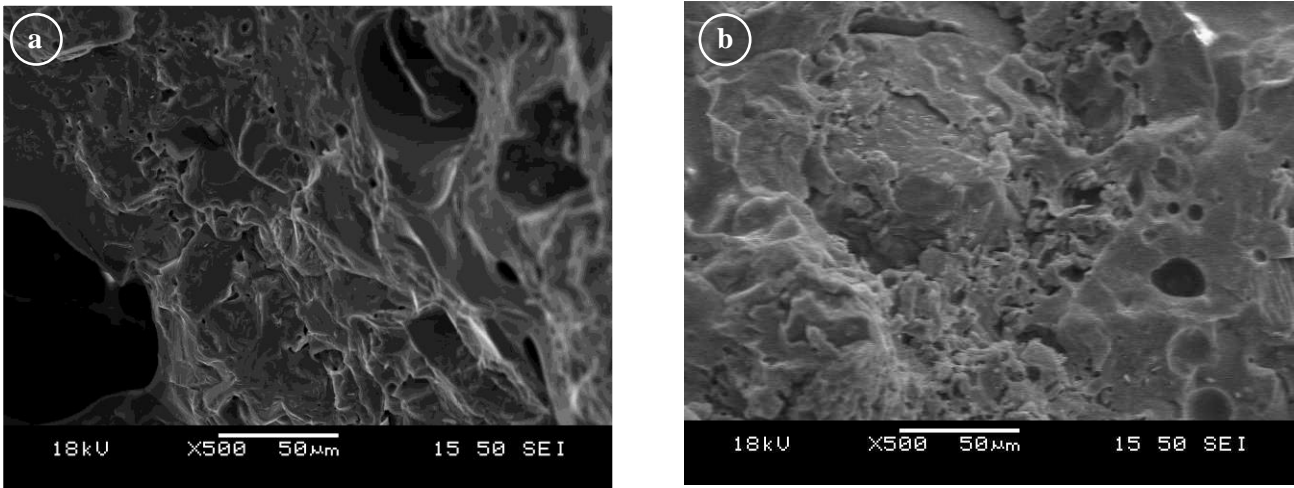


Figure 3. XRD spectra of EWTB5.



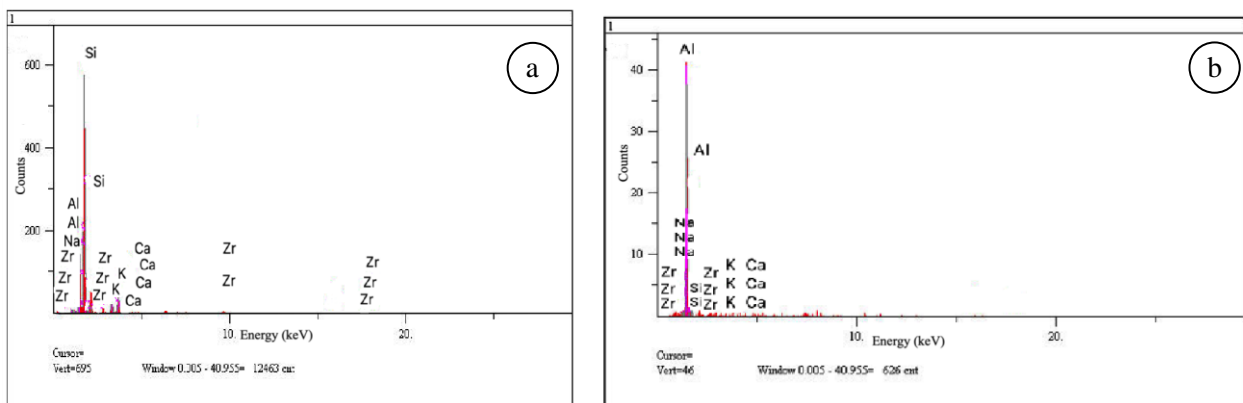
**Figure 4.** SEM images of SWTB and EWTB5 samples. (a) fired at 1182 °C. (b) fired at 925°C.

The area of EDX analyses of SWTB (Figure 5a) and of EWTB5 (Figure 5b) were taken and showed that both SWTB and EWTB5 contained Al, Si, Na, K, Ca, elements, which was in good agreement with the chemical analysis of the raw materials (Table 1), UCW, the XRD analyses of SWTB and EWTB5. The area EDX analyses indicated the presence of Zr which was due to contamination of the raw materials with glaze during production at the plant.

### 3.4. Colorimetric Analysis

The values of the chromatic coordinates (L, a, and b) of the SWTB and EWTB formulations were given in Table 5. Whiteness index was denoted as L, variations between green and red colours was

denoted as a, and variations between blue and yellow colours was denoted as b (Hunter and Harold, 1987; URL-2). The L (lightness or whiteness) values of EWTB decreased with an increase in UCW content. Higher UCW contents caused a decrease in whiteness (Figures 6, 7, and 8). This can be attributed to the improved vitrification or the gradual increase in the amount of glassy matrix with an increase in UCW content. a and b values generally showed an increase and then decrease for all compositions, dwelling times and sintering temperatures as UCW content increased. Increasing a values indicated a shift towards redness, which caused the colours of the EWTB to darken. Increasing b values indicated a shift towards yellowness, which caused the colours of the EWTB to lighten.



**Figure 5.** EDX analysis of SWTB and EWTB5 samples. (a) fired at 1182 °C. (b) fired at 925°C.

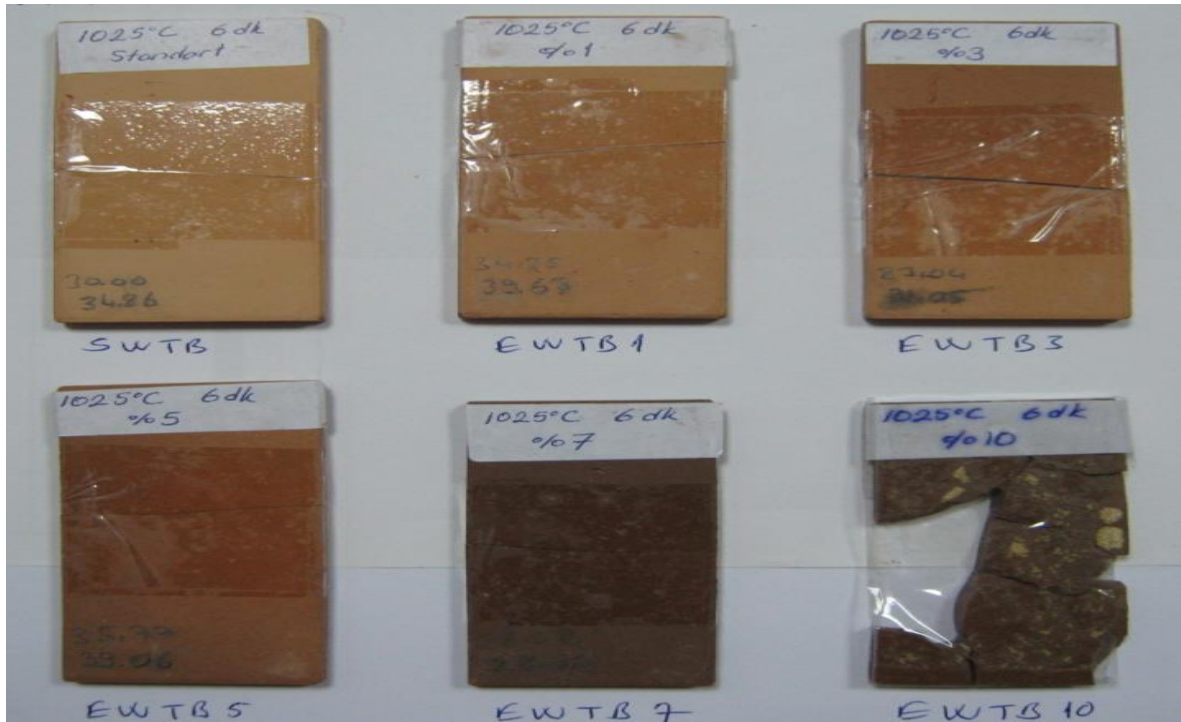
## 4. Conclusions

The aim of this laboratory research work was to utilize UCW, which causes environmental pollution and accumulates in large quantities in

the vicinity of boron concentrator plants, as an additive to a SWTB recipe. The physical and mechanical properties of EWTB, XRD and SEM analyses clearly revealed that the optimal EWTB composition was that of EWTB5 containing 5 wt.

% UCW fired at 925 °C with a dwell time of 6 minutes. LFS, WA, and FBS values of EWTB5 were respectively 0.60 %, 16.15 %, and 208.60 kg/cm<sup>2</sup> which were all in conformity with the related WT standards. Addition of 5% UCW to the SWTB improved the physical and mechanical properties. Thus, EWTB5 represented even better physico-mechanical properties than those of the SWTB produced at the factory under industrial

conditions. Furthermore, the sintering temperature was considerably reduced from 1182 °C down to 925 °C which corresponds to a 257°C reduction compared to the industrial firing temperature of 1182°. Using UCW in WT recipe will be beneficial from economic and environmental viewpoints. Furthermore, better physical and mechanical properties would be additional benefits.



**Figure 6.** Photographs of EWTB fired at 925 °C and subjected to FBS test.



**Figure 7.** Photographs of EWTB fired at 975 °C and subjected to FBS test.



**Figure 8.** Photographs of EWTB fired at 1025 °C and subjected to FBS test.

### Acknowledgements

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors would like to thankfully acknowledge Ege Seramik Inc., the manager of Ege Seramik factory and the authorized personnel of the chemical laboratory for their valuable help.

### References

- Alp, Y., 2005. Ceramic Tile, The Survey Report of the Foreign Trade Board of the Istanbul Chamber of Commerce, Istanbul, 24p.
- Baele, S. M., 1998. Borate is an Important Ingredient in Glass Fiber Manufacture. *Glass*, 75, 420-427.
- Bayça, S.U., 2009. Effects of the Addition of Ulexite to the Sintering Behaviour of a Ceramic Body, *Journal of Ceramic Processing Resolutions*, 10, 162-166.
- Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M.M., Kocadağistan E. and Yılmaz M.T., 2003. Recovery of Boron of the Sieve Reject in the Production of Borax, *Resources Conservation Recycling*, 37, 147-157.
- Carter, C.B. and Norton, M.G., 2013. *Ceramic Materials: Science and Engineering*: New York, Springer-Verlag, 766p.
- Coble, R.L., 1961. Sintering Crystalline Solids, *Journal of Applied Physics*, 32, 793-799.
- Coble, R.L. and Burke, J.E., 1963. Sintering in Ceramics, in: *Progress in Ceramic Science Volume 3*, J.E. Burke (ed.), Pergamon Press, London, pp. 197-251.
- Çelik, H., 2015. Recycling of Boron Waste to Develop Wall Tile in Turkey, *Transactions of Indian Ceramic Society*, 74, 108-116.
- Ediz N., Yurdakul, H. and Issi, A., 2004. Use of Tincal Waste as a Replacement for Calcite in Wall Tile Production, *Key Engineering Materials*, 264-268, 2457-2460.
- Ediz, N. and Yurdakul, A., 2009. Characterization of Porcelain Tile Bodies with Colemanite Waste Added as a New Sintering Agent, *Journal of Ceramic Processing Resolutions.*, 10, 414-422.
- Glendenning, M. D. and Lee, W. E., 1996. Microstructural Development on Crystallising Hot-pressed Pellets of Cordierite Melt-derived Glass Containing B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, *Journal of American Ceramic Society*, 79, 705-713.
- Hunter, R.S. and Harold, R.W, 1987. *The Measurement of Appearance*: New York, John Wiley and Sons, Inc., 432p.
- Karasu, B., Kaya, G. and Yurdakul, H., 2002. Effect of the Etibor Kırka Borax Company's Concentration and Derivation Wastes on the

- Properties of Wall Tile Body, Proceedings of 1<sup>st</sup> International Boron Symposium, Kütahya, p. 224.
- Karasu, B., Kaya, G., Yurdakul, H. and Topkaya, A., 2002. Use of Borax Solid Wastes in Wall Tile Bodies and its Effect on Microstructure, Boron Symposium, Balıkesir, Book of abstracts, p.18.
- Karasu, B., Kaya, G., Yurdakul, H. and Topkaya, A., 2002. The Efforts on Utilization of Borax Solid Wastes in wall Tile Bodies, 104<sup>th</sup> Annual Meeting & Exposition of the American Ceramic Society, St. Louis, Book of abstracts, p. 274.
- Karasu, B., Yurdakul, H. and Kaya, G., 2004. Use of Borax Solid Wastes in the Recipes of Wall Tile Bodies as a Fluxing Agent and Their Effects on the Microstructures, Journal of Turkish Ceramic Federation, 6, 135-145 (in Turkish).
- Karasu, B., 2007. Use of Borax Solid Wastes in Ceramics' World, Proceedings of the Xth Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, Berlin, p. 1773.
- Kavas, T., Christogerou, A., Pontikes, Y. and Angelopoulos, G.N., 2011. Valorisation of Different Types of Boron-Containing Wastes for the Production of Lightweight Aggregates, Journal of Hazardous Materials, 185, 1381–1389.
- Köseoğlu, K., 2017. Effect of Ulexite Concentrator Waste on the Physical and Mechanical Properties and Sintering Behaviour of Floor Tile Bodies, Clay Minerals, 52, 97–105.
- Kurama, S., Kara, A. and Kurama, A., 2006. The Effect of Boron Waste in Phase and Microstructural Development of a Terracotta Body During Firing, Journal of European Ceramic Society, 26, 755–760.
- Kurama, S., Kara, A. and Kurama, A. 2007. Investigation of Borax Waste Behaviour in Tile Production, Journal of European Ceramic Society, 27, 1715-1720.
- Levinkas, G. J., 1964. Boron, Metallo-Boron Compounds and Boranes, in: Toxicology of Boron Compounds, R. M. Adams (Ed.), Interscience Publishers, New York, pp. 700-765.
- Önal, G. and Burat, F., 2008. Boron Mining and Processing in Turkey, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 24, 49-60.
- Sezzi, G., 2004. World Production and Consumption of Ceramic Tiles, Ceramic World Review., 58, 54–71.
- Singer, F. and Singer, S.S., 1984. Industrial Ceramics: New York, Chapman and Hall Ltd, 1139p.
- Thümmler, F. and Thomma, W., 1967. The Sintering Process, International. Materials Reviews.,12, 69-108.
- TS EN ISO 10545-2 2000. Ceramic Tiles Part 2, Determination of Dimensions and Surface Quality.
- TS EN ISO 10545-3 2000. Ceramic Tile Part 2, Determination of Water Absorption, Apparent Porosity, Apparent Relative Density and Bulk Density.
- TS EN ISO 10545-4 2000. Ceramic Tile Part 4, Determination of Modulus of Rupture and Breaking Strength.
- URL-1, <http://en.etimaden.gov.tr/r12> February 2018).
- URL-2, [http://www.hunterlab.com/appnotes/an08\\_96a.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an08_96a.pdf).

**Bağrıbutün Kavununda Polimorfik Olan Bazı SSR Markörlerinin Belirlenmesi***Determination of Some Polymorphic SSR Markers in Bağrıbutün Melon***Murat GÜNEY\*<sup>1,a</sup>, Salih KAFKAS<sup>2,b</sup>, Gökçen YAKUPOĞLU<sup>1,c</sup>, Muhammet Ali GÜNDEŞLİ<sup>3,d</sup>**<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana<sup>3</sup>Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Kahramanmaraş

---

• Geliş tarihi / Received: 04.10.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 05.03.2020

---

**Öz**

Bitki genetik kaynaklarının elden çıkması çok kolay ancak geri kazanımları neredeyse imkânsız olmaktadır. Genetik materyallerin toplanması ve muhafaza altına alınması gelecekte yapılacak olan ıslah programları için büyük önem arz etmektedir. Moleküler markörler kullanılarak, genotiplerin seleksiyonu, çoğaltılması, karakterizasyonu ve muhafazası mümkündür. DNA markör sistemleri farklı ekolojilerdeki genetik materyallerin karakterize edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Yozgat'ın Aydıncık ilçesinde yetiştiriciliği yapılan eşsiz tat ve aromaya sahip Bağrıbutün kavununun SSR (Basit Dizi Tekrarları) moleküler markör tekniği ile DNA parmak izi çıkarılarak coğrafi işaretlemeye katkı sağlamaktır. 4 adet yerel Bağrıbutün kavunu genotipinin 24 adet polimorfik SSR primeri ile genetik karakterizasyonu ortaya konulmuştur. DNA parmak izinin çıkarılmasında kullanılan polimorfik SSR primerlerinden CMSSR12254, CMSSR10506, CMSSR07989 ve CMSSR08902 primerleri yüksek oranda polimorfizm göstermiştir. Bu SSR primerleri ile kavun genetik kaynaklarının genetik ilişkileri daha kısa sürede ve daha güvenilir sonuçlarla belirlenebilecektir.

**Anahtar kelimeler:** *Cucumis melo* L., DNA Parmak İzi, Kavun, SSR

**Abstract**

Plant genetic resources are easy to dispose of, but their recovery is almost impossible. The collection and preservation of genetic materials are of great importance for future breeding programs. The selection, amplification, characterization, and maintenance of genotypes are possible using molecular markers. DNA marker systems are used to characterize genetic materials of different ecologies. The aim of this study is to contribute to the geographic marking region-specific Bağrıbutün melon with unique taste and aroma which is cultivated intensively in Aydıncık district by extracting DNA fingerprints using SSR (Simple Sequence Repeats) molecular marker technique. Genetic characterization of 4 local melon genotypes was determined using 24 polymorphic SSR primers. Among all 4 primers (CMSSR12254, CMSSR10506, CMSSR07989, and CMSSR0890) showed high polymorphism and were used for DNA fingerprinting. Using these SSR primers, genetic relations of melon genetic resources can be determined in a shorter time and with more reliable results.

**Keywords:** *Cucumis melo* L., DNA Fingerprint, Melon, SSR

---

\*a Murat GÜNEY; murat.guney@yobu.edu.tr, Tel: (0354) 242 10 94, orcid.org/0000-0003-2882-8347

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-9037-4764

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-4921-0925

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-7068-8248

## 1. Giriş

Kavun (*Cucumis melo* L.); karpuz, hıyar, süs kabağı, su kabakları, bal kabağı gibi birçok ticari bitkinin içinde olduğu, Cucurbitaceae familyasının bir üyesidir. Farklı coğrafik orijinlerden tanımlanmış yabancı ve kültüre alınan birçok kavun tipi vardır (Pitrat vd., 2000). Ülkemiz coğrafi yapısı ve ekolojik koşulları nedeniyle kavun yetiştiriciliğinde önemli bir yere sahiptir. Pek çok bitkinin gen merkezidir ve gen kaynaklarına sahiptir (Günay, 1993). Bu açıdan ülkemizin sürdürülebilir tarımı için mevcut genetik kaynaklarımızın yok olmadan muhafaza altına alınması gerekmektedir (Özgen vd., 2000; İnal, 2002). Çiftçilerin süregelen yetiştiricilik dönemleri boyunca beğenileri doğrultusunda seleksiyonla ıslah ettikleri ve buldukları yöreye uyum sağlamış olan bir kültür bitkisine ait genotipler, yerel çeşit ya da köy çeşidi olarak adlandırılır (Tan, 2009). Yerel çeşitler; çoğunlukla kalite özellikleri yüksek, bölgeye adapte olmuş bireylerin seçilmesi ve birbirini izleyen nesillerde seleksiyona devam edilip, seçilen bireylerle yetiştiriciliğin sürdürülmesiyle ve doğal seleksiyonun etkisi ile ortaya çıkmıştır (Kaşka, 2019). Yerel çeşitlerin, yetiştirildikleri farklı ekolojilere adaptasyon yetenekleri yüksektir. Bu nedenle, ait oldukları türün evrim potansiyelinin baskı faktörlerine karşı korunması sağlanmalıdır (Kutlu, 2017). Yerel çeşitlerin değerlendirilmesi, doğrudan bu çeşitlerin yetiştiriciliğinin ve tüketiminin teşvik edilmesi ya da dolaylı olarak bu çeşitlerin yeni çeşitler geliştirmek üzere yürütülen ıslah çalışmalarında kullanılması yoluyla gerçekleştirilebilir (Özçağırın, 2004). Yerel çeşitler içerdikleri zengin genetik çeşitlilik ile son yıllarda hızla ilerleyen biyoteknolojik imkânlar kullanılarak üstün nitelikli çeşitlerin geliştirilmesi için gerekli ham madde niteliğindedir (Eser vd., 2005). Ticari çeşitlerin yaygın kullanımı yerel çeşitlerin daha az tercih edilmelerine ve zamanla yok olmalarına neden olmaktadır. Yerel çeşitlere gereken önemin verilmesi ve en azından kayıt altına alınmaları gerekmektedir. Bu tür çalışmalar yapılmadığında üreticilerin üretimden vazgeçmeleri halinde genetik kaynaklar zamanla yok olacaktır (Kaşka, 2019). Bu sebeple genetik kaynakların tanımlanması, DNA parmak izlerinin çıkartılması ve muhafaza altına alınmaları ıslah çalışmaları için önem arz etmektedir (Çalışkan, 2005; Gülşen ve Mutlu, 2005; Şensoy vd., 2007). Moleküler markörler bitki sistematğinde, bitki ıslahında ve genetik kaynaklarının değerlendirilmesinde etkin olarak kullanılmaktadır (Kafkas vd., 2008). RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA–Rastgele

Çoğaltılmış Polimorfik DNA), ISSR (Inter Simple Sequence Repeat–Basit Tekrarlı Diziler Arası Polimorfizm), SSR (Simple Sequence Repeat–Basit Dizi Tekrarları), SNP (Single Nucleotide Polymorphism–Tek Nükleotid Polimorfizmi) gibi DNA esaslı markörler bitki çeşitlerinin tanımlanması, karakterizasyonu, genetik haritalama, marköre dayalı seleksiyon gibi çalışmalarda kullanılmışlardır (Yüksel vd., 2013; Ahsyee vd., 2014; Kafkas vd., 2015; Kalkışım vd., 2016; Çalışkan vd., 2017; Dervishi vd., 2018; Garcia-Gomez vd., 2019). Moleküler markörler içerisinde tekrarlanabilir olması, otomasyona uygun olması, genomda çok sıklıkla bulunması ve kodominant özelliği nedeniyle SSR tekniği önde gelen bir tekniktir (Zaloğlu vd., 2015; Güney vd., 2018, 2019).

Türkiye'nin bazı bölgelerinde yetişen ve çok fazla tanınmayan Yozgat iline bağlı Aydıncık ilçesinde yetiştiriciliği yapılan yerel Bağrıbüütün kavunu da sahip olduğu eşsiz tat ve aroması ile piyasada söz sahibi olabilecek önemli bir genetik kaynaktır. Bu çalışmada, Yozgat Aydıncık Belediyesi tarafından coğrafi işaretlemesi yapılacak olan Aydıncık Bağrıbüütün kavununun SSR tekniği ile DNA parmak izinin çıkarılması gerçekleştirilmiştir.

## 2. Yöntem

### 2.1. Materyal

Yozgat ili Aydıncık Belediyesi tarafından tahsis edilen uygulama bahçesinde araştırmada kullanılacak Bağrıbüütün kavunu tohumlarının ekimi yapılmıştır (Şekil 1). Deneme parselinde yetiştirilen Bağrıbüütün kavunu bitkilerinden alınan yaprak örnekleri moleküler analizlerde kullanılmıştır.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. DNA İzolasyonu

Doyle ve Doyle (1987)'nin geliştirdiği ve Kafkas vd., (2006) tarafından modifiye edilen CTAB yöntemi kullanılarak DNA izolasyonu yapılmıştır. Bağrıbüütün kavununa ait DNA'lar -80°C'de, 300 µl TE (10 mM Tris, 0.1 mM EDTA, pH 7.4) içerisinde muhafaza edilmiştir.

#### 2.2.2. DNA Konsantrasyonunun Belirlenmesi

DNA miktarları Qubit Fluorometre (Invitrogen) cihazı ve kiti kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra ise DNA'lar SSR analizleri için 10 ng/µl konsantrasyonuna ayarlanmıştır.





**Şekil 1.** Araştırmanın yürütüldüğü parselden bir görünüm (TC Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Parsel Sorgulama uygulaması görüntüsü).

### 2.2.3. SSR Primer Çiftlerinin Bağrıbtütün Kavununda Allel Büyüklüklerinin Belirlenmesi

SSR analizlerinde Ritschel vd., (2004), Gonzalo vd., (2005) ve Zhu vd., (2016) tarafından geliştirilen 24 adet SSR primer çifti öncelikle polimorfizm bakımından taranmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1.** SSR primer çiftleri ve sekansları

No.	SSR Loci	Primer Sekans (5'-3')
1	CMSSR07989F	TGCGTGTCAAAATACGATGT
	CMSSR07989R	TAATTGGGTGAGGTGCCTTC
2	CMSSR08902F	TTAATCTTGCAGGTGAAAGG
	CMSSR08902R	TTAGGGAAGGCAATCAATCG
3	CMSSR16305F	TTTCTGTGGTGGGTGTTG
	CMSSR16305R	ACCATCCATTCCAATTCCA
4	CMSSR09938F	GAAGGGGTTGAGGATAACGA
	CMSSR09938R	TAATGGGTGGGAGGCAATAA
5	CMSSR06492F	TGCGTTGTTCTAAATCAGACA
	CMSSR06492R	TCTCTTATCCAACCTCAAGCCA
6	CMSSR24136F	CGTGGGTACTGACCAAAAA
	CMSSR24136R	GGACATTCTACCCTAGCCA
7	CMSSR04895F	GCGCAAATCAAGGGATTTTA
	CMSSR04895R	ATGATTGGAAGCCACCAAAG
8	CMSSR10506F	GGTGAGGAATCCGATGAAGA
	CMSSR10506R	TGAAGAACAAAGAGGGCTTGA
9	CMSSR12254F	ATGATTCCCGTAAGAATGCG
	CMSSR12254R	ATTGAAGAGCGACCTGAAGC
10	CMSSR09316F	CCACGTGGTAGGAATTAATGTG
	CMSSR09316R	CGTGAACCTTACTACGTAACGGC
11	CMSSR06905F	TCCATAAACATTTCCCGTT
	CMSSR06905R	GTGCAAATGCAAGATCGAAG

**Tablo 1.** devamı

12	CMSSR24606F	TGTGTGGTATTGAGGGCAAA
	CMSSR24606R	ATGAGTGGCATTGGAGACAA
13	CMSSR04535F	AGGGGTTGGATTATTTGGG
	CMSSR04535R	TCTTTAAACCCACGCAAAAC
14	CMSSR03646F	ACCCGAAAAGAAGTGGGAGT
	CMSSR03646R	AATGGACCCTTCTCTCTCC
15	CMSSR27560F	AAACCGAAAACCAAGATGGA
	CMSSR27560R	AATGGGGGTTTGTGTGAAAA
16	CMSSR23360F	ATGTCAATGCCTTGTGAAGC
	CMSSR23360R	GAACAATGCAAGAAAATGGGA
17	CMSSR26616F	AGAGTCTCATTCTCTCGACG
	CMSSR26616R	TGTGTATGGAGGGCTTTTCC
18	CMSSR18058F	TACTCAATTCCCATCCCTC
	CMSSR18058R	TTTCCCAGCTTTTGTGGTTT
19	CMSSR05736F	CCTTCATCATTTCCAAGGGA
	CMSSR05736R	GCCCTCCCAAAAATTCAGT
20	CMSSR11104F	CAAAACTCCGATCAACACCA
	CMSSR11104R	GTGGCAGAGTTCCGTTTTGT
21	CMBR107F	TATGAAGCGCGCATAAACAG
	CMBR107R	GAATGTGAAATCTCTTCTCCC
22	CMBR40F	CGACAATCACGGGAGAGTTT
	CMBR40R	TTGTTGCATCAAATAACACAATC
23	CMCTN35F	CCAATAATGTAATCGTCTGG
	CMCTN35R	GTTCCAAACCTTCTACCAATCA
24	CMCTN65F	TTAGGTGTATTTGATCTC
	CMCTN65R	AATTTTATGGCTCAAGGTTT

SSR primerlerinin DNA'ya bağlanma sıcaklıkları -58°C'de, SSR-PCR döngü koşulları ise araştırmacıların kullandığı koşullarına göre yapılmıştır. Polimorfik olan 24 adet SSR primer çifti de Bağrıbtütün kavun DNA'larının parmak izi analizinde kullanılmıştır.

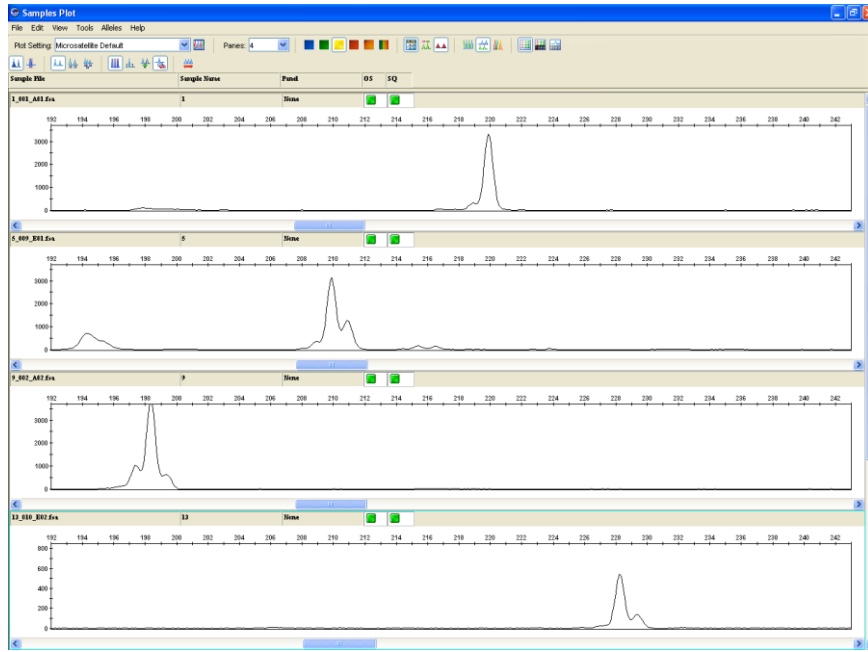
Bağrıbtütün kavun örnekleri için SSR-PCR işlemi tamamlandıktan sonra, PCR ürünlerinin elektroforezi ABI 3130xl otomatik baz dizileme ünitesinde yapılmıştır. SSR analizleri sonucu elde edilen bantların büyüklükleri birbirlerine çok yakın olduğu için %1.5'lik agaroz jelde ayırmak mümkün olmadığından, elektroforez işlemi ABI 3130xl kapiler elektroforez ile gerçekleştirilmiştir. SSR analizlerinin ABI 3130xl'de kapiler elektroforez yapılabilmesi için primerlerin 5' uçlarına M13 üniversal (5'-TGAAAACGACGGCCAGT-3') baz dizisi eklenerek Schuelke (2000) ve SSR analizlerinde M13 primerinin 5' ucu 4 farklı (Applied Biosystems tarafından tescilli 6-FAM, VIC, NED, PET) boya ile etiketlenerek kullanılmıştır.

Analizler sonunda oluşan elektroferogram görüntüleri Genmap 4.0 (Applied Biosystems Inc.) paket programı kullanılarak Bağrıbutün kavununa ait DNA bantları pikler halinde değerlendirilerek primerlerin allelleri ve allel büyüklükleri belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yozgat'ın Aydıncık ilçesinde yetişen, kendine özgü hoş kokusu ve aroması olan coğrafi işaretlemesi yapılacak olan yerel Bağrıbutün

kavununun DNA parmak izi bu çalışma ile ortaya çıkarılmıştır. Araştırmada deneme parselinden seçilmiş 4 adet genotipin 24 adet polimorfik SSR primeri ile genetik karakterizasyonu yapılmıştır. Bağrıbutün kavununun DNA parmak izinin çıkarılmasında kullanılan CMSSR12254, CMSSR10506, CMSSR07989 ve CMSSR08902 primerleri yüksek oranda polimorfik olduğu için bu markörler Bağrıbutün kavununun genetik karakterizasyonunda etkili bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Bağrıbutün kavununa ait elektroferogram görüntüsü

Moleküler markör teknikleri (ISSR, AFLP, SSR, vb.) kavun bitkisinde genetik ilişkilerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Ulusal Gen Bankasında yer alan toplamda 350 civarındaki kavun genotiplerinin farklı morfolojik özellik ve genetik karakterizasyon (SSR ve AFLP) analizlerinde elde edilen dendrogram sonuçları benzerlik göstermiştir (Frary vd., 2009). İtalya'nın güneyindeki farklı coğrafi orijinli 13 inodorus kavunu 100 ISSR markörü ile genetik ilişkileri belirlenmiştir. Kavunlardaki genetik akrabalık analizleri ile morfolojik gözlem ve ölçümlerin arasında iyi bir korelasyon olduğunu saptamışlardır (Sestili vd., 2011). Hindistan'ın güneyinde 3 tarım bölgesinden toplanan 50 yerel çeşidin morfolojik özellikleri ve 17 SSR markörleri ile varyasyonunu değerlendirdiği diğer bir çalışmada ise genetik kaynaklar arasındaki çeşitlilik SSR analizleri ile ortaya çıkarmışlardır (Fergany vd., 2011). Türkiye'nin

farklı bölgelerinde yetiştiriciliği yapılan yerel ve yabancı 81 kavun genotipinin SSR markörleri ile aralarındaki akrabalık düzeyleri belirlemişlerdir. Soyağacında genotipler arasında genetik ilişkinin yüksek olduğunu saptamışlardır (Kaçar vd., 2012). Çin'de yapılan bir çalışmada ise, Xingjiang yerel kavun çeşitleri ile yabancı kavunlar arasında genetik bağlantıların düşük olduğu SSR markörleri ile saptamıştır (Ning vd., 2014). Sonuç olarak, literatürde yer alan çalışmalarda ve bu çalışmada, SSR markörleri ile yerel ve yabancı kavun genetik kaynakların varyasyonu, karakterizasyonu ve akrabalık düzeyinin belirlenmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 4. Sonuçlar

Bu araştırma da 24 adet polimorfik SSR primerinden 4 adedi ile Bağrıbutün kavununun DNA parmak izleri çıkarılmıştır. Bu SSR primerleri ile

kavun genetik kaynaklarının genetik ilişkileri daha kısa sürede ve daha güvenilir sonuçlarla belirlenebilecektir. Biyolojik çeşitliliğin korunması ve biyolojik kaynakların sürdürülebilir bir biçimde kullanılması çabalarına katkıda bulunması açısından bu proje önem taşımaktadır. Bu proje ile Yozgat ekolojisinde yetişen, kendisine has aroması ve tadı olan, moleküler olarak tanımlanan, yerel Bağrıbtütün kavunu genetik kaynak olarak da muhafaza altına alınmıştır. DNA parmak izlerinin belirlenmiş olması, genetik kaynağın yok olmasını önlenmenin yanı sıra ıslah çalışmalarına da yeni bir ışık tutacaktır. Islah çalışmalarında ıslahçıların elinde ne kadar çok çeşitlilik bulunursa, yeni ve üstün özelliklere sahip çeşitlerin elde edilme başarısını o kadar artıracaktır.

### Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 6604-ZF/18-183) ve Yozgat ili Aydıncık Belediyesi'ne teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Ahsyee, R.S., Calic, I., Zoric, M., Karagic, D., ve Surlan-Momirovic, G., 2014. Enetic Diversity in Red Clover (*Trifolium pratense* L.) using SSR Markers. *Genetika*, 46(3), 949–961.
- Çalışkan, M., 2005. Rapd Analizi ile Güllerde (*Rosa spp.*) Genetik Tanımlama. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara (in Turkish).
- Çalışkan, O., Bayazit, S., Oktem, M., ve Ergul, A., 2017. Evaluation of the Genetic Diversity of Pomegranate Accessions from Turkey using New Microsatellite Markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(2), 142–153.
- Dervishi, A., Jakse, J., Ismaili, H., Javornik, B., ve Stajner, N., 2018. Comparative Assessment of Genetic Diversity in Albanian Olive (*Olea europaea* L.) using SSRs from Anonymous and Transcribed Genomic Regions. *Tree Genetics & Genomes*, 14(4), 53.
- Doyle, J.J. ve Doyle, J.L., 1987. A Rapid Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11–15.
- Eser, B., Saygılı, H., Göçgol, A., ve İlker E., 2005. Tohum Bilimi ve Teknolojisi. Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi İzmir, cilt 1 Yayın no:3 (in Turkish).
- Fergany, M., Kaur, B., Monforte, A. J., Pitrat, M., Rys, C., Lecoq, H., Dhillon, N.P.S. ve Dhaliwal,

S.S., 2011. Variation in Melon (*Cucumis melo* L.) Landraces Adapted to the Humid Tropics of Southern India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(2), 225–243.

- Frary, A., Doğanlar, S., Taşkın, T., Tan, A., İnal, A. ve Mutlu, S., 2009. Ulusal Kavun (*Cucumis melo* L.) Koleksiyonlardaki Genetik Çeşitliliğin Belirlenmesi. TUBİTAK, Proje No: 106O170, İzmir, 1–58 (in Turkish).
- Garcia-Gomez, B., Gonzalez-Alvarez, H., Martinez-Mora, C., Ceniz, L. J., Perez-Hernandez, C. D. M., Martinez-Zubiaur, Y., ve Martinez-Gomez, P., 2019. The Molecular Characterization of an Extended Mulberry Germplasm by SSR Markers. *Genetika*, 51(2), 389–403.
- Gonzalo, M. J., Oliver, M., Garcia-Mas, J., Monfort, A., Dolcet-Sanjuan, R., Katzir, N., ... ve Monforte, A. J., 2005. Simple-Sequence Repeat Markers used in Merging Linkage Maps of Melon (*Cucumis melo* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 110(5), 802–811.
- Gülşen, M. ve Mutlu, N., 2005. Bitki Biliminde Kullanılan Genetik Markırlar ve Kullanım Alanları. *Alatarım*, 4(2): 27-37 (in Turkish).
- Günay, A. 1993. Özel Sebze Yetiştiriciliği. Cilt 5. A.Ü. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Ankara 1993, (in Turkish).
- Güney, M., Kafkas, S., Keles, H., Aras, S., ve Ercişli, S., 2018. Characterization of Hawthorn (*Crataegus spp.*) Genotypes by SSR Markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(6), 1221–1230.
- Güney, M., Kafkas, S., Koç, A., Aras, S., Keles, H. ve Karcı, H., 2019. Characterization of Quince (*Cydonia oblonga* Mill.) Accessions by Simple Sequence Repeat Markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43, 69–79.
- İnal, A., 2002. Yerel Çeşitlerin Önemi ve Korunması. Broşür ETAET, No: 3 İzmir (in Turkish).
- Kaçar, Y.A., Simsek, O., Solmaz, I., Sarı, N. ve Mendi, Y.Y., 2012. Genetic Diversity Among Melon Accessions (*Cucumis melo* L.) from Turkey based on SSR Markers. *Genetics and Molecular Research*, 11(4), 4622–4631.
- Kafkas, S., Khodaeiaminjan, M., Gueney, M., ve Yasa Kafkas N.E., 2015. Identification of Sex-Linked SNP Markers using RAD Sequencing suggests ZW/ZZ Sex Determination in *Pistacia vera* L. *BMC Genomics*, 16, 98.
- Kafkas, S., Özgen, M., Doğan, Y., Özcan, B., Ercişli, S., ve Serçe, S., 2008. Molecular Characterization of Mulberry Accessions in Turkey by AFLP Markers. *Journal of the*

- American Society for Horticultural Science, 133, 593–597.
- Kafkas, S., Özkan, H., Ak, B.E. Açar, I., Atlı, H.S. ve Koyuncu, S., 2006. Detecting DNA Polymorphism and Genetic Diversity in a Wide Pistachio Germplasm: Comparison of AFLP, ISSR and RAPD Markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(4), 522–529.
- Kalkışım, O., Okcu, M., Okcu, Z., Karabulut, B., Yıldırım, N., ve Agar, G., 2016. Relationships among Some Pears Genotypes (*Pyrus communis* L.) based on ISSR and RAPD Analysis. *Erwerbs-Obstbau*, 58(4), 259–264.
- Kaşka, N., 2019. Meyveciliğin Gelişmesi Konusunda Çukurova'ya ve Türkiye'ye Yapılan Hizmetler. Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü (in Turkish).
- Kutlu, H., 2017. Konya İlinde Yerel Tohumların Kullanılması ve Sürdürülebilirliğine Etki Eden Faktörlerin Analizi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya 96s.
- Ning, X. F., Xiong, L. M., Wang, X. L., Gao, X. W., Zhang, Z. G., Zhong, L. ve Li, G., 2014. Genetic Diversity among Chinese Hami Melon and Its Relationship with Melon Germplasm of Diverse Origins revealed by Microsatellite Markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 57, 432–438.
- Özçağırın, R., Ünal, A., Özeker, E. ve İsfendiyaroğlu, M., 2004. Ilıman İklim Meyve Türleri. Yumuşak Çekirdekli Meyveler. Cilt: II. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 556, Bornova, İzmir (in Turkish).
- Özgen, M., Adak, S., Söylemezoğlu, G., Ulukan, H., 2000. Bitki Genetik Kaynaklarının Korunma ve Kullanımında Yeni Yaklaşımlar. Türkiye Ziraat Mühendisliği 5. Teknik Kongresi, Ankara, s. 259–284 (in Turkish).
- Pitrat, M., Halnelt, P., ve Hammer, K., 2000. Some Comments on Intraspecific Classification of Cultivars of Melon. *Acta Horticulturae*, 510: 29–36.
- Ritschel, P.S., de Lima Lins, T.C., Tristan, R.L., Buso, G.S.C., Buso, J.A. ve Ferreira, M.E., 2004. Development of Microsatellite Markers from an Enriched Genomic Library for Genetic Analysis of Melon (*Cucumis melo* L.). *BMC Plant Biology*, 4(1), 9.
- Schuelke, M., 2000. An Economic Method for the Fluorescent Labeling of PCR Fragments. *Nature Biotechnology*, 18(2), 233.
- Sestili, S., Giardini, A. ve Ficcadenti, N., 2011. Genetic Diversity among Italian Melon Inodorus (*Cucumis melo* L.) Germplasm revealed by ISSR Analysis and Agronomic Traits. *Plant Genetic Resources*, 9(02), 214–217.
- Şensoy, S., Büyükalaca, S. ve Abak, K. 2007. Evaluation of Genetic Diversity in Turkish Melons (*Cucumis melo* L.) based on Phenotypic Characters and RAPD Markers. *Biomedical and Life Sciences*, 54(6), 1351–1365.
- Tan, A., 2009. Türkiye Geçit Bölgesi Genetik Çeşitliliğinin *in situ* (Çiftçi Şartlarında) Muhafaza Olanakları. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 1–13 (in Turkish).
- Yüksel, C., Mutaf, F., Demirtaş, İ., Öztürk, G., Pektaş, M., ve Ergül, A., 2013. Characterization of Anatolian Traditional Quince Cultivars, based on Microsatellite Markers. *Genetics and Molecular Research*, 12(4), 5880–5888.
- Zaloğlu, S., Kafkas, S., Dogan, Y., ve Güney, M., 2015. Development and Characterization of SSR Markers from Pistachio (*Pistacia vera* L.) and their Transferability to Eight Pistacia Species. *Scientia Horticulturae*, 189, 94–103.
- Zhu, H., Song, P., Koo, D. H., Guo, L., Li, Y., Sun, S., ve Yang, L., 2016. Genome Wide Characterization of Simple Sequence Repeats in Watermelon Genome and Their Application in Comparative Mapping and Genetic Diversity Analysis. *BMC Genomics*, 17(1), 557.

# Torna Tezgâhı ile Delikli Flanş Üretiminde Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu

## Surface Roughness Optimization of Hole Flange Production with CNC Lathe

Ömer SEÇGİN\*

Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 21.09.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.03.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 05.03.2020

### Öz

Delikli flanşlara havacılık, otomotiv vb. birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Metal sacların üzerine delikli flanş oluşturma işlemi genellikle CNC freze tezgahında yapılmaktadır. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak delikli flanş üretimi CNC torna tezgahında yapılmıştır. Malzeme olarak 1 mm kalınlığındaki DKP 37 sacı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 65 mm çapında delikli flanş başarı ile üretilerek yüzey pürüzlülüğü optimize edilmiştir. Sinyal/Gürültü analizi yapılarak CNC torna tezgahında delikli flanş üretiminde en önemli parametrenin parçanın devir sayısı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Artımlı Şekillendirme, Delikli Flanş, DKP37, Taguchi

### Abstract

Aerospace, automotive, etc. many areas are needed hole flanged parts. The production of hole flange on metal sheets is generally done on CNC milling machine. In this study, unlike literature, the production of hole flanges was made on CNC lathe. DKP 37 sheet with thickness of 1 mm was used as material. Within the scope of the study, 65 mm diameter hole flange was successfully produced and surface roughness was optimized. With signal/noise analysis, it is determined that the most important parameter in the production of hole flanges on CNC lathe is the revolution of the part.

**Keywords:** Incremental Forming, Hole Flanging, DKP37, Taguchi

\* Ömer SEÇGİN; osecgin@gmail.com, Tel: (0216) 581 00 50, orcid.org/0000-0001-6158-3164

## 1. Giriş

Delikli flanş imalatı, sac şekillendirme tekniklerinden biridir ve endüstriyel parçaların imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Flanş oluşturmak için sac üzerinde bulunan ön delik genişletilir. Bu metotta üzerinde ön delik bulunan sac, kenarlarından iş bağlama aparatına tutturulur. Form takımının hareketi ile sac üzerine flanş oluşturulur. Bu işlemde takım hareketi CNC freze tezgâhı veya robot kollarla sağlanır. Bu yöntem prototip üretimi veya küçük adetli seri üretim için geleneksel şekillendirmeye alternatif olarak kullanılabilir (Echrif ve Hrairi, 2011). Artımlı şekillendirme yöntemi ile delikli flanş üretimi otomotiv, havacılık ve biyomedikal sektörlerinde kullanılabilir (Centeno vd., 2012; Malyer ve Müftüoğlu, 2015; Morales-palma vd., 2018).

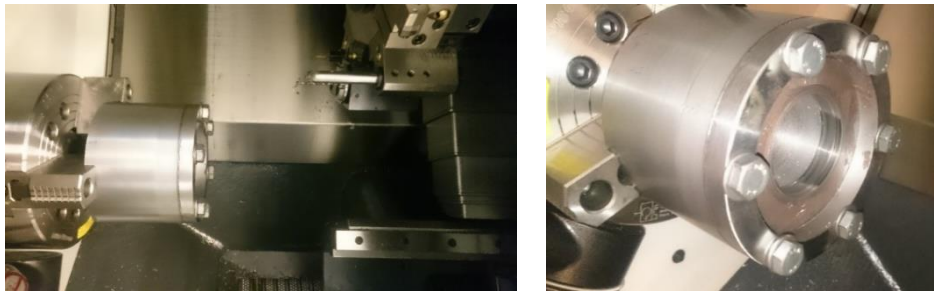
Literatür incelendiğinde delikli flanş üretimi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Shrivastava ve arkadaşları (Shrivastava vd., 2013) Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik (AHSS) sac malzeme üzerinde delikli flanş oluşturma işlemi gerçekleştirmişler ve ön delik çapının kenar kalınlığını etkilemediğini belirlemişlerdir. Cui ve Gao kademeli artımlı şekillendirme yöntemini kullanarak delikli flanş üretimini başarı ile gerçekleştirmişlerdir (Cui ve Gao, 2010). Praveen ve arkadaşları derin çekme sacından CNC freze tezgahında delikli flanş üretimini araştırmışlardır (Praveen vd., 2019). 60° açı ile başlayıp 10° açı artımları ile kademeli olarak şekillendirme yaparak 90° açılı delikli flanş üretimini başarılı şekilde gerçekleştirilerek kademe sayısındaki artışın sac ve takım arasındaki sürtünme etkisiyle yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını belirlemişlerdir. Mugendiran ve Gnanavelbabu 1 mm kalınlığındaki alüminyum sacdan (AA5052) CNC freze tezgahında delikli flanş üretimini araştırarak yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılabilir ikinci dereceden denklem elde

etmişlerdir (Mugendiran ve Gnanavelbabu, 2018). Borrego ve arkadaşları ise 1,6 mm kalınlığındaki alüminyum sacdan (AA7075-O) delikli flanş üretimini araştırmışlardır (Borrego vd., 2016). Bu araştırmacılar da çalışmalarını CNC freze tezgahında yaparak deneyler esnasında form takımını belirli devirlerle dönmesini sağlamışlardır. Devir sayısının artması ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini belirlemişlerdir.

Mevcut literatürde delikli sacların şekillendirilmesi CNC freze tezgâhı veya robot kollar kullanılarak, uygun bağlama kalıpları yardımıyla yapıldığı belirlenmiştir (Cao vd., 2016; Cristino vd., 2015; Petek ve Kuzman, 2012; Wen vd., 2016). Yapılan çalışmalar flanşın geometrik doğruluğunun ve büyütülen delik kenarlarındaki incelleme noktalarının iyileştirilmesine yöneliktir. Geometrik doğruluğa sahip olmayan parçaların yerine monte edilmesinde sorunlar ile karşılaşmakta fazladan işlem gerektirmektedir. Kenar kalınlığında incelleme olan parçalar ise bu noktalardan aşınmakta ve hasara uğramaktadır. Bu çalışmada mevcut literatürden farklı olarak CNC torna tezgahında delikli flanş üretimi gerçekleştirilmiş ve üst üste çalışan makine elemanlarında önemli bir parametre olan yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) incelenmiştir. Belirlenen parametreler ile gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkin parametrelerin belirlenmesi sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada, DKP37 sacının artımlı flanş şekillendirme operasyonu sonrası oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için şekillendirme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Deneylerde kullanılan sacın kalınlığı 1 mm'dir. Üretilen flanşın oluşturulan delik çapı ise 65 mm'dir. Deneyler GoodWay GLS200 CNC torna tezgahında yapılmıştır (Şekil 1).



A

B

Şekil 1. İş bağlama aparatı A: Deney düzeneği. B: Şekillendirme sonrası CNC tezgâhtan görünüm.

Devir (dev/dak), artım miktarı (mm), ilerleme (mm/dak) ve şekillendirme oranı olmak üzere dört farklı deney parametresi seçilmiştir. Bu faktörlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. Devir, aynanın bir dakikadaki dönme sayısıdır. Artım miktarı, form takımının her bir pasoda yarı çapta (X ekseninde) hareket miktarıdır. İlerleme ise form takımının delik boyunca (Z ekseninde) bir hareket hızıdır.

**Tablo 1.** Deney parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol Faktörü	Birimi	Seviyeler		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Devir	dev/dak	10	20	30
Artım miktarı	mm	2.5	5	7.5
İlerleme	mm/dak	0.2	0.5	1
Şekillendirme Oranı	-	1.8	2	2.2

Deney parametreleri ve seviyeleri belirlendikten sonra Taguchi metodu ile deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı için Minitab 18 programı kullanılmıştır. Deney tasarımında, Taguchi yönteminin L9 ortogonal dizini kullanılmıştır. Tasarım sonucu oluşan deney seti Tablo 2’de verilmiştir.

Saclar CNC torna aynasına bağlı olan iş bağlama aparatına tutturularak şekillendirilmiştir. Sac, 6 tane M8 civata kullanılarak flanş ile iş bağlama aparatı arasına sıkılmıştır. Parçalar önce punta matkabı ile, sonra da 12 mm’lik matkapla delinmiştir. Daha sonra da saclar ön delik çapına ulaşılan kadar delik içi kalemi ile tormalanmıştır. Flanşın delik çapının bu ilk çapa oranına şekillendirme oranı denilmektedir. Bu durumda şekillendirme oranının 1.8 olduğu deneylerde sac 36.1 mm’ye tormalanmıştır. Şekillendirme oranının 2 olduğu deneylerde sac 32.5 mm’ye tormalanmıştır. Şekillendirme oranının 2.2 olduğu deneylerde ise sac 29.5 mm’ye tormalanmıştır. Delik tormalama işleminden sonra sac aparattan sökülmeden şekillendirilmiştir. CNC torna tezgahında şekillendirme işlemi için kodlar oluşturulurken G71 boyuna delik tormalama çevrimi kullanılmıştır. Bu çevrimde takım delik iç çapından başlayarak artım miktarı kadar yarı çapta hareket ettikten sonra delik boyunca tanımlanmış olan ilerleme hızı ile hareket ederek flanş oluşturulmaya başlanmıştır. Daha sonra form takımı parça dışına çıkıp istenilen çapa ulaşıp ulaşılmadığını kontrol edilmiştir, istenilen çapa ulaşılmadı ise tekrar yarıçapta artım miktarı kadar

yukarı çıkılarak flanş tekrar işlenmiştir. İstenilen flanş çapına ulaşıldığında G71 boyuna delik tormalama çevrimi sonlanmıştır. Daha sonra üretilmiş olan delikli flanşlı parça iş bağlama aparatından sökülüştür. Tüm deneylerde çapı 16 mm olan küre uçlu form takımı kullanılmıştır. Şekil 2’de şekillendirilen parçalardan bir örnek verilmiştir.



**Şekil 2.** Şekillendirilen parçalardan bir örnek.

Deneyler neticesinde elde edilen parçaların yüzey pürüzlülükleri form takımının temas ettiği yüzeylerinden MarSurf PS1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü Şekil 3’de verilmiştir.



**Şekil 3.** Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.

Yüzey pürüzlülükleri ölçüldükten sonra en küçük en iyi formülü kullanılarak sinyal/gürültü (S/N) analizi yapılmıştır. S/N analizi ile deney parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün küçük

olması istendiğinden Eşitlik 1’de gösterilen daha küçük daha iyi denklemi kullanılmıştır. Bu denklemde  $\gamma$  performans karakteristiğinin gözlem değeri,  $n$  ise tekrar sayısıdır (Özek ve Taşdemir, 2009).

$$\frac{S}{N} = -10 \left( \log \left( \sum \frac{\gamma^2}{n} \right) \right) \quad (1)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Deneysel çalışmalar sonucunda, elde edilen parçaların yüzey pürüzlülükleri (Ra değerleri) için hesaplanan S/N oranları, Tablo 2’te verilmiştir. Tabloya göre en küçük yüzey pürüzlülüğü 3 numaralı deneyde oluşmuştur (2.06  $\mu\text{m}$ ).

**Tablo 2.** Deney seviyeleri ve S/N analiz sonuçları.

Deney No	Devir (dev/dak)	Deney parametreleri			Sonuçlar	
		Artım Miktarı (mm)	İlerleme (mm/dak)	Şekillendirme Oranı	Ra ( $\mu\text{m}$ )	S/N_Ra (db)
1	10	2.5	0.2	1.8	2.41	-7.64
2	10	5	0.5	2	3.91	-11.84
3	10	7.5	1	2.2	2.06	-6.29
4	20	2.5	0.5	2.2	2.35	-7.42
5	20	5	1	1.8	2.82	-9.01
6	20	7.5	0.2	2	5.04	-14.04
7	30	2.5	1	2	3.58	-11.07
8	30	5	0.2	2.2	7.37	-17.35
9	30	7.5	0.5	1.8	4.81	-13.64

Parametre seviyelerinin S/N oranları Tablo 3’te verilmiştir. Tablonun “Delta” satırında her bir parametre seviyesi için en büyük ve en küçük S/N oranı arasındaki fark verilmiştir. Delta satırındaki değeri en büyük olan parametre bu işlem için en

önemli parametreyi göstermektedir (Kayir vd., 2013). Tablonun en alt satırında parametrelerin önem sırası verilmiştir. Tabloya göre en önemli parametre “Devir”dir.

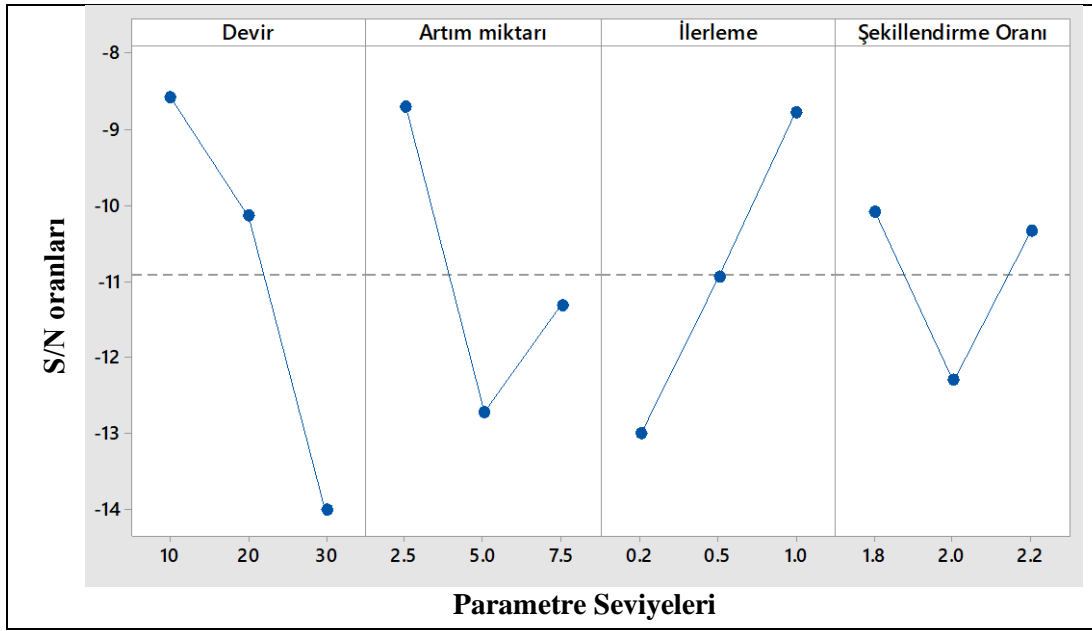
**Tablo 3.** Yüzey pürüzlülüğü için parametre seviyelerinin S/N oranları.

Seviye	Devir	Artım Miktarı	İlerleme	Şekillendirme Oranı
1	-8.589	-8.707	-13.011	-10.096
2	-10.157	-12.735	-10.963	-12.315
3	-14.018	-11.323	-8.791	-10.354
Delta	5.429	4.028	4.220	2.219
Sıra	1	3	2	4

Şekil 4’te S/N oranları grafiği verilmiştir. Bu grafikte her bir parametrenin en büyük S/N oranı optimum seviyeyi göstermektedir. Buna göre optimum seviyeler devir için 10 dev/dak, artım miktarı için 2.5 mm, ilerleme için 1 mm/dak, şekillendirme oranı için ise 1.8’dir. Şekil 4 ve Tablo 2 birlikte incelendiğinde büyük çevresel hızların yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği

anlaşılmaktadır. Şekil 4’ten elde edilen optimum seviyeler kullanılarak yapılan doğrulama deneyi ile üretilen parçanın yüzey pürüzlülüğü 1.89  $\mu\text{m}$ ’dir. Bu da optimizasyon çalışmasının etkili bir sonuç verdiğini göstermektedir. Düşük devir sayısının daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağladığı Şekil 4’te görülebilmektedir.





Şekil 4. Sinyal/Gürültü oranı.

#### 4. Sonuç

Sac metal parçalardan üretilmiş olan delikli flanşlar farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada CNC torna tezgahında artımlı şekillendirme yöntemi ile delikli flanş üretimi yapılarak deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Sinyal/Gürültü analizi yapılarak parametrelerin optimum seviyeleri belirlenmiş daha sonra doğrulama deneyi ile bu seviyeler doğrulanmıştır. Literatürden farklı olarak CNC torna tezgahının kullanıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- CNC torna tezgahında delikli flanş üretimi başarılı şekilde yapılabilmektedir.
- Devir sayısının büyümesi yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir.
- Yüzey pürüzlülüğü için optimum parametre seviyeleri
  - Devir: 10 dev/dak,
  - Artım miktarı: 2.5 mm,
  - İlerleme: 1 mm/dak,
  - Şekillendirme oranı: 1.8

#### Kaynaklar

Borrego, M., Morales-Palma, D., Martínez-Donaire, A. J., Centeno, G., ve Vallellano, C., 2016. Experimental Study of Hole-Flanging by Single-Stage Incremental Sheet Forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 237, 320–330. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.06.026

Cao, T., Lu, B., Ou, H., Long, H., ve Chen, J., 2016. Investigation on a New Hole-Flanging Approach by Incremental Sheet Forming Through a Featured Tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 110, 1–17. doi: 10.1016/j.ijmactools.2016.08.003

Centeno, G., Silva, M. B., Cristino, V. A. M., Vallellano, C., ve Martins, P. A. F., 2012. Hole-flanging by Incremental Sheet Forming. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 59, 46–54. doi: 10.1016/j.ijmactools.2012.03.007

Cristino, V. A. M., Silva, M. B., Wong, P. K., Tam, L. M., ve Martins, P. A. F., 2015. Hole-Flanging of Metals and Polymers Produced by Single Point Incremental Forming. *Int. J. Materials and Product Technology*, 50(1), 37–48. doi:10.1504/IJMP.2015.066865

Cui, Z., ve Gao, L., 2010. Studies on Hole-Flanging Process Using Multistage Incremental Forming. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(2), 124–128. doi: 10.1016/j.cirpj.2010.02.001

Echraf, S. B. M., ve Hrairi, M., 2011. Research and Progress in Incremental Sheet Forming Processes. *Materials and Manufacturing Processes*, 26, 1404–1414. doi:10.1080/10426914.2010.544817

Kayir, Y., Aslan, S., ve Aytürk, A., 2013. AISI 316ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi İle Analizi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 28(2), 363–372.

- Malyer, E., ve Müftüoğlu, H. S., 2015. The Influence of Friction Conditions on Formability of DC01 Steels by ISF. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(3), 134–138. doi:10.9790/1684-1231134138
- Morales-Palma, D., Borrego, M., Martínez-Donaire, A. J., Centeno, G., ve Vallellano, C., 2018. Optimization of Hole-Flanging by Single Point Incremental Forming in Two Stages. *Materials*, 11, 1–15. doi:10.3390/ma11002029
- Mugendiran, V., ve Gnanavelbabu, A., 2018. Analysis of Hole Flanging on AA5052 Alloy by Single Point Incremental Forming Process. *Materials Today: Proceedings*, 5 (April), 8596–8603. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.557
- Özek, C., ve Taşdemir, V., 2009. Modelling of Surface Roughness with Variance Analysis in Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *Technological Applied Sciences*, 4(3), 305–314.
- Petek, A., ve Kuzman, K., 2012. Backward Hole-Flanging Technology Using an Incremental Approach. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 58(2), 73–80. doi:10.5545/sv-jme.2011.194
- Praveen, G., Reddy, R. T., ve Suresh, K., 2019. Experimental Studies on Incremental Hole Flanging of Steel Sheets. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 5(3), 418–428. doi:10.1080/2374068X.2019.1622296
- Shrivastava, P., Singh, P. K., ve Panthi, S. K., 2013. Finite Element Simulation of Hole Flanging Process of Advanced High Strength Steel. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 3(1), 27–32.
- Wen, T., Zhang, S., Zheng, J., Huang, Q., ve Liu, Q., 2016. Bi-Directional Dieless Incremental Flanging of Sheet Metals Using a Bar Tool with Tapered Shoulders. *Journal of Materials Processing Technology*, 229, 795–803. doi:10.1016/j.jmatprotec.2015.11.005

## Hermite-Hadamard Type Inequalities for Multiplicatively $P$ -Functions

### Çarpımsal $P$ -Fonksiyonlar İçin Hermite-Hadamard Tipli Eşitsizlikler

Serap ÖZCAN\*

Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, Kırklareli University, Kırklareli, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 24.12.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 25.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 06.03.2020

#### Abstract

In this study, we first establish some integral inequalities of Hermite-Hadamard type in the setting of multiplicative calculus for multiplicatively  $P$ -functions. Then, by using some properties of this kind of functions, we obtain new inequalities involving multiplicative integrals for product and quotient of multiplicatively  $P$ -functions and convex functions.

**Anahtar kelimeler:** Convex Function, Hermite-Hadamard Inequalities, Multiplicative Calculus, Multiplicatively  $P$ -Function

#### Öz

Bu çalışmada, öncelikle, çarpımsal  $P$ -fonksiyonlar için çarpımsal kalkülüs ortamında Hermite-Hadamard tipi bazı integral eşitsizlikleri oluşturulmuştur. Daha sonra, bu tür fonksiyonların bazı özellikleri kullanılarak, çarpımsal  $P$ -fonksiyonlar ile konveks fonksiyonların çarpım ve bölümleri için çarpımsal integralleri içeren yeni eşitsizlikler elde edilmiştir.

**Keywords:** Konveks Fonksiyon, Hermite-Hadamard Eşitsizlikleri, Çarpımsal Kalkülüs, Çarpımsal  $P$ -Fonksiyon

\*Serap ÖZCAN; serapozcann@yahoo.com, Tel: (0288) 246 17 34, orcid.org/0000-0001-6496-5088

**1. Introduction and Preliminaries**

The classical or the usual convexity is defined as follows:

The function  $\psi: [v_1, v_2] \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  is said to be convex if the following inequality holds:

$$\psi(\lambda x + (1 - \lambda)y) \leq \lambda\psi(x) + (1 - \lambda)\psi(y)$$

for all  $x, y \in [v_1, v_2]$  and  $\lambda \in [0,1]$ . The function  $\psi$  is said to be concave if  $-\psi$  is convex.

A number of studies have shown that many of the results obtained about the inequalities are direct consequences of the applications of convex functions. One of the most famous inequalities related to the integral mean of a convex function is Hermite-Hadamard inequality. This double inequality is stated as follows (Dragomir and Pearce, 2000; Pečarić et al., 1992):

Let  $\mathfrak{J} \subset \mathbb{R}$  be an interval with  $v_1, v_2 \in \mathfrak{J}$  and  $v_1 < v_2$  and let  $\psi: \mathfrak{J} \rightarrow \mathbb{R}$  be a convex function. Then,

$$\begin{aligned} \psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) &\leq \frac{1}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \psi(x) dx \\ &\leq \frac{\psi(v_1) + \psi(v_2)}{2}. \end{aligned}$$

In recent years, Hermite-Hadamard integral inequality has attracted the attention of many researchers and a remarkable variety of improvements, generalizations, refinements and applications have been found (Budak et al., 2019; Kadakal, 2018, 2019; Kadakal, 2019; Maden et al., 2018; Özcan, 2019; Özcan and İşcan, 2019; Özdemir et al., 2015; Sarıkaya et al., 2019; Set et al., 2015).

**Definition 1.1.** (Pečarić et al., 1992) A function  $\psi: \mathfrak{J} \rightarrow (0, \infty)$  is said to be multiplicatively or log convex, if

$$\psi((1 - \lambda)x + \lambda y)[\psi(x)]^{1-\lambda}[\psi(y)]^\lambda$$

for all  $x, y \in \mathfrak{J}$  and  $\lambda \in [0,1]$ .

Ali et al. (2019) established Hermite–Hadamard inequality for multiplicatively convex functions as follows:

**Theorem 1.2.** Let  $\psi$  be a positive and multiplicatively convex function on interval  $[a, b]$ . Then

$$\begin{aligned} \psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) &\leq \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &\leq G(\psi(v_1), \psi(v_2)), \end{aligned}$$

where  $G(.,.)$  is a geometric mean.

**Definition 1.3.** (Dragomir and Pearce, 1998) A function  $\psi: \mathfrak{J} \rightarrow (0, \infty)$  is said to be quasi convex, if

$$\psi((1 - \lambda)x + \lambda y) \leq \max\{\psi(x), \psi(y)\}$$

for all  $x, y \in \mathfrak{J}$  and  $\lambda \in [0,1]$ .

From the above definitions we have

$$\begin{aligned} \psi((1 - \lambda)x + \lambda y) &\leq [\psi(x)]^{1-\lambda}[\psi(y)]^\lambda \\ &\leq \psi(x) + \lambda[\psi(y) - \psi(x)] \\ &\leq \max\{\psi(x), \psi(y)\}. \end{aligned}$$

**Definition 1.4.** (Dragomir et al., 1995) A nonnegative function  $\psi: \mathfrak{J} \subseteq \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  is said to be  $P$ -function if the inequality

$$\psi((1 - \lambda)x + \lambda y) \leq \psi(x) + \psi(y)$$

holds for all  $x, y \in \mathfrak{J}$  and  $\lambda \in [0,1]$ .

Dragomir et al. (1995) proved the following inequality of Hermite-Hadamard type for  $P$ -functions:

**Theorem 1.5.** Let  $\psi$  be a  $P$ -function on  $\mathfrak{J}$ ,  $v_1, v_2 \in \mathfrak{J}$  with  $v_1 < v_2$  and  $\psi \in L[v_1, v_2]$ . Then

$$\begin{aligned} \psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) &\leq \frac{2}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \psi(x) dx \\ &\leq 2[\psi(v_1) + \psi(v_2)]. \end{aligned}$$

**Definition 1.6.** (Kadakal, 2018) Let  $\mathfrak{J} \neq \emptyset$  be an interval in  $\mathbb{R}$ . A function  $\psi: \mathfrak{J} \rightarrow [0, \infty)$  is said to be multiplicatively  $P$ -function (or log- $P$ -function), if

$$\psi((1 - \lambda)x + \lambda y) \leq \psi(x)\psi(y)$$

holds for all  $x, y \in \mathfrak{J}$  and  $\lambda \in [0,1]$ .

**1.1. Multiplicative Calculus**

Recall that the multiplicative integral is denoted by  $\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}$  while the ordinary integral is denoted by  $\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x)) dx$ . It is also known that (Bashirov et al., 2008), if  $\psi$  is positive and

Riemann integrable on  $[v_1, v_2]$ , then  $\psi$  is multiplicative integrable on  $[v_1, v_2]$  and

$$\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} = e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx}.$$

Bashirov et al. (2008) showed that multiplicative integral has the following results and notations:

1.  $\int_{v_1}^{v_2} ((\psi(x))^p)^{dx} = \int_{v_1}^{v_2} ((\psi(x))^{dx})^p,$
2.  $\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x)g(x))^{dx} = \int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{v_1}^{v_2} (g(x))^{dx},$
3.  $\int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\psi(x)}{\phi(x)}\right)^{dx} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}},$
4.  $\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} = \int_{v_1}^{\mu} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{\mu}^{v_2} (\psi(x))^{dx},$   
 $v_1 \leq \mu \leq v_2,$
5.  $\int_{v_1}^{v_1} (\psi(x))^{dx} = 1,$
6.  $\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} = \left(\int_{v_2}^{v_1} (\psi(x))^{dx}\right)^{-1}$

## 2. Main Results

In this section we obtain some Hermite-Hadamard type integral inequalities in the setting of multiplicative calculus for multiplicatively  $P$ -functions and convex functions.

**Theorem 2.1.** Let  $\psi$  be a positive and multiplicatively  $P$ -function on  $[v_1, v_2]$ . Then the following inequalities hold:

$$\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \leq \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{2}{v_2 - v_1}} \leq [\psi(v_1)\psi(v_2)]^2 \tag{1}$$

**Proof.** If  $\psi$  is a positive and multiplicatively  $P$ -function, then we have

$$\begin{aligned} & \ln\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \\ &= \ln\left(\psi\left(\frac{(1 - \lambda)v_1 + \lambda v_2 + \lambda v_1 + (1 - \lambda)v_2}{2}\right)\right) \\ &= \ln\left(\psi\left(\frac{(1 - \lambda)v_1 + \lambda v_2}{2} + \frac{\lambda v_1 + (1 - \lambda)v_2}{2}\right)\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \leq \ln\left(\left(\psi((1 - \lambda)v_1 + \lambda v_2)\right) \cdot \left(\psi(\lambda v_1 + (1 - \lambda)v_2)\right)\right) \\ &= \ln\left(\psi((1 - \lambda)v_1 + \lambda v_2)\right) + \ln\left(\psi(\lambda v_1 + (1 - \lambda)v_2)\right) \end{aligned}$$

Integrating the above inequality with respect to  $\lambda$  on  $[0,1]$ , we get

$$\begin{aligned} & \ln\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \\ & \leq \int_0^1 \ln\left(\psi((1 - \lambda)v_1 + \lambda v_2)\right) d\lambda + \int_0^1 \ln\left(\psi(\lambda v_1 + (1 - \lambda)v_2)\right) d\lambda \\ &= \left[\frac{1}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx + \frac{1}{v_1 - v_2} \int_{v_2}^{v_1} \ln(\psi(x)) dx\right] \\ &= \left[\frac{1}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx + \frac{1}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx\right] \\ &= \frac{2}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx. \end{aligned}$$

Hence, we have

$$\begin{aligned} \psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) & \leq e^{\left(\frac{2}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx\right)} \\ &= \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{2}{v_2 - v_1}}. \end{aligned}$$

Thus, we obtain

$$\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \leq \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{2}{v_2 - v_1}}, \tag{2}$$

which completes the proof of the first inequality in (1). Now consider the second inequality in (1).

$$\begin{aligned} \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{1}{v_2 - v_1}} &= \left(e^{\left(\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx\right)}\right)^{\frac{1}{v_2 - v_1}} \\ &= e^{\frac{1}{v_2 - v_1} \left(\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx\right)} \\ &= e^{\left(\int_0^1 \ln(\psi(v_1 + \lambda(v_2 - v_1))) d\lambda\right)} \\ &\leq e^{\left(\int_0^1 \ln(\psi(v_1)\psi(v_2)) d\lambda\right)} \\ &= e^{\left(\ln(\psi(v_1)\psi(v_2)) \int_0^1 d\lambda\right)} \\ &= \psi(v_1)\psi(v_2). \end{aligned}$$

Hence, we get

$$\left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}\right)^{\frac{2}{v_2-v_1}} \leq [\psi(v_1)\psi(v_2)]^2. \quad (3)$$

Combining the inequalities (2) and (3) gives the inequality (1).

**Corollary 2.2.** Let  $\psi$  and  $\phi$  be positive and multiplicatively  $P$ -functions on  $[v_1, v_2]$ . Then the following inequalities hold:

$$\begin{aligned} &\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)\phi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \\ &\leq \left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}\right)^{\frac{2}{v_2-v_1}} \\ &\leq [(\psi(v_1)\psi(v_2)) \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))]^2. \end{aligned}$$

**Proof.** Since  $\psi$  and  $\phi$  are positive and multiplicatively  $P$ -functions, then  $\psi\phi$  is a multiplicatively  $P$ -function. Thus if we apply Theorem 2.1 to the function  $\psi\phi$ , then we obtain the desired result.

**Corollary 2.3.** Let  $\psi$  and  $\phi$  be positive and multiplicatively  $P$ -functions on  $[v_1, v_2]$ . Then the following inequalities hold:

$$\begin{aligned} \frac{\psi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)}{\phi\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)} &\leq \left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{2}{v_2-v_1}} \\ &\leq \left[\frac{\psi(v_1)\psi(v_2)}{\phi(v_1)\phi(v_2)}\right]^2. \end{aligned}$$

**Proof.** Since  $\psi$  and  $\phi$  are positive and multiplicatively  $P$ -functions, then  $\frac{\psi}{\phi}$  is a multiplicatively  $P$ -function. Thus if we apply Theorem 2.1 to the function  $\frac{\psi}{\phi}$ , then we obtain the desired result.

**Theorem 2.4.** Let the positive functions  $\psi, \phi$  be convex and multiplicatively  $P$ -functions, respectively. Then, we have

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &\leq \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}}}{e \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))} \end{aligned}$$

**Proof.** Note that

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(\frac{e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x))dx}}{e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x))dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x))dx - \int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x))dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1+\lambda(v_2-v_1)))d\lambda - \int_0^1 \ln(\phi(v_1+\lambda(v_2-v_1)))d\lambda} \\ &\leq \frac{e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1)+\lambda(\psi(v_2)-\psi(v_1)))d\lambda}}{e^{\int_0^1 \ln(\phi(v_1)+\lambda(\phi(v_2)-\phi(v_1)))d\lambda}} \\ &= \frac{e^{\ln\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{-1}}}{e^{\ln(\phi(v_1)\phi(v_2))^{\int_0^1 d\lambda}}} \\ &= \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}}}{e \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))}. \end{aligned}$$

Thus, we have

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &\leq \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}}}{e \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))}, \end{aligned}$$

which completes the proof.

**Theorem 2.5.** Let the positive functions  $\psi, \phi$  be multiplicatively  $P$ -function and convex function, respectively. Then, we have

$$\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \leq \frac{e \cdot (\psi(v_1)\psi(v_2))}{\left(\frac{(\phi(v_2))^{\phi(v_2)}}{(\phi(v_1))^{\phi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\phi(v_2)-\phi(v_1)}}}$$

**Proof.** Note that

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(\frac{e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx}}{e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x)) dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx - \int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x)) dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda - \int_0^1 \ln(\phi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda} \\ &\leq \frac{e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1)\psi(v_2)) d\lambda}}{e^{\int_0^1 \ln(\phi(v_1)+\lambda(\phi(v_2)-\phi(v_1))) d\lambda}} \\ &= \frac{e^{\ln(\psi(v_1)\psi(v_2)) \int_0^1 d\lambda}}{e^{\ln\left(\left(\frac{(\phi(v_2))^{\phi(v_2)}}{(\phi(v_1))^{\phi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\phi(v_2)-\phi(v_1)}}\right)^{-1}}} \\ &= \frac{e \cdot (\psi(v_1)\psi(v_2))}{\left(\frac{(\phi(v_2))^{\phi(v_2)}}{(\phi(v_1))^{\phi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\phi(v_2)-\phi(v_1)}}} \end{aligned}$$

Hence, we have

$$\left(\frac{\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx}}{\int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \leq \frac{e \cdot (\psi(v_1)\psi(v_2))}{\left(\frac{(\phi(v_2))^{\phi(v_2)}}{(\phi(v_1))^{\phi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\phi(v_2)-\phi(v_1)}}},$$

which is the desired result.

**Theorem 2.6.** Let the positive functions  $\psi, \phi$  be convex and multiplicatively  $P$ -functions, respectively. Then, we have

$$\left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{v_1}^{v_2} (g(x))^{dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \leq \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}} \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))}{e}$$

**Proof.** Note that

$$\begin{aligned} &\left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx + \int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x)) dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\psi(x)) dx} \cdot e^{\int_{v_1}^{v_2} \ln(\phi(x)) dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= \left(e^{(v_2-v_1) \int_0^1 \ln(\psi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &\quad \times \left(e^{(v_2-v_1) \int_0^1 \ln(\phi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \\ &= e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda} \cdot e^{\int_0^1 \ln(\phi(v_1+\lambda(v_2-v_1))) d\lambda} \\ &\leq e^{\int_0^1 \ln(\psi(v_1)+\lambda(\psi(v_2)-\psi(v_1))) d\lambda} \\ &\quad \times e^{\int_0^1 \ln(\phi(v_1)\phi(v_2)) d\lambda} \\ &= e^{\ln\left(\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}}\right)^{-1}} \\ &\quad \times e^{\ln(\phi(v_1)\phi(v_2)) \int_0^1 d\lambda} \\ &= \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}} \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))}{e} \end{aligned}$$

Thus,

$$\left(\int_{v_1}^{v_2} (\psi(x))^{dx} \cdot \int_{v_1}^{v_2} (\phi(x))^{dx}\right)^{\frac{1}{v_2-v_1}} \leq \frac{\left(\frac{(\psi(v_2))^{\psi(v_2)}}{(\psi(v_1))^{\psi(v_1)}}\right)^{\frac{1}{\psi(v_2)-\psi(v_1)}} \cdot (\phi(v_1)\phi(v_2))}{e}$$

This completes the proof.

**Acknowledgments**

This research article is supported by Kırklareli University Scientific Research Projects

Coordination Unit. Project Number: KLUBAP-191.

## References

- Ali, M.A., Abbas, M., Zhang, Z., Sial, I.B. ve Arif, R., 2019. On Integral Inequalities for Product and Quotient of Two Multiplicatively Convex Functions. *Asian Research Journal of Mathematics*, 12(3), 1-11.
- Bashirov, A.E., Kurpinar, E.M. ve Özyapıcı, A., 2008. Multiplicative Calculus and Applications. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 337(1), 36-48.
- Budak, H., Tunç, T. ve Sarıkaya, M.Z., 2019. On Hermite-Hadamard Type Inequalities for F-Convex Function. *Miskolc Mathematical Notes*, 20(1), 169-191.
- Dragomir, S.S. ve Pearce, C.E.M., 1998. Quasi-Convex Functions and Hermite-Hadamard's Inequality. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 57, 377-385.
- Dragomir, S.S. ve Pearce, C.E.M., 2000. Selected Topics on Hermite-Hadamard Inequalities and Applications, RGMIA Monographs, Victoria University of Technology, Victoria, 357p.
- Dragomir, S.S., Pecaric, J. ve Persson, L.E., 1995. Some Inequalities of Hadamard Type. *Soochow Journal of Mathematics*, 21(3), 335-341.
- Kadakal, H., 2018. Multiplicatively P-Functions and Some New Inequalities. *New Trends in Mathematical Sciences*, 6(4), 111-118.
- Kadakal, H., 2019. Some Integral Inequalities for Multiplicatively Geometrically P-Functions. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 9(2), 216-222.
- Kadakal, M., 2019. Hermite-Hadamard and Simpson Type Inequalities for Multiplicatively Harmonically P-Functions. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(4), 1311-1320.
- Maden, S., Demirel, A.K., Turhan, S. ve İşcan, İ., 2018. Some Integral Inequalities for the New Convex Functions. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 9(3), 319-326.
- Özcan, S., 2019. Some Integral Inequalities for Harmonically  $(\alpha, s)$ -Convex Functions. *Journal of Function Spaces*, 2019, Article ID 2394021, 1-8.
- Özcan, S. ve İşcan, İ., 2019. Some New Hermite-Hadamard Type Inequalities for s-Convex Functions and Their Applications. *Journal of Inequalities and Applications*, 2019(201), 1-11.
- Özdemir, M.E., Önalın, H.K. ve Ardiç, M.A., 2015. Hermite-Hadamard Type Inequalities for  $(h-(\alpha, m))$ -Convex Functions. *Journal of Concrete & Applicable Mathematics*, 13, 96-107.
- Pečarić, J.E., Proschan, F. ve Tong, Y.L., 1992. *Convex Functions, Partial Orderings and Statistical Applications*, Academic Press, Boston, 467p.
- Sarıkaya, M.Z., Akkurt, A., Budak, H., Yıldırım, M.E. ve Yıldırım, H., 2019. Hermite-Hadamard's Inequalities for Conformable Fractional Integrals. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 9(1), 49-59.
- Set, E., İşcan, İ., Sarıkaya, M.Z. ve Özdemir, M.E., 2015. On New Inequalities of Hermite-Hadamard-Fejer Type for Convex Functions via Fractional Integrals. *Applied Mathematics and Computation*, 259, 875-881.



## Ordu Kenti Parklarının Yeterlik ve Ulaşılabilirliği Üzerine Bir Araştırma

### *An Investigation of the Sufficiency and Accessibility of Parks in the City of Ordu*

Kübra Nur BEYLİ<sup>a</sup>, Murat YEŞİL<sup>\*b</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 52200, Altınordu, Ordu

• Geliş tarihi / Received: 04.10.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.02.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 07.03.2020

#### Öz

Bu çalışmanın amacı Ordu kenti, Altınordu ilçesinde bulunan 78 adet parkın nüfus-alan bağlamında yeterlik ve erişilebilirliklerinin değerlendirilmesidir. Bu çerçevede, parkların büyüklükleri ile buldukları mahallelerin nüfusları oranlanmış, kişi başına düşen, olması gereken ve ihtiyaç duyulan park alanı gereksinimi tespit edilmiştir. Bu kapsamda; parkların büyüklükleri buldukları mahallelerin nüfusları ile oranlanmış, kişi başına düşen, olması gereken ve ihtiyaç duyulan park alanları belirlenmiştir. Arcmap 10.0 programı aracılığıyla 1/1000 ölçekli uygulama imar planına noktasal konumları işlenmiş olan parklara, 400 m yarıçaplı noktasal etkili hizmet alanları oluşturularak parkların erişilebilirlikleri tespit edilmiş ve haritalandırılmıştır. Sonuç olarak, kişi başına 2.40 m<sup>2</sup> park alanı düştüğü tespit edilen Altınordu'da, toplamda 416575 m<sup>2</sup> park alanı bulunduğu ve standarda ulaşılması adına 15620 m<sup>2</sup> alanın daha park olarak değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Mevcut parkların etkili hizmet alanlarının buldukları mahalleleri büyük oranda kapsadığı ve erişilebilir oldukları görülmüştür. Çalışmanın sonunda elde edilen tüm veriler ışığında tespit edilen sorunlara yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Erişilebilirlik, Ordu, Parklar, Yeterlik

#### Abstract

The aim of this study is to examine the adequacy and accessibility of 78 parks in Altınordu district of the city of Ordu according to the size of the parks and the population-area variables. In this sense, the available parking space and the ideal parking space per person were calculated through rating the parking space by the district populations. The sizes of the parks and the population of their neighborhoods were measured and the number of parking areas per person, the amount required and the amounts needed were determined. With the help of the Arcmap 10.0 program, point-to-point service areas were constructed in the 1/1000 scale application development plan and the accessibility of the parks was determined and mapped by creating effective service areas with a radius of 400 meter. In the district of Altınordu where there is a 2.40 m<sup>2</sup> park area per person, it is concluded that there is a total park area of 416575 m<sup>2</sup> and 15620 m<sup>2</sup> area should be considered as a park to reach the standard. It was evaluated that the effective service areas of the existing parks largely cover the neighborhoods where they are located and they are accessible; further, according to the results of the survey, it was obtained that the users prefer coastal parks rather than neighborhood parks. Finally, in light of all the data obtained, solutions were suggested for the problems identified.

**Keywords:** Accessibility, Ordu, Parks, Sufficiency

\*b Murat YEŞİL; muraty25@hotmail.com, Tel: (0452) 226 52 00 (dahili: 6325), orcid.org/0000-0002-3643-5626

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-0965-1251

## 1. Giriş

Kentler, yerleşik hayata geçmiş olan insanların bir arada olma zorunluluklarıyla ortaya koydukları, ihtiyaçlarına göre biçimlendirdikleri yaşam mekânlarıdır. İlerleyen dönemlerde kentlerde gelişen ulaşım, sağlık, eğitim ve sosyal olanaklar ile ulaşılan yüksek yaşam standardı ve artan nüfus, fiziksel olarak kentlerin büyümelerini sağlayarak kentleşme sürecini başlatmıştır (Yeşil ve Yüksel, 2016). Kentleşmenin yoğun olarak görüldüğü alanlarda kentli; çevresel sorunlar, yoğun iş temposu, monotonluk ve serbest zaman azlığı gibi birçok sorunla karşı karşıya kalmıştır. İnsanlar bu tür olumsuzluklardan, uzaklaşmak için rekreasyon amaçlı açık-yeşil alanlara yönelmeye başlamıştır. Teknolojik gelişmelerle insanların serbest zamanlarının artışı, eğitim ve gelir düzeylerinin yükselmesi ile yaşam sürelerinin uzaması gibi etkenler açık-yeşil alanlarda yapılabilen rekreasyonel etkinliklere olan talebi artmıştır (Mansuroğlu, 2002).

Açık-yeşil alanlar, insan ile doğa arasındaki bozulan ilişkinin dengelenmesini ve kentsel yaşam koşullarının iyileştirilmesini sağlayan, kente kimlik kazandıran, rekreasyonel bakımdan kullanım potansiyeli olan kentsel alanlardır. Bu alanlar, kentlinin yaşadığı yerden zevk almasını, dinlenmesini, eğlenmesini, dolaşmasını, spor yapmasını sağlayan ve kendine has bir kimliği olan açık hava odaları niteliğindedir (Thompson, 2002). Kentsel yerleşim planları incelendiğinde,

kent içerisinde bulunan açık-yeşil alanların bazen belli planlar çerçevesinde bazen de plansız olarak kendiliğinden oluşabildiği görülmektedir. Her iki durumda da kentsel açık ve yeşil alan normları; kentin coğrafi konumu, fiziksel, demografik, doğal, politik ve mimari yapısı gibi değişkenler doğrultusunda belirlenmektedir (Gül ve Küçük, 2001). Yeşil alanların kent genelindeki dağılımlarında, kent insanının sosyal, kültürel ve ekonomik yapısı, yeşil alanların içerdikleri fonksiyonel özellikler, fonksiyonların yeterliliği, fonksiyonlar arasında ilişki, hizmet ettiği kitle – nüfus ve hizmet alanı dikkate alınmalıdır (Atabeyoğlu ve Bulut, 2012). Farklı kentsel aktivitelerin gerçekleştiği arazi kullanımlarında farklı yeşil alan ihtiyaçları olacağından, yeşil alan standartlarının belirlenmesinde, kentsel alanda geçerli olan aktiviteler ve diğer arazi kullanımları da göz önünde bulundurulmalıdır (Aksoy, 2014).

Pamay, (1978)'a göre; kent içerisinde ve çevresinde bulunan yeşil alanların fiziksel ve organik bir yapıya sahip olabilmeleri için dengeli dağılımları, mekânsal kurgularla uyumlu olmaları ve ihtiyaçlara cevap verecek nitelik ile nicelikte olmaları gereklidir. Açık ve yeşil alan varlığının korunması ve planlı gelişmesi sağlanarak, ulusal standartlar düzeyinde olması sağlanmalıdır. Türkiye standartlarına göre belirlenmiş olan açık ve yeşil alan normları farklı araştırmacılar tarafından derlenerek, minimum ve maksimum değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye koşulları için önerilen açık ve yeşil alan standartları (Pamay, 1978; Nasuh, 1993; Ersoy, 2015)

Açık ve Yeşil Alan Türü	Kişi Başına Düşen m <sup>2</sup>			Minimum Alan Büyüklüğü (da)
	Ort.	Min.	Max.	
<b>Çocuk Oyun Bahçesi</b>	1.0	0.5	4.5	12
<b>Spor ve Oyun Alanları</b>	4.0	2.5	8.5	40
<b>Kent Bahçeleri</b>	0.25	-	-	5
<b>Mahalle Parkı</b>	2.5	-	-	8
<b>Semt Parkı</b>	5.0	-	-	50
<b>Kent Parkı</b>	10.0	10	40	400
<b>Botanik ve Hayvanat Bahçesi</b>	0.5	-	-	100
<b>Sergi Parkları (Lunapark)</b>	0.2	0.1	0.5	100
<b>Koru ve Orman</b>	5.0	3.0	9.0	2000
<b>Çayırılık (Doğal)</b>	5.0	-	-	50

Yeşil alan standartları ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde yeşil alan normlarına yönelik ilk gelişme 1933 yılında yayımlanan 2290 sayılı Yapı Yollar Kanununda belirlenmiştir. Kanunun 4. maddesine göre kişi başına 65 m<sup>2</sup>'lik kent alanı ayrılmıştır. Bu ayrılan alan içerisinde yeşil alanlar, koruluklar, çayırliklar ve oyun yerleri için kişi başına 4 m<sup>2</sup> alan ayrılması önerilmiştir. 1985 tarihli 3194 sayılı İmar Kanununda bu oran kişi başına 7 m<sup>2</sup>'ye yükseltilmiştir. 1999 yılı 23804 sayılı resmi gazetede yayımlanan "İmar Planı Yapılması ve Değişikliklerine Ait Esaslara Dair Yönetmelik" hükmüne göre, kent içerisinde kişi başına 10 m<sup>2</sup> aktif yeşil alan, belediye ve mücavir alan sınırları dışında ise kişi başına 14 m<sup>2</sup> aktif yeşil alan düşecek şekilde planlaması gerektiği belirtilmiştir. 2014 yılı 29030 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği" hükmüne göre, ilçe sınırları dahilinde yapılan planlamalarda açık yeşil alanların kişi başına 10 m<sup>2</sup>, il sınırı bütününde yapılan planlamalarda ise kişi başına 5 m<sup>2</sup> düşecek şekilde planlanması gerekmektedir.

Açık ve yeşil alanlar "haklar, ihtiyaçlar ve anlam" çevresinde 3 boyut kazanarak tasarlanmalıdır (Francis, 2003). Belirtilmiş olan bu 3 boyut kapsamında açık ve yeşil alanların kamusal alan olduğu, halkın her kademesine hitap etmesi gerektiği ve herkes için farklı bir anlam ifade ettiği vurgulanmaktadır. Açık yeşil alanların planlanmasında ve tasarımında alanların bir çevresel kimliğe sahip olmasına ve toplumsal değerler göz önünde bulundurularak uygulamaların yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Tasarımda, mekansal kapalılık, sınırların devamlılığı, sirkülasyon, yönlendirme, işlevsellik, estetik, düzen gibi tasarım elemanları dikkate alınarak, kent-mekân ve kitle-boşluk oranları belirlenerek bu oranlar doğrultusunda çalışmalar yapılmalı, yeşil alanlar farklı yeşil yollar veya ulaşım güzergâhları ile birbirine bağlanmalıdır (Kart, 2002). Açık ve yeşil alanlar nicelik ve nitelik bakımından kentlinin ihtiyaçlarına cevap verecek düzeyde olmalıdır.

Kentlerde bulunan açık ve yeşil alanlar kentlerin sürdürülebilirliği ve yaşam kalitesinin artırılmasında büyük bir rol üstlenmektedir. Yeşil alan sistemi içerisinde yer alan parklar kentsel yaşamın getirdiği birçok etkiyle doğadan uzaklaşmakta olan insanların tekrar doğaya yönelmelerine imkân sunan, peyzaj tasarım elemanları ile düzenlenmiş alanlardır (Nasuh, 1993). Bu alanlar, insanları fiziksel ve psikolojik yönden iyileştiren, toplumlar arasında bağı

güçlendiren, yaşamak ve çalışmak için kentleri çekici hale getiren mekânlardır (Sherer, 2003). Yerleşim yerlerinin farklı bölümlerinde ve çevresinde yapılmış olan parklar, halkın her yaş grubuna hitap ederek, aktif ve pasif karakterli rekreasyon ihtiyacına cevap veren sosyal yeşil alan niteliği taşımaktadır (Tanrıverdi, 1987). Çeşitli büyüklüklere sahip olan parklarda en önemli tasarım ögesi, parkların algılanabilir ve okunabilir nitelikte olmasıdır. Alanlar içerisinde halkın kullanımını teşvik edecek yapay ve doğal peyzaj elemanları bir arada kullanılmalıdır. Parklarda yer alacak etkinlik alanları bir birini tamamlayan ve gruplayan bir biçimde olmalı ve birbirlerinden belirli hatlar ile ayrılmalıdır (Aydemir, 2004). Ayrıca parklar, kentte görülen monoton ve katı silüeti yumuşatarak kente hareket katan kentsel tasarımın en önemli elemanıdır. Parklar; büyüklükleri ve etkili hizmet alanı, alan kullanımları, coğrafi özellikleri ve kullanıcı profilleri bakımından; milli parklar, bölge parkları, kent parkları, mahalle parkları, çocuk oyun alanları, spor alanları, hayvanat bahçeleri ve botanik parkları şeklinde sınıflara ayrılmaktadır (Gürsoy, 2018).

Sınıflandırmalarda yer alan ve en küçük yeşil alan birimi olan mahalle parkları kentlinin rekreasyonel faaliyetlerini gerçekleştirdikleri, kent dokusu içerisinde geçiş alanı niteliği taşımaktadır (Ersay, 1994).

Yıldızcı (1982), mahalle parklarını; alanı en az 8 da olan ve konutların 400-800 m yakınında, yoğun yerleşim grubuna hizmet eden yeşil alan birimi olarak tanımlamıştır. Mahalle parkları; konum ve topografik özellikleriyle sadece bir mahalleye değil, yakın çevredeki birçok mahalleye hizmet edebilecek büyüklükte ve 800-1200 m yaya ulaşım mesafesinde planlanmalıdır (Uzun, 1990). Yenice (2012)'ye göre ise ideal yürüyüş süresi ve kentsel yeşil alanların işlevleri-kullanıcı gruplarına dayalı olarak erişebilirlik mesafelerinin; çocuk oyun alanları için 400 metre, semt-mahalle parkı ve spor tesisi alanları için 800 metre olması gerekmektedir.

Simonds (1961), mahalle parkları için 1000 kişiye 1.2 ha alan ve mahalle kümesi parkları için 1000 kişiye 2 ha alan düşmesi gerektiğini belirtmiştir. Pamay (1978)'a göre, Türkiye koşulları için önerilen açık ve yeşil alan standartlarında ise mahalle parklarının kişi başı ortalama 2.5 m<sup>2</sup> olması gerekmektedir (Nasuh, 1993).

Bu çalışma ile Ordu kenti, Altınordu ilçesinde bulunan 78 adet parkın, nüfus-alan bağlamında

yeterlik ve erişilebilirliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, parkların büyüklükleri ile buldukları mahallelerin nüfusları oranlanmış, kişi başına düşen, olması gereken ve ihtiyaç duyulan park alanı gereksinimi tespit edilmiştir. Arcmap 10.0 programı aracılığıyla 1/1000 ölçekli uygulama imar planına noktasal konumları işlenmiş olan parklar için 400 m yarıçaplı noktasal etkili hizmet alanları oluşturularak erişilebilirlik olanakları haritalandırılmıştır. Bu çerçevede, parkların Altınordu ilçesine ne derece hizmet ettiği belirlenmiş ve yeşil alan ihtiyaçlarına göre önerilerde bulunulmuştur.

Mahalle parkları konutların 400-800 m yakınında yoğun yerleşim gruplarına hizmet eden kent dokusu içerisinde yer alan yeşil alanlardır (Yıldızcı, 1982). Mahalleler içinde bulunan çocuk oyun alanlarının konutlara uzaklığı 400-800 m ulaşım mesafesinde olmalıdır (Tanrıverdi, 1987). 15.000 kişi nüfusa sahip olan mahallelerde İmar planına göre bir ya da birden fazla mahalleye (10-15 bin kişi) hizmet veren, hizmet yarıçapının 800 ile 1000 m arasında olması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında incelenmiş olan mahalle parkları bulunduğu mahalle bazında incelendiğinden ve parkların çoğunda çocuk oyun alanı bulunduğundan parkların ulaşım mesafeleri 400 m yarıçaplı etkili hizmet alanı çerçevesinde incelenmiştir.

Çalışmanın materyalini Ordu Büyükşehir Belediyesi merkez ilçesi olan Altınordu Belediyesi merkez mahallelerinde bulunan toplamda 416575 m<sup>2</sup> alana sahip 78 adet mahalle parkı oluşturmaktadır (Şekil 1).

Bu parklar; kendine özgü sosyal ve mimari yapısı bulunan merkez mahalleleri içerisinde yer almaktadır. Mahalle sakinlerinin dinlenmesine, eğlenmesine, sosyalleşmesine ortam sağlayan mahalle parkları kentsel açık-yeşil alanların en küçük birimlerinden biridir. Mahallenin karakteristik özelliklerine göre düzenlenmiş olan bu parklar, dinlenme alanları, çocuk oyun alanları ve spor alanları ile her yaş grubuna hitap ederek insanların günlük rekreasyonel gereksinimlerini karşılayabilecekleri alan kullanımlarını içermektedir.



Şekil 1. Ordu kenti konumu, mahalle sınırları ve parkların konumları

## 2. Yöntem

Çalışmanın yöntemi, konu ile ilgili literatür taraması-veri toplama, saha çalışması, analiz-sentez ve öneriler olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Çalışma süreci içerisinde öncelikle konu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelenmiştir. İlk aşamada; park alanları için ideal alan büyüklüğü ve erişilebilirlik sınır değerlerini belirlemek için literatür taraması yapılmıştır.

İkinci aşamada; parkların alan büyüklükleri ile buldukları mahallelerin nüfusları oranlanmış, kişi başına ortalama 2.5 m<sup>2</sup> park alanı olması gerektiği standardı (Pamay, 1978; Nasuh, 1993) üzerinden kişi başına düşen, olması gereken ve ihtiyaç duyulan park alanı miktarları tespit edilmiştir.

Üçüncü aşamada; Ordu kent merkezinde bulunan parkların erişilebilirliklerini tespit etmek için 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı, CBS yazılımı Arcmap 10.0 programına aktarılmıştır. Ordu Büyükşehir Belediyesi ve Altınordu Belediyesinden alınan park konumlarına göre Uygulama İmar planı üzerinde parklar noktasal olarak belirlenmiş ve konumlar üzerine 400 m yarıçaplı etkili hizmet alanları oluşturulmuştur (Yıldızcı, 1982; Kandemir, 2010). Oluşturulan etki alanlarına göre parkların mahalle ölçeğinde erişilebilirlik durumu tespit edilmiş ve ilgili mevzuat erişme mesafeleri bağlamında değerlendirilmiştir. Bu yöntem kurgusu kapsamında Ordu kenti 1/1000 ölçekli harita kullanılarak mahalle üniteleri düzeyinde yapılan ölçümler ile elde edilen niceliksel veriler ile erişilebilirlik haritaları oluşturulmuştur.

Son aşamada ise; Ordu kent merkezinde bulunan park alanlarının mevcut durumları etki alanları ve erişim mesafeleri bağlamında değerlendirilerek, yeterlik ve eksikliklere yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

## 3. Bulgular

Altınordu ilçesi merkez mahallelerinde imar planı esas olmak üzere toplamda 416575 m<sup>2</sup> alana sahip 78 adet mahalle parkı bulunmaktadır. Parkların 8'i kullanıcılara sadece dinlenme imkanı sunarak pasif rekreasyon ihtiyacına cevap verecek özellikler taşımaktadır, 19'u dinlenme alanı ve çocuk oyun alanlarından oluşmaktadır, 27'sinde dinlenme alanı, çocuk oyun alanı ve fitness ekipmanları bulunmaktadır. 24 parkta ise dinlenme, oyun, spor, piknik vb. aktif rekreasyon

etkinliklerine tam anlamıyla hizmet sunan alan kullanımları yer almaktadır.

1/1000 ölçekli uygulama imar planına işlenmiş olan parkların noktasal konumları üzerine 400 m yarıçaplı noktasal etkili hizmet alanları oluşturulup alanların erişilebilirlikleri belirlenmiştir. Parklar buldukları mahalle özelinde incelendiğinde;

kıyı yerleşkesi olan Akyazı Mahallesi 1649.64 da yüzölçümü ile Altınordu ilçesinin %7.28'lik kısmını kapsamaktadır. 17430 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 10 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 110354 m<sup>2</sup> alana sahip 12 adet park bulunmaktadır (Şekil 2). Mahalle düzeyinde yapılan hesaplamada Akyazı mahallesinde kişi başına 6.33m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir (Tablo 2). Erişilebilirlik kapsamında parkların; Akyazı Mahallesi tamamen, Bahçelievler, Durugöl ve Karşıyaka Mahallelerine de kısmen hizmet ettiği görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 2. Akyazı mahallesi parkları genel görünümü

Eski yerleşim alanlarından biri olan Aziziye Mahallesi 92.19 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %0.40'lık kısmını kapsamaktadır. 930 kişi nüfusa sahip olan mahallenin nüfus yoğunluğu 10 kişi/km<sup>2</sup>'dir. 1979 yılında "Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Kurulu" tarafından bir kısmı kentsel sit alanı ilan edilmiş olan mahallede park bulunmamaktadır. Mahallede kişi başına 2.5m<sup>2</sup> park alanı standardının sağlanması için 2.325 m<sup>2</sup> park alanına ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 2).

Kıyı yerleşkesi olan Bahçelievler Mahallesi topografik olarak düz bir yapıya sahiptir. 572.28 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %2.52'lik kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 8419 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 14 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 81450m<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip 3 adet park bulunmakta (Şekil 3) olup kişi başına 9.67m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir (Tablo 2). Parklar erişilebilirlik kapsamında incelendiğinde; Bahçelievler Mahallesi'nin neredeyse tamamına ve sınır mahallesi olan Yeni Mahalle ile Şarkıye Mahallesi'ne de büyük oranda hizmet ettikleri belirlenmiştir (Şekil 10).

Bucak Mahallesi 979.48 da yüz ölçümü ile Altınordu İlçesinin %4.32'lik kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 16642 kişi olan mahallede km<sup>2</sup>'ye 16 kişi düşmektedir. Mahallede toplamda 5130m<sup>2</sup> alana sahip 7 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.33m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir (Tablo 2). Erişilebilirlik kapsamında parkların Bucak Mahallesi sakinleri açısından erişilebilir olduğu, Yeni, Şarkıye, Subaşı ve Selimiye Mahallelerine de kısmen hizmet ettiği ortaya çıkmıştır.

Üniversite ana yerleşkesinin de bulunduğu ve yerleşim bakımından gelişmekte olan Cumhuriyet Mahallesi 4051.33da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %17.8'lik kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 9379 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 2.31 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 13673m<sup>2</sup> yüz ölçüme sahip 5 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.68 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parkların alan ve fonksiyon açısından yetersiz olduğu ve mahalle sakinleri açısından tam anlamıyla erişilebilir olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 10).

Kıyı yerleşkesi olan Durugöl Mahallesi 1309.11da yüzölçümü ile Altınordu ilçesinin %5.78'lik kısmını kapsamaktadır. 8045 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 6.14 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 13395 m<sup>2</sup> alana sahip 4 adet park bulunmakta olup kişi başına 1.66 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parkların etkili

hizmet alanının Durugöl Mahallesi'ni tamamen, Akyazı ve Karapınar mahallelerini ise kısmen kapsadığı görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 3. Bahçelievler mahallesi parkları genel görünümü

Altınordu ilçesinin merkezi konumunda olan Düz Mahalle, 135.63 da yüz ölçümü ile ilçenin %0.59'luk kısmını kapsamaktadır. 1762 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 12 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 22860 m<sup>2</sup> alana sahip 4 park bulunmaktadır (Şekil 4). Kişi başına 12.90m<sup>2</sup> park alanı düşen mahalledeki parklar, erişilebilirlik kapsamında incelendiğinde; Düz mahalle açısından tam anlamıyla, sınır mahalleleri olan Zaferimilli, Aziziye, Şarkıye, Saray ve Selimiye mahallelerine ise kısmen erişilebilir olduğu belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 4. Düz mahalle parkları genel görünümü

Topografik olarak eğimli bir yapıya sahip olan Güzelyalı Mahallesi 389.66 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %1.72'lik kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 2286 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 5.8 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede 2.000 m<sup>2</sup> alana sahip 1 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.87 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parkın, bulunduğu mahalle açısından yetersiz kaldığı ve erişilebilir olmadığı tespit edilmiştir.

Sanayi bölgesi olan Karapınar Mahallesi 2055.88 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %9.07'lik kısmını kapsamaktadır. 3355 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 1.63 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 8600 m<sup>2</sup> alana sahip 3 adet park (Şekil 5) bulunmakta olup kişi başına 2.56m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parkların Karapınar mahallesine büyük oranda, sınır mahalleleri olan Durugöl ve Karşıyaka Mahallelerine ise kısmen hizmet ettikleri görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 5. Karapınar mahallesi parkları genel görünümü

Yerleşim bakımından gelişmekte olan Karşıyaka Mahallesi 2282.26 da alanı ile Altınordu ilçesinin %10'luk kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 16195 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 7 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 12150 m<sup>2</sup> alana sahip 5 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.72 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parkların, buldukları mahalleye büyük oranda, Şirinevler Mahallesi'ne ise kısmen hizmet ettiği görülmüştür (Şekil 10).

Eski yerleşim alanlarından olan Kirazlımanı Mahallesi 396.40 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %1.75'lik kısmını kapsamaktadır. 1039 kişi nüfusa olan mahallede nüfus yoğunluğu 2.6 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede 600 m<sup>2</sup> alana sahip 1 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.57 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir (Şekil 10).

Deniz kıyısı yerleşkesi olan Kumbaşı Mahallesi 1374.91 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin

%6.07'lik kısmını kapsamaktadır. 1705 kişi nüfusa olan mahallede nüfus yoğunluğu 1.24 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 5984 m<sup>2</sup> alana sahip 3 adet park bulunmaktadır (Şekil 6). Kişi başına 3.50 m<sup>2</sup> park alanı düşen mahallede, parkların mahalle sakinleri açısından erişilebilirlik sınırları içerisinde oldukları belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 6. Kumbaşı mahallesi parkları genel görünümü

Eski yerleşim alanlarından olan Nizamettin Mahallesi 192.90 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %0.63'lük kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 4523 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 23 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede 1000 m<sup>2</sup> alana sahip 1 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.22 m<sup>2</sup>

park alanı düşmektedir. Erişilebilirlik kapsamında parkın bulunduğu mahalleye büyük oranda ve Selimiye Mahallesi'ne de kısmen hizmet ettiği görülmüştür (Şekil 10).

101.65 da yüz ölçümüne sahip olan kent merkezi niteliğindeki Saray Mahallesi, Altınordu ilçesinin %0.33'lük kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 1282 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 12 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahalle toplamda 4750m<sup>2</sup> alana sahip 2 adet park bulunmaktadır. (Şekil 7). Kişi başına 3.70 m<sup>2</sup> park alanı düşen mahallede parkların; Saray, Aziziye ve Düz Mahalleye tamamen, Şarkıye Mahallesi'ne büyük oranda ve Selimiye Mahallesi'ne ise kısmen hizmet ettikleri görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 7. Saray mahallesi parkları genel görünümü



Selimiye Mahallesi 550.41 da yüz ölçümü ile Altınordu İlçesinin %2.43'lük kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 9482 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 17 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 9800m<sup>2</sup> alana sahip 4 adet park bulunmakta olup kişi başına 1.03 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parklar erişilebilirlik bakımından incelendiğinde; Selimiye Mahallesi tamamen, Düz, Şarkıye ve Saray Mahallelerine büyük oranda, Nizamettin ve Düz Mahallelerine ise kısmen hizmet ettiği görülmüştür.

Subaşı Mahallesi 264.96 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %1.17'lik kısmını kapsamaktadır. 8532 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 32 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplam 2900 m<sup>2</sup> alana sahip 2 adet park bulunmaktadır. Kişi başına 0.33 m<sup>2</sup> park alanı düşen mahallede parklar, Subaşı Mahallesi tamamen, Bucak, Şahincili ve Yeni Mahalleye ise kısmen hizmet edebilmektedir (Şekil 10).

Gelişmekte olan yerleşim alanlarına sahip Şahincili Mahallesi 2054.29 da yüz ölçümü ile Altınordu İlçesinin %9.07'lik kısmını kapsamaktadır. 24426 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 11 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 24260 m<sup>2</sup> alana sahip 8 adet park bulunmakta olup kişi başına 1.00 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parklar etkili hizmet alanı bakımından incelendiğinde Şahincili ve Subaşı Mahallelerini büyük oranda kapsamakta, Şirinevler Mahallesi ise kısmen bu alan içerisine girebilmektedir.

Kent merkezi konumundaki Şarkıye Mahallesi 787 da yüz ölçümü ile Altınordu'nun %3.47'lik kısmını kaplamaktadır. Nüfusu 3781 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 4.8 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede 53000 m<sup>2</sup> alana sahip 1 adet park bulunmaktadır (Şekil 8). Kişi başı 14.0 m<sup>2</sup> park alanı düşen mahallede kıyı parkı niteliğindeki bu park, konumu itibarıyla çekim merkezi haline gelmiştir. Dolayısıyla kentin geneline hizmet ettiğini söylemek mümkündür.

Yerleşim bakımından gelişmekte olan Şirinevler Mahallesi 1306.22 da yüz ölçümü ile Altınordu'nun %5.76'lık kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 15567 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 11 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede toplamda 24306 m<sup>2</sup> alana sahip 9 adet park bulunmakta olup kişi başına 1.56 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Parklar erişilebilirlik kapsamında incelendiğinde; Şirinevler Mahallesi tam anlamıyla, Yeni, Karşıyaka, Akyazı ve Şahincili Mahallelerine ise kısmen hizmet ettiği görülmüştür (Şekil 10).

Deniz kıyısı yerleşkesi olan Taşbaşı Mahallesi genel olarak eğimli bir yapıya sahiptir. 193.16 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %0.85'lik kısmını kapsamaktadır. 1368 kişi nüfusa sahip olan mahallede nüfus yoğunluğu 7 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahalle 1979 yılında "Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Kurulu" tarafından bir kısmı kentsel sit alanı ilan edilmiştir. Mahallede toplamda 19.763 m<sup>2</sup> alana sahip 2 park alanı bulunmakta (Şekil 9) olup kişi başı 14.4 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir (Tablo 2). Erişilebilirlik anlamında Taşbaşı Mahallesi tamamen, sınır mahalleleri olan Kirazlımanı ve Zaferimilli Mahallelerine ise kısmen hizmet ettikleri tespit edilmiştir.



Şekil 8. Şarkıye mahallesi kıyı parkları

Kentin merkezi niteliğinde olan Yeni Mahalle 551.77 da yüz ölçümü ile Altınordu ilçesinin %2.43'lük alanını kaplamaktadır. Nüfusu 15444 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 27 kişi/km<sup>2</sup>'dir. Mahallede 600 m<sup>2</sup>'lik 1 adet park bulunmakta olup kişi başına 0.03 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir.



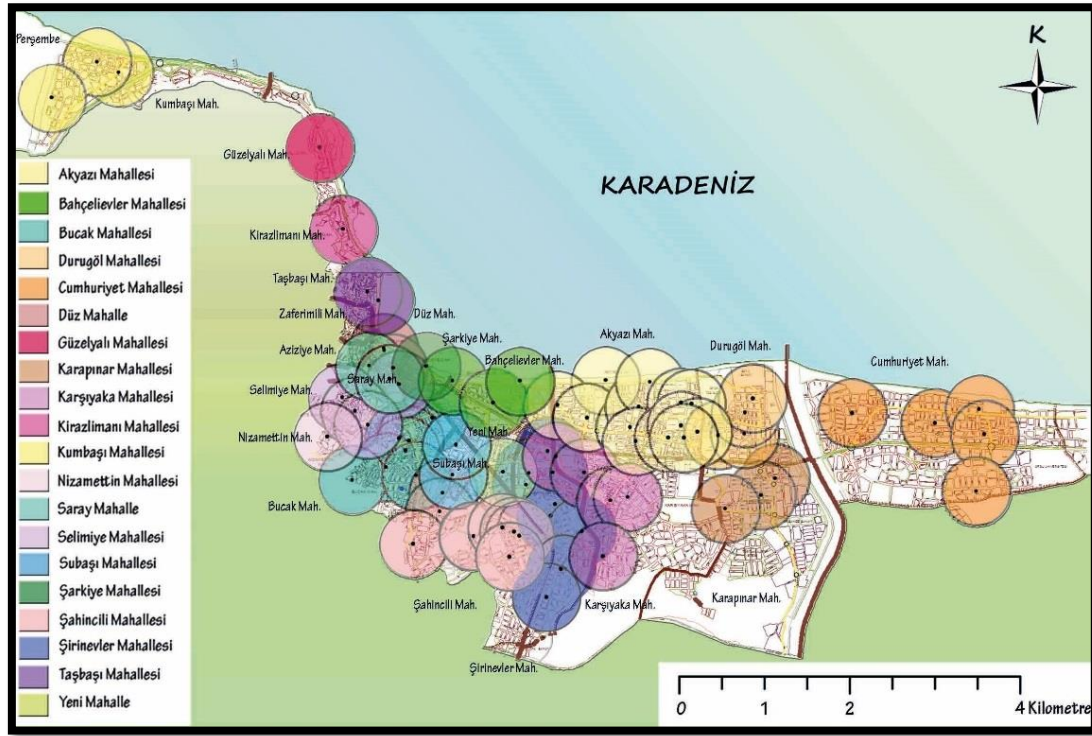
Şekil 9. Taşbaşı Mahallesi parkları genel görünümü

1979 yılında “Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Kurulu” tarafından bir kısmı kentsel sit alanı ilan edilmiş eski yerleşim alanlarından biri olan Zaferimilli Mahallesi, 160.11 da yüz ölçümüne sahip olan Altınordu ilçesinin %0.70’lik kısmını kapsamaktadır. Nüfusu 1285 kişi olan mahallede nüfus yoğunluğu 8 kişi/km<sup>2</sup>’dir ve mahallede park bulunmamaktadır. Mahallede kişi başına 2.5 m<sup>2</sup> park alanı standardının sağlanması için 3212 m<sup>2</sup>’lik park alanı oluşturulması gerekmektedir.

40 mahalleden oluşan Altınordu’da, ilçe merkezini oluşturan 22 mahallenin toplam nüfusu 172878 kişidir ve kişi başına 2.40 m<sup>2</sup> park alanı düşmektedir. Pamay (1978)’a göre kişi başına düşmesi gereken ortalama 2.50 m<sup>2</sup> park alanı standardının altında kalan ilçede, standarda ulaşılması için toplamda 15620 m<sup>2</sup>’lik park alanına daha ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Altınordu ilçesi parkları ve yeterlikleri analizi

Nitelik	Mahalle Adı	Nüfus (Kişi)	Park Sayısı	Alan (m <sup>2</sup> )	Kişi Başına Düşen Miktar	Olması Gereken Alan (m <sup>2</sup> )	İhtiyaç Duyulan Alan (m <sup>2</sup> )
Eski Yerleşim Alanları	Aziziye	930	-	-	-	2325	<b>2325</b>
	Bucak	16642	7	5130	0.30	41605	<b>36475</b>
	Güzelyalı	2286	1	2000	0.87	5715	<b>3715</b>
	Kirazlımanı	1039	1	600	0.57	2597	<b>1997</b>
	Nizamettin	4523	1	1000	0.22	11307	<b>10307</b>
	Selimiye	9483	4	9800	1.03	23707	<b>13907</b>
	Subaşı	8532	2	2900	0.33	21330	<b>18430</b>
	Zaferimilli	1285	-	-	-	3212	<b>3212</b>
	Yeni	15444	1	600	0.03	38610	<b>38010</b>
Kent Merkezi	Düz	1762	4	22860	12.90	-	-
	Saray	1282	2	4750	3.70	-	-
	Şarkiye	3781	1	53000	14.00	-	-
Kıyı Yerleşkesi	Akyazı	17430	12	110354	6.33	-	-
	Bahçelievler	8419	3	81450	9.67	-	-
	Durugöl	8045	4	13395	1.66	20112	<b>6717</b>
	Kumbaşı	1705	3	5984	3.50	-	-
	Taşbaşı	1368	2	19763	14.40	-	-
Sanayi Bölgesi	Karapınar	3355	3	8600	2.56	-	-
Gelişmekte olan alanlar	Cumhuriyet	9379	5	13673	0.68	23447	<b>9774</b>
	Karşıyaka	16195	5	12150	0.75	40487	<b>28337</b>
	Şahincili	24426	8	24260	1.13	61065	<b>33305</b>
	Şirinevler	15567	9	24306	1.56	38917	<b>14611</b>
<b>Toplam</b>		<b>172878</b>	<b>78</b>	<b>416575</b>	<b>2.40</b>	<b>432195</b>	<b>15620</b>



Şekil 10. Ordu kenti Altınordu ilçesi parklarının erişilebilirlik analizi

#### 4. Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Ordu kenti Altınordu ilçesinde bulunan parkların, alansal yeterlilikleri ve erişilebilirlikleri incelenmiştir. İncelenen mahallelerin nüfusları ve park alanlarının yeterliliklerine bakıldığında 8 mahalle standartların üstünde, 12 mahalle standartların altında kalmaktadır.

Mahalleler mekansal karakterlerine göre değerlendirildiğinde; Altınordu ilçesinin ilk kuruluş yerleşimleri olan mahallelerde (Aziziye, Bucak, Güzelyalı, Kirazlımanı, Nizamettin, Selimiye, Subaşı, Zaferimilli) parkların nüfusa oranla yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bucak ve Selimiye mahallelerinde bulunan parklar her ne kadar erişilebilir konumda olsalar da parklar alansal büyüklüğü ile sırasıyla 32 kişi/km<sup>2</sup> ve 17 kişi/km<sup>2</sup> olan nüfus yoğunluğuna göre yeterli gösterememektedir. Güzelyalı ve Kirazlımanı mahallelerinde nüfus yoğunluğu her ne kadar az olsa da mahallelerin topoğrafik koşulları, mevcut bulunan fındık bahçeleri ve kuzey yönünden geçen E 70 karayoluna yakın olması mahalleleri sınırlandırmış ve gelişmelerine engel olmuştur. Bundan dolayı parklar mahalle nüfusuna oranla yetersiz kalmıştır.

Kent merkezi (Düz, Saray, Şarkıye) ve kıyı yerleşkesi olan mahallelerde (Akyazı, Bahçelievler, Kumbaşı, Taşbaşı), halkın sosyo-

ekonomik yapısı, kıyı alanlarının çekiciliği ve mahallelerin topografik olarak düz bir yapıya sahip olmalarından dolayı bu mahallelerde parklar standartların üzerinde bir değere sahiptir. Aynı zamanda Akyazı ve Bahçelievler mahalleleri mekansal karakteri bakımından değerlendirildiğinde erişilebilir, yaşayanları açısından ihtiyaç duyulan hizmetlerin kaliteli olarak sunulduğu güvenli ve yaşayanları açısından aidiyet duygusu gelişmiş olmakla birlikte bu mahallelerde yaşayanlar genel olarak yüksek gelir grubuna sahiptirler.

Sanayi bölgesi olan Karapınar mahallesindeki parklar, alanın ticaret bölgesi olması ve nüfus yoğunluğunun az olmasından (1.63 kişi/km<sup>2</sup>) dolayı mevcut nüfusa oranla yeterli göstermektedir. Karapınar mahallesinde bulunan 3 adet park, mahallede bulunan yerleşim bölgeleri için ulaşılabilir özelliktedir. Park olmayan alanlar sanayi bölgesi olduğundan ve mahallede kişi başına 2.56 m<sup>2</sup> park alanı düştüğünden mevcut parkların yeterli olduğu görülmüştür.

Henüz yapısal ve nüfus yoğunluğu bakımından gelişimini tamamlamamış olan mahallelerde (Cumhuriyet, Karşıyaka, Şahincili, Şirinevler) bulunan parkların mevcut nüfusun ihtiyacını karşılayacak nitelikte olmadığı görülmüştür.

Cumhuriyet mahallesinde yerleşim yoğun olarak kıyı bölümünde ve mahalleyi ikiye bölen E70

karayolunun güney yönündedir. Kişi başına düşen park alanı standartlarına ulaşmak adına toplamda 9774 m<sup>2</sup> olacak şekilde park alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Yerleşim bakımından henüz gelişmekte olan bu mahalle nüfus yoğunluğu (2.31 kişi/km<sup>2</sup>) bakımından her ne kadar az olsa da mevcutta bulunan park alanları nüfusa göre yeterlik göstermemekle birlikte, homojen dağılmadıklarından erişilebilir olmadıkları belirlenmiştir.

Şahincili, Şirinevler ve Bucak mahallelerinde park sayısı her ne kadar fazla olsa da parklar alansal olarak mahalle nüfusuna oranla yeterlik gösterememektedir. Standartlara ulaşılması adına mahallede bulunan kamusal alanların kullanıcı ihtiyaçlarına göre değerlendirilmesi ve bu alanlarda yapılacak olan düzenlemelerin hem yeşil alan miktarına katkı sağlayacak hem de mahalle sakinlerinin yararına olacak şekilde artırılması gerekmektedir.

Karşıyaka mahallesindeki parkların bir aks üzerinde sıralandığı ve mahallede homojen olarak dağılmadığı görülmektedir. Kişi başına düşen park alanı miktarının standartların çok altında kaldığı ve mevcut parkların mahallenin tamamı açısından etkili hizmet alanı içinde olmamasından dolayı mahallede park sayısının 4 adet (her bir park yaklaşık 7.000 m<sup>2</sup> olacak şekilde) artırılması homojen bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

Ordu kenti için önemli bir kalite göstergesi olan parklar, nüfus oranına göre alansal yeterlikleri standartların altında kalmış olsa da Altınordu ilçesine büyük oranda hizmet ettikleri tespit edilmiştir. Alansal olarak standartlara ulaşılması adına farklı işlevsel yapıya sahip kentsel yeşil alan kullanımlarının mekânsal yeterlik ve erişilebilirlik açısından kent bütününde dengeli dağılımının sağlanması ve kent halkının yararlanmasına imkan sunacak rekreasyon alanlarını içerecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak; parkların planlama ve tasarım aşamalarında mahallelerin tarihsel gelişimleri ve kültürel özellikleri dikkate alınmalıdır. Alanın doğal özellikleri, arazi formu, nüfus yoğunluğu tespit edilmeli, parkların alan büyüklükleri ve formu bu özelliklere göre şekillendirilmelidir. Tüm mahalle halkına hitap edecek büyüklüğe sahip olan parklar mahalle içerisinde homojen olarak dağıtılmalı ve aynı zamanda erişilebilir olmalıdır. Mahalle nüfuslarının yaş grup dağılımları, sosyo-kültürel özellikleri araştırılmalı ve parkları işlevsel hale getiren donatı elemanları,

yeşil alanlar ve çocuk oyun alanları ihtiyaca yönelik biçimlendirilmelidir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, “Ordu Kenti Parklarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

### Kaynaklar

- Aksoy, Y., 2014. Türkiye’de Yeşil Alanlarla İlgili Yasal Düzenlemeler. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(26), 1-20.
- Anonim, 2012. Ordu İli Doğa Master Planı 2013-2023. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü. XI. Bölge Müdürlüğü Ordu Şube Müdürlüğü. Ordu.
- Anonim, 2018. <https://www.nufusu.com/il/ordu-nufusu> (Erişim Tarihi: 14.11.2018).
- Atabeyoğlu, Ö. ve Bulut, Y., 2012. Ordu Kenti Mevcut Yeşil Alanlarının Değerlendirilmesi. Akademik Ziraat Dergisi 1(2), 67-76
- Aydemir, S.E., 2004. Kentsel Açık ve Yeşil Alanlar “Rekreasyon”: Kentsel Alanların Planlanması ve Tasarımı. Akademi Yayın Evi, Ders Notları, Trabzon, 285-335.
- Ersoy, M., 1994. Kentsel Alan Kullanım Normları. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Basım İşbirliği, No: 92.02, Ankara, 301s.
- Ersoy, M., 2015. Kentsel Planlamada Standartlar. Ninova Yayıncılık, 1. Basım, 335, İstanbul.
- Francis, M., 2003. Urban Open Space, Desinging For User Needs, [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=r4vm8owZFbgC&oi=fnd&pg=PP11&dq=urban+open+space&ots=cyrVPZqJM&sig=UI75g uQx5qqIPLzZzHD8NqZ\\_Q&redir\\_esc=y#v=onepage&q=urban%20open%20space&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=r4vm8owZFbgC&oi=fnd&pg=PP11&dq=urban+open+space&ots=cyrVPZqJM&sig=UI75g uQx5qqIPLzZzHD8NqZ_Q&redir_esc=y#v=onepage&q=urban%20open%20space&f=false) (Erişim Tarihi: 07.11.2018).
- Gül, A. ve Küçük, V., 2001. Kentsel Açık-Yeşil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, (2), 27-48.
- Gürsoy, B.D., 2018. Küçük Ölçekli Parkların Etki Alanlarına Kattığı Değerlerin ve Kullanım Potansiyellerinin İrdelenmesi İstanbul İli Beşiktaş İlçesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul.

- Kandemir, R.V., 2010. Kamusal Alan İçerisinde Mahalle Parkları ve Bir Mahalle Parkı Tasarım Rehberi Düşüncesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kart, N., 2002. Emirgan Parkında Kullanıcıların Memnuniyet Derecelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Mansuroğlu, S., 2002. Akdeniz Üniversitesi Öğrencilerinin Serbest Zaman Özellikleri ve Dış Mekan Rekreasyon Eğilimlerinin Belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 15(2), 53-62.
- Nasuh, D., 1993. Kent Parklarının Nitelikleri ve Ankara Örneğinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- Pamay, B., 1978. Kentsel Peyzaj Planlaması, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Sherer, P.M., 2003. Why America Needs More City Parks and Open Space. The Trust for Public Land, 1-31.
- Simonds, J.O., 1961. Landscape Architecture: The Shaping of Man's Natural Environment. F.W. Dodge, New York, NY, 244 pp.
- Tanrıverdi, F., 1987. Peyzaj Mimarlığı Bahçe Sanatının Temel İlkeleri ve Uygulama Metotları. Atatürk Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Ders Kitabı, No: 49, Erzurum.
- Thompson, C.W., 2002. Urban Open-Space in The 21st Century. Landscape and Urban Planning 60, 59-72.
- Uzun, G., 1990. Kentsel Rekreasyon Alanlarının Planlanması. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, No: 48. Adana.
- Yenice, M.S., 2012. Kentsel Yeşil Alanlar İçin Mekânsal Yeterlilik ve Erişebilirlik Analizi; Burdur örneği, Türkiye. Türkiye Ormancılık Dergisi, 13(1), 41-47.
- Yeşil, M. ve Yüksel, M., 2016. Ordu Kenti Örneğinde Kentlilik Bilinci. PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, 11, 43-65.
- Yıldızcı, A.C., 1982. Kentsel Yeşil Alan Planlaması ve İstanbul Örneği. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi. Basılmamış Doçentlik Tezi, İstanbul.

## HeLa ve Beas-2B Hücre Hatlarına Karşı Benzimidazolyum Tuzlarının İn Vitro Sitotoksik Aktivite Çalışmaları

### *In Vitro Cytotoxic Activity Studies of Benzimidazolium Salts against HeLa and Beas-2B Cell Lines*

Senem AKKOÇ\*

*Eczacılık Fakültesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*

• Geliş tarihi / Received: 31.08.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.03.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 07.03.2020

#### Öz

1H-benzo[d]imidazol çekirdeği içeren altı farklı heterosiklik bileşik (S1-S6) iki basamakta hazırlandı ve yapıları farklı spektroskopik yöntemler kullanılarak karakterize edildi. Sentezlenen heterosiklik bileşikler insan serviks adenokarsinom (HeLa) ve insan sağlıklı akciğer (Beas-2B) hücre hatlarına karşı test edildi. Pozitif kontrol ilaç olarak cisplatin aynı şartlar altında serviks hücre hattına karşı denendi. Bileşik S4'ün HeLa hücre hattına karşı yüksek sitotoksik aktivite gösterdiği (IC50:  $3.72 \pm 0.14 \mu\text{M}$ ) bulundu. Çalışmanın son basamağında, ilaç adayları ile etkileştirilen hücrelerin renkli görüntüleri konfokal mikroskobu kullanılarak alındı.

**Anahtar kelimeler:** Benzimidazol, Heterosiklik Bileşik, Konfokal, Sitotoksik Aktivite.

#### Abstract

Six different heterocyclic compounds containing 1H-benzo[d]imidazole nuclei (S1-S6) were prepared in two steps and their structures were characterized using different spectroscopic methods. The synthesized heterocyclic compounds were tested against human cervix adenocarcinoma (HeLa) and human healthy lung (Beas-2B) cell lines. Cisplatin as a positive control drug was tested against the cervix cell line under the same conditions. Compound S4 was found to exhibit high cytotoxic activity against HeLa cell line (IC50:  $3.72 \pm 0.14 \mu\text{M}$ ). In the last step of the study, color images of the cells interacted with the drug candidates were taken using confocal microscope.

**Keywords:** Benzimidazole, Heterocyclic Compound, Confocal, Cytotoxic Activity.

\* Senem AKKOÇ; senemakkoc@sdu.edu.tr, senemakkoc44@gmail.com, Tel: +90 246 211 03 38, orcid.org/0000-0002-1260-9425

## 1. Giriş

İnsanların yaşam kalitesini etkileyen ve ölümlerin başta gelen nedenleri arasında yer alan kanser, her yıl dünyada milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün araştırmasına göre, dünyada her beş erkekten biri ve her altı kadından biri kansere yakalanmakta ve sekiz erkekten biri ve on bir kadından biri de kanser nedeni ile yaşamını yitirmektedir (World Health Organization, 2018).

Günümüzde organik bileşikler ve doğal ürünleri içeren birçok kemoterapi ilacı bulunmaktadır. Kemoterapi tedavisinde özellikle cisplatin (Rosenberg vd., 1969), karboplatin (Busschots vd., 2015), oksaliplatin (To vd., 2016) ve satraplatin (Wheate vd., 2010) gibi farklı platin bazlı ilaçlar kullanılmaktadır. Yumurtalık, testis, göğüs kanseri ve melanoma gibi tümörlerin farklı tiplerinin tedavileri metal bazlı antikanser ajanlar arasında önemli bir yere sahip olan bu platinyum temelli aktif ilaçlar kullanılarak yapılmaktadır. Öte yandan, platin içeren bu ilaçların sadece belli tümörlerin tedavisinde kullanılabilmesi ve miyelosupresyon (kemik iliği aktivitesinde azalma), ototoksisite (iştih kaybı), nörotoksisite (sinir sistemi hasarı) ve nefrotoksisite (böbrek fonksiyonlarının azalması ve hasar) gibi birçok yan etkisinin olması (Yang vd., 2019) ve kemoterapötik kanser ajanlarına karşı ilaç direncinin artarak büyümesi ciddi bir tıbbi problem yaratmaktadır. Bu nedenle, kanser tedavisi için yeni, etkin ve güvenli kemoterapötik ilaç adaylarının geliştirilmesine büyük bir ihtiyaç vardır.

Benzimidazol halkası, farklı terapötik alanlarda kullanılan birçok önemli ilacın (antihistaminikler, antihelmintikler, proton pompa inhibitörleri ve anjiyotensin reseptör antagonisti) elde edildiği bir tür ayrıcalıklı iskelet yapısına sahiptir (Bansal ve Silakari, 2012). Benzimidazol temelli heterosiklik bileşiklerin antibakteriyal (Gök vd., 2013; Gök vd., 2015), antiviral (Tonelli vd., 2014; Cheng vd., 2005), antiparazit (Rojas-Aguirre vd., 2012; Farahat vd., 2018), antikanser (Aslan vd., 2020; Akkoç, 2019a; Akkoç, 2019b; Akkoç vd., 2019; Akkoç vd., 2017; Akkoç vd., 2016), antienflamatuar (Sharma vd., 2017), antioksidan (Abdelgawad vd., 2019), antiaglikasyon (Taha vd., 2018), antidiyabetik (Shingalapur vd., 2010) ve glukozidaz inhibitörleri (Özil vd., 2018) gibi farklı biyolojik aktivite özelliklerinden dolayı kimyada oldukça önemli bir yeri vardır. Benzimidazol çekirdeği üzerindeki çeşitli süstitüentler ile bu geniş biyolojik aktivite yelpazesi sağlanabilmektedir.

Ticari olarak satılan ve benzimidazol çekirdeği içeren çok sayıda ilaç örneği vardır. Örneğin; Bendamustin, kronik lenfositik lösemi, multipl miyelom ve Hodgkin olmayan lenfoma tedavisinde kullanılan bir kemoterapi ilacıdır. Karbendazim, yaygın olarak kullanılan, geniş spektrumlu bir benzimidazol fungusit ve bir benomil metabolitidir. Fenbendazole, gastrointestinal parazitlere karşı kullanılan antelmintik bir ilaçtır. Kandesartan, yüksek tansiyon ve konjestif kalp yetmezliği tedavisinde kullanılan bir anjiyotensin reseptör blokeridir. Telmisartan, hipertansiyon, kalp yetmezliği ve diyabetik böbrek hastalığını tedavi etmek için kullanılan bir ilaçtır. Maribavir, hematopoetik kök hücre / kemik iliği nakil hastalarında insan sitomegalo virüs hastalığının önlenmesi ve tedavisi için kullanılan bir antiviral ilaçtır.

Benzimidazol türevlerinin bu kadar geniş biyolojik aktivite özelliklerinden dolayı bu çalışmada, ilk olarak benzimidazolden yola çıkarak farklı N-alkilbenzimidazol türevleri sentezlendi. İkinci basamakta, sentezlenen N-alkilbenzimidazol türevleri ile farklı aril halojenürler etkileştirilerek benzimidazolyum tuzları hazırlandı ve yapıları spektroskopik yöntemler ile aydınlatıldı. Son olarak, bu bileşiklerin normal ve kanserli hücre hatlarındaki sitotoksik aktiviteleri test edilerek birbiri ile karşılaştırıldı. İlaç adayları ile muamele edilen hücrelerin renkli görüntüleri konfokal mikroskobu ile alınarak hücrelerin canlılık oranları tespit edildi.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Kullanılan Reaktif ve Çözgenler

Gerekli reaktiflerin bazıları yapılan çalışmada sentezlenirken bazıları da ticari olarak satın alındı. 3-Metilbenzil bromür, 4-metilbenzil bromür, 2-(bromometil) benzonitril, 4-vinilbenzil klorür, 9-(klorometil)antrasen, N-(4-bromobütil)fütalimit, N-(2-kloroetil)piperidin hidroklorür, N,N-dimetilformamit (DMF), potasyum hidroksit (KOH), etil alkol ve dietil eter gibi reaktif ve çözgenler analitik saflıkta olup Merck (Darmstadt, Almanya), Sigma-Aldrich (Interlab A.S., ABD), Alfa-Aesar (Massachusetts, ABD) veya Scharlau (Barselona, İspanya) firmalarından satın alındı.

Serviks kanser hücre hattı (HeLa) ile insan sağlıklı akciğer hücre hattı (Beas-2B) ATCC'den satın alındı. DMEM, FBS, glutamax, PBS ve trypsin-EDTA Gibco firmasından satın alındı. Cis-diaminplatinyum (II) diklorür ve 3-(4,5-dimetiltiyazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolyum

bromür (MTT) Sigma-Aldrich firmasından tedarik edildi. Hoechst 33258, pentahidrat (bis-benzimid) ve propidyum iyodür (PI) boya ları ThermoFisher Scientific firmasından satın alındı. Doku kültürü flaskları ve 96 kuyucuklu plakalar Jet Biofil firmasından satın alındı.

## 2.2. Benzimidazolium Tuzlarının Sentezi

S1-S3, S5, S6 bileşikleri (Akkoç vd., 2019) ile S4 (Akkoç, 2019a) bileşiği literatüre göre hazırlandı. Benzimidazol (1 mmol) ve potasyum hidroksit (1 mmol) etil alkol (40 mL) içerisinde çözüldü. Tepkime karışımı bir saat oda sıcaklığında

karıştırıldıktan sonra reaksiyon ortamına aril/alkil halojenür (1 mmol) yavaş yavaş ilave edildi ve 6 saat refluks edildi. Daha sonra reaksiyon karışımı oda sıcaklığına soğutularak oluşan potasyum klorür tuzu süzülerek ortamdan uzaklaştırıldı. Başlangıç maddesi kristallendirilerek saflaştırıldı. Elde edilen N-aril/alkil benzimidazol (1 mmol) ile aril halojenür (1 mmol) DMF de çözüldü ve tepkimenin gerçekleşmesi için reaksiyon 24 saat 80 °C'de karıştırılarak devam ettirildi. Tepkime tamamlandıktan sonra ortamdaki DMF vakum uygulanarak uzaklaştırıldı. Kristallendirilerek saflaştırılan bileşiklerin spektroskopik karakterizasyon sonuçları aşağıdaki gibidir.

### 1-[4-(1,3-Dioksoizindolin-2-il)butil]-3-(4-metilbenzil)benzimidazolium bromür, S1

Verim: %33, e.n.: 263-266 °C, renk: beyaz. IR: 1544.9, 1737.7 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 1.88, 2.16-2.40, 2.89, 5.83, 6.01, 7.14-7.86, 11.56. <sup>13</sup>C NMR (100.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 21.19, 21.20, 21.25, 34.56, 51.52, 51.55, 113.81, 127.08, 128.29, 129.50, 130.07, 131.25, 131.41, 131.97, 132.18, 134.19, 139.32, 142.77, 167.70.

### 1-(2-Siyanobenzil)-3-[4-(1,3-dioksoizindolin-2-il)butil]benzimidazolium bromür, S2

Verim: %58, e.n.: 186-189 °C, renk: beyaz. IR: 1562.9, 1704.4, 2943.9 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 1.89, 2.16, 3.80, 4.78, 6.17, 7.31-8.18, 11.56. <sup>13</sup>C NMR (100.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 25.57, 26.63, 36.62, 47.22, 48.92, 112.03, 113.18, 113.59, 117.26, 123.36, 123.38, 127.27, 127.56, 127.72, 130.09, 131.04, 131.29, 131.91, 133.34, 134.11, 134.15, 134.59, 135.77, 143.44, 168.43.

### 1-[4-(1,3-Dioksoizindolin-2-il)butil]-3-(4-vinilbenzil)benzimidazolium bromür, S3

Verim: %60, e.n.: 110-112 °C, renk: krem. IR: 1557.6, 1699.3, 2931.3, 3069.8 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 1.87, 2.13, 3.78, 4.75, 5.28, 5.75, 5.88, 6.66, 7.38-7.83, 11.55. <sup>13</sup>C NMR (100.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 25.57, 26.62, 36.69, 46.93, 51.27, 113.13, 113.86, 115.24, 123.36, 127.10, 127.23, 128.66, 131.13, 131.44, 132.89, 131.93, 134.14, 135.82, 138.48, 142.99, 168.43.

### 1-(3-Metilbenzil)-3-(2-(piperidin-1-il)etil)benzimidazolium klorür, S4

Verim: %85, e.n.: 154-155 °C, renk: kahve rengi. IR: 1558.4 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 1.17-1.67, 2.34, 2.67, 3.48, 4.91, 5.78, 7.15-7.96, 11.40. <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 15.28, 21.35, 23.50, 25.29, 44.30, 51.62, 56.10, 113.48, 113.77, 125.21, 127.02, 127.08, 128.76, 129.25, 130.06, 131.00, 131.62, 132.62, 139.36, 143.97.

### 1-[4-(1,3-Dioksoizindolin-2-il)butil]-3-(3-metilbenzil)benzimidazolium bromür, S5

Verim: %78, e.n.: 219-221 °C, renk: beyaz. IR: 1557.7, 1699.5, 2955.1 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 1.90, 2.14, 2.34, 3.79, 4.77, 5.82, 7.15-7.83, 11.54. <sup>13</sup>C NMR (100.13 MHz, CDCl<sub>3</sub>), δ: 21.36, 25.59, 26.65, 36.69, 46.95, 51.60, 113.12, 113.85, 123.36, 125.35, 127.22, 128.93, 129.26, 130.10, 131.22, 131.46, 131.91, 132.41, 134.13, 139.39, 143.01, 168.43.

### 1-(Antrasen-10-ilmetil)-3-(2-siyanobenzil)benzimidazolium klorür, S6

Verim: %35, e.n.: 227-228 °C, renk: sarı. IR: 1553.9, 2216.5, 2940.2, 3133.9 cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H NMR (400.13 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>, 298 K), δ: 5.86, 6.79, 7.07-8.92, 9.17. <sup>13</sup>C NMR (100.13 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>, 298 K), δ: 48.67, 56.47, 110.67, 114.17, 115.06, 117.17, 122.19, 123.94, 126.13, 127.49, 127.81, 127.97, 128.33, 129.62, 129.90, 131.01, 131.50, 131.61, 131.89, 132.32, 134.07, 134.25, 137.97, 142.93.

## 2.3. Sentezlenen Bileşiklerin İn Vitro Sitotoksik Aktivite Çalışmaları

İn vitro sitotoksik aktivite çalışmaları literatüre göre yapıldı (Akkoç, 2019a; Akkoç, 2019b;

Akkoç vd., 2019; Akkoç vd., 2017; Akkoç vd., 2016). İnsan serviks kanser hücre hattı (HeLa) ve insan normal (kansersiz olmayan) akciğer hücre hattı (Beas-2B) %10 FBS-%90 DMEM ortamında kültür edildi. Hücreler, steril 96 kuyucuklu



plakalara  $1 \times 10^3$  hücre/kuyucuk yoğunluğunda ekildi. Plakalar  $37^\circ\text{C}$  ve %5  $\text{CO}_2$  içeren nemli bir ortamda 24 saat inkübe edildi. Hücreler  $0.5 \mu\text{M}$  ile  $200 \mu\text{M}$  (0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ve 200) aralığında değişen ilaç adaylarının (**S1-S6**) dokuz farklı konsantrasyonuna 72 saat için maruz bırakıldı. Benzimidazolyum tuzlarının stok çözeltileri PBS de hazırlandı. Pozitif kontrol olarak metal bazlı antikanser ajan olan cisplatin kullanıldı. 72 saatlik süre tamamlandıktan sonra kuyucuklardaki DMEM vakum ile uzaklaştırıldı ve hazırlanan MTT stok çözeltisi ( $50 \mu\text{L}$ ,  $5 \text{ mg/mL}$ ) her bir kuyucuğa ilave edildi. Plakalar 4 saat süre ile bir inkübatör içerisinde tekrar inkübe edildi. Daha sonra, kuyucuklardaki ortam bir pipetör aracılığı ile dikkatli bir şekilde uzaklaştırıldı ve oluşan formazonu çözmek için  $200 \mu\text{L}$  DMSO her bir kuyucuğa ilave edildi. 96 kuyucuklu plaka 30 dakika boyunca bir plaka karıştırıcı üzerinde karıştırıldıktan sonra standart ELISA mikro plaka okuyucu (Biorad 6800) ile  $595 \text{ nm}$  de plakaların absorbans ölçümleri yapıldı.  $\text{IC}_{50}$  değerleri GraphPad Prism programı ile hesaplandı. Tüm bileşiklerin sitotoksik aktiviteleri üç farklı data point ve üç bağımsız çalışma ile tekrarlandı. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak standart sapma değerleri hesaplandı (Tablo 2 ve 3).

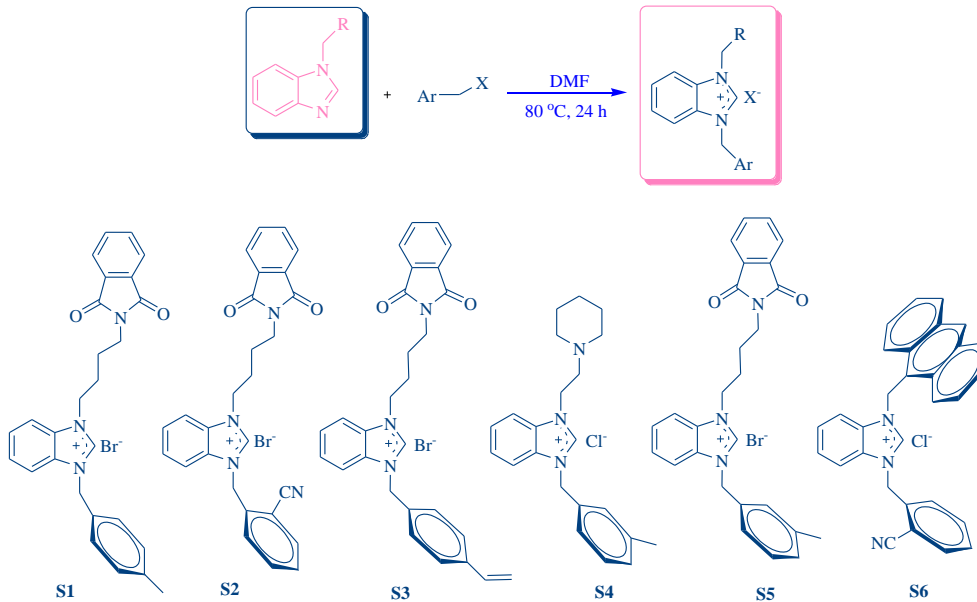
## 2.4. Konfokal Mikroskop Metodu

Kanserli (HeLa) ve sağlıklı insan hücreleri (Beas-2B) 12 kuyucuklu cam plakaların her bir kuyucuğuna  $1 \text{ mL}$  ve  $5 \times 10^4$  yoğunlukta ekildi. Hücreler  $37^\circ\text{C}$  ve %5  $\text{CO}_2$  içeren bir inkübatörde 24 saat için inkübe edildi. 24 saat sonra, negatif kontrol dışında her bir kuyucuğa final konsantrasyon  $20 \mu\text{M}$  olacak şekilde ilaç adayları ve cisplatin konuldu. Cam plaka bir inkübatörde 24 saat için tekrar inkübe edildi. Belirlenen süre tamamlandıktan sonra hücre ortamındaki besiyeri vakum ile uzaklaştırıldı ve her bir kuyucuk iki kez PBS ile dikkatli bir şekilde yıkandı. Her bir kuyucuğa  $1 \text{ mL}$  taze besiyeri konuldu ve içerisine hücreleri boyamak için  $1 \mu\text{g/mL}$  Hoechst ve  $1 \mu\text{g/mL}$  propidyum iyodür ilave edilerek yavaşça karıştırıldı. Cam plaka 30 dakika için tekrar inkübe edildi. Son olarak, hücrelerin renkli görüntüleri konfokal mikroskobu ile fotoğraflandı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Sentezlenen Benzimidazolyum Tuzlarının Karakterizasyonu

Literatüre göre hazırlanan bileşiklerin (**S1-S6**) açık yapıları Şekil 1'de verildi (Akkoç, 2019a; Akkoç vd., 2019).



Şekil 1. Sentezlenen benzimidazolyum tuzlarının açık yapısı.

$^1\text{H}$  NMR spektrumunda, aşağı alanda sırasıyla 11.56, 11.56, 11.55, 11.40, 11.54 ve 9.17 ppm'de singlet olarak elde edilen NCHN pikleri, N-alkil/aryl benzimidazollerden benzimidazolyum tuzlarının (**S1-S6**) başarılı bir şekilde sentezlendiğini desteklemektedir.  $^{13}\text{C}$  NMR

spektrumunda **S1-S6** için NCHN karbon pikleri sırasıyla 142.77, 143.44, 142.99, 143.97, 143.01 ve 142.93 ppm'de elde edildi (Akkoç, 2019a; Akkoç vd., 2019). Benzimidazol halkasında bulunan N=C gerilme bantlarının varlığı da (1544.9, 1562.9, 1557.6, 1558.4, 1557.7, 1553.9

cm<sup>-1</sup>) tasarlanan bileşiklerin yapılarını doğrulamaktadır.

### 3.2. Sentezlenen Bileşiklerin Sitotoksik Aktivite Çalışmaları

Önceki çalışmalarımızda **S1-S6** bileşiklerinin *in vitro* sitotoksik aktiviteleri insan meme kanser hücre hattı (MDA-MB-231), insan kolon kanser hücre hattı (DLD-1) ve insan embriyonik böbrek hücre hattına (HEK-293T) karşı test edildi (Akkoç, 2019a; Akkoç vd., 2019). Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verildi.

Yapılan taramalarda **S2** bileşiğinin hem kanserli hem de sağlıklı hücreler üzerine bir toksik etkisinin olmadığı yani inaktif olduğu görüldü. Öte yandan, **S6** bileşiğinin kanserli meme hücre hattına karşı yüksek sitotoksik etkiye sahip olduğu ve kanserli kolon hücrelerine karşı da diğer ilaç adaylarına kıyasla daha yüksek antiproliferatif etki gösterdiği bulundu (Akkoç vd., 2019). Bu nedenle, bu çalışmada hem ilgili bileşiklerin serviks hücre hattına karşı sitotoksik etkileri hem de yüksek etkiye sahip olan **S6** bileşiğinin Beas-2B hücre hattına karşı seçiciliğinin olup olmadığı araştırıldı.

**Tablo 1.** Benzimidazolyum tuzlarının insan hücre hatlarına karşı sitotoksik aktivite sonuçları.

Bileşik	MDA-MB-231	DLD-1	HEK-293T
S1	37.43 ± 4.38	100.31 ± 2.74	T.E.*
S2	> 200	> 200	> 100
S3	105.95 ± 4.84	59.37 ± 3.61	T.E.*
S4	> 100	T.E.*	28.63
S5	53.35 ± 2.05	74.45 ± 3.59	48.48 ± 4.25
S6	1.26 ± 0.85	10.98 ± 2.33	16.22 ± 4.20

T.E.\* : Test edilmedi

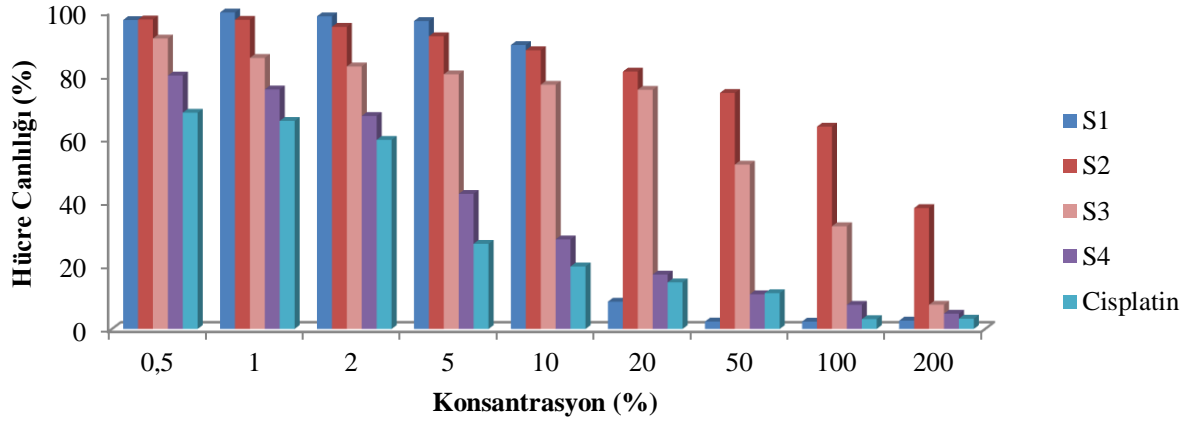
Sentezlenen bileşiklerin antiproliferatif aktiviteleri HeLa ve Beas-2B hücre hatlarına karşı 72 saat için test edildi. Bu bileşiklerin 0.5 µM ile 200 µM arasında değişen dokuz farklı konsantrasyonu sitotoksik aktiviteyi belirlemede kullanıldı. IC<sub>50</sub> değerleri üç bağımsız deney sonucunun ortalaması alınarak hesaplandı ve sonuçlar aşağıdaki tablolarda verildi (Tablo 2 ve 3).

**Tablo 2.** Sentezlenen bileşiklerin HeLa hücre hattına karşı *in vitro* sitotoksik aktivite sonuçları.

Bileşik	IC <sub>50</sub> (µM)
	HeLa
S1	14.57 ± 2.01
S2	137.50 ± 5.33
S3	42.34 ± 4.83
S4	3.72 ± 0.14
Cisplatin	2.12 ± 0.02

Test edilen bileşiklerin dördü de (**S1-S4**) HeLa hücre hattına karşı sitotoksik aktivite gösterdi. N-etilpiperidin ve 3-metilbenzil grubu içeren benzimidazolyum tuzu **S4** serviks kanserli hücre hattına karşı 3.72 ± 0.14 µM IC<sub>50</sub> değeri ile diğer bileşiklere kıyasla en yüksek sitotoksik aktiviteyi sergiledi. Sentezlenen bu ilaç adayının IC<sub>50</sub> değeri, referans olarak kullanılan cisplatinin aynı hücre hattına karşı göstermiş olduğu değer ile (IC<sub>50</sub>: 2.12 ± 0.02 µM) birbirine çok yakın olduğu bulundu.

N-metilbenzonitril ve N-bütilfitalimit gruplarını içeren **S2** kodlu bileşik 137.50 ± 5.33 µM IC<sub>50</sub> değeri ile HeLa hücreleri üzerinde diğer bileşiklere kıyasla daha az antiproliferatif aktiviteye sahiptir. 4-Metilbenzil grubu içeren **S1** bileşiği (14.57 ± 2.01 µM) HeLa hücre hattına karşı 4-vinilbenzil grubu içeren **S3** (42.34 ± 4.83 µM) kodlu bileşikten daha etkin olmuştur. HeLa hücrelerinin **S1-S4** bileşikleriyle etkileştirildikten 72 h sonraki canlılık oranları Şekil 2'de verildi.



Şekil 2. Konsantrasyona bağlı olarak değişen HeLa hücrelerinin canlılık oranları.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, sentezlenen S2 kodlu bileşik 0,5 µM ve 100 µM arasındaki konsantrasyonlarda serviks hücrelerine karşı gözle görülebilir bir sitotoksik aktivite göstermedi. Öte yandan, S1, S3, S4 bileşikleriyle cisplatinin sitotoksik etkisi doza bağlı olarak değişti ve yüksek konsantrasyonlarda düşük hücre canlılık oranları gözlemlendi. Ayrıca, S4'ün kanser hücrelerinin canlılık oranları üzerindeki etkisinin klinik ilaç olarak kullanılan cisplatin ile neredeyse eşdeğer olduğu Şekil 2 de görülmektedir. En düşük hücre canlılık oranı bileşiklerin (S1-S4 ve cisplatin) 200 µM konsantrasyonunda görüldü.

S4-S6 bileşiklerinin Beas-2B hücre hattı üzerindeki sitotoksik etki sonuçları Tablo 3'de verildi. N-etilpiperidin ve 3-metilbenzil grubu içeren S4 bileşiği, serviks kanserli hücre hattına karşı  $3.72 \pm 0.14$  µM  $IC_{50}$  değerini gösterirken sağlıklı Beas-2B hücreleri üzerine 24 saat için 59.40 µM olarak etki ettiği bulunmuştur.

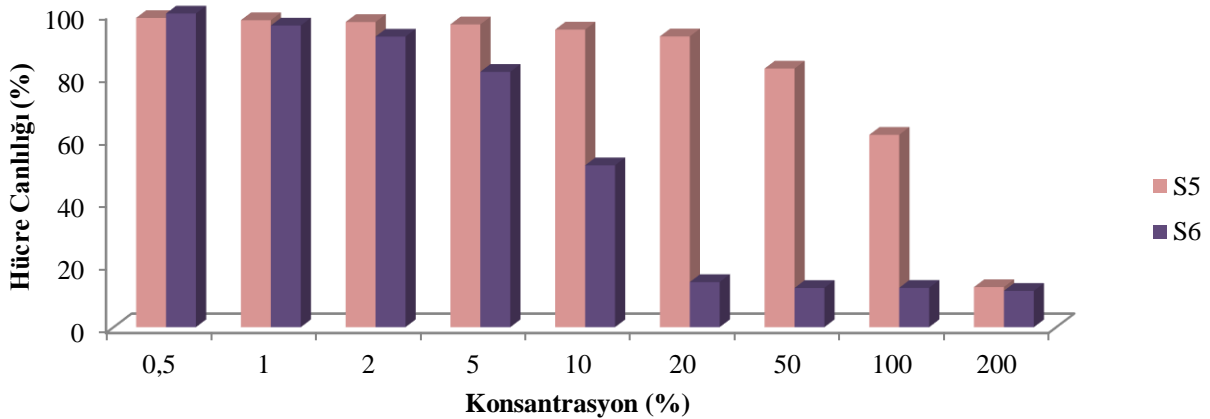
3-Metilbenzil ve N-bütülfitalimit gruplarını içeren S5 ile N-metilantrasen ve N-metilbenzonitril

gruplarını içeren S6 bileşiklerinin Beas-2B hücre hattı üzerindeki etkileri araştırıldı. Test edilen bu bileşiklerin (S5 ve S6) sağlıklı hücre hatlarında bir seçiciliğinin olmadığı ve sırası ile  $120.26 \pm 5.72$  µM,  $10.76 \pm 1.44$  µM  $IC_{50}$  değerlerini gösterdikleri bulundu.

Tablo 3. Beas-2B hücre hattına karşı test edilen bileşiklerin *in vitro* sitotoksik aktivite sonuçları.

Bileşik	$IC_{50}$ (µM)
	Beas-2B
S4	59.40
S5	$120.26 \pm 5.72$
S6	$10.76 \pm 1.44$

Beas-2B hücre canlılık oranlarının, test edilen ilaç adaylarının konsantrasyonlarının azalması ile arttığı Şekil 3'de görülmektedir. S5 bileşiği 100 µM'a kadar toksik etki çok göstermezken, konsantrasyon 200 µM'a çıkarıldığında sağlıklı hücre sayısının yaklaşık %12 oranına kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 3. Beas-2B hücrelerinin canlılık oranları.

**S6** bileşiği 1  $\mu\text{M}$  da %4 oranında hücreleri öldürürken, konsantrasyon 10  $\mu\text{M}$ 'a çıktığında hücrelerin bu ilaç adayından etkilenme oranları da %49'a çıkmaktadır. Konsantrasyon 20  $\mu\text{M}$ 'a çıkarıldığında ise hücrelerin bundan etkilenmelerinin çok keskin bir şekilde arttığı ve hücre ölüm oranının %86'ya yükseldiği görülmektedir. Fakat, 20  $\mu\text{M}$ 'dan daha yüksek konsantrasyonlara (50, 100, 200  $\mu\text{M}$  gibi) çıkıldığında, hücrelerin bu konsantrasyon değişiminden etkilenmediği ve canlılık oranlarının 20, 50, 100 ve 200  $\mu\text{M}$  için sırasıyla %14.37, %12.50, %12.53, %11.57 olduğu bulundu.

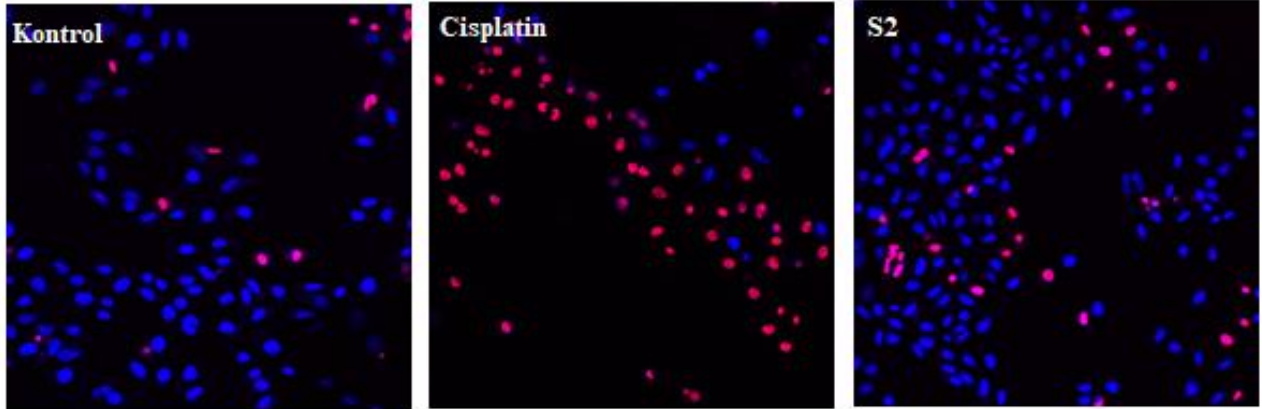
### 3.2. Konfokal Mikroskop Görüntüleri

HeLa ve Beas-2B hücrelerinin görüntüleri Olympus FV1000 Konfokal mikroskobu kullanılarak alındı. Kırmızı renkte gösterilen ölü hücrelerin ve mavi renkte gösterilen canlı hücrelerin tanımlanmasında Hoechst (mavi) ve PI (kırmızı) floresan boyaları kullanıldı. HeLa

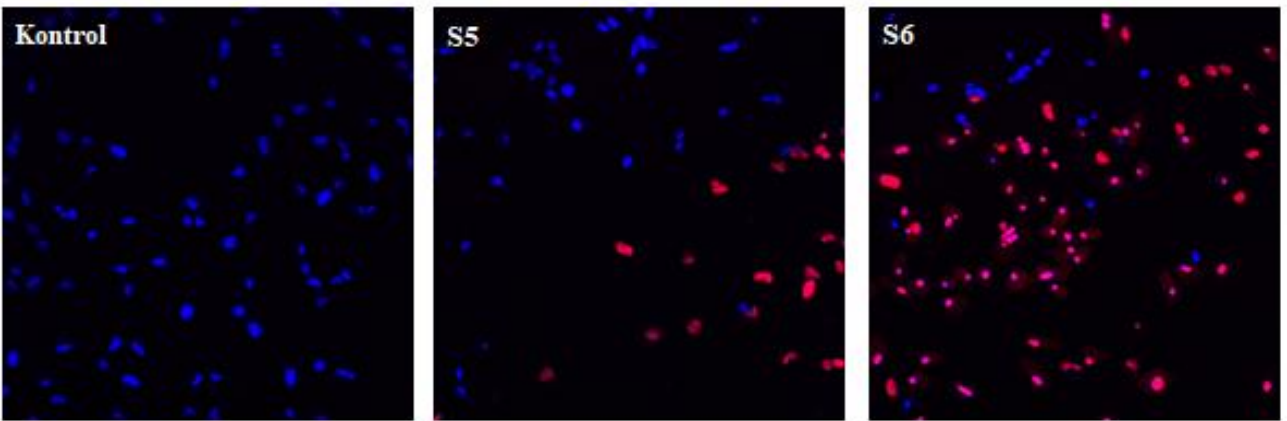
hücreleri cisplatin ve **S2** bileşiğine 24 saat için maruz bırakıldı (Şekil 4).

Negatif kontrol grupta hücreler canlılıklarını devam ettirirken, pozitif kontrol grupta (cisplatin uygulanan) hücrelerin büyük oranının öldüğü Şekil 4'de verilen fotoğraflarda görülmektedir. Konfokal görüntüleri, cisplatin ve **S2** bileşiğinin HeLa üzerindeki MTT sonuçlarını doğrulamaktadır.

Negatif kontrolün konfokal görüntülerinde hücrelerin canlılıklarını tamamen korudukları Şekil 5'de verilen ilk resimde görülmektedir. Fakat, **S5** ve **S6** bileşikleriyle muamele edilen hücrelerin canlılık oranlarının negatif kontrole kıyasla çok düştüğü ve **S6** bileşiğinin **S5** bileşiğinden daha toksik etkiye sahip olduğu alınan fotoğraflarda görülmektedir. Sonuç olarak, MTT sonuçları ile konfokal görüntülerinden elde edilen sonuçlar birbirini desteklemektedir.



Şekil 4. HeLa hücrelerinin cisplatin ve **S2** uygulandıktan 24 saat sonraki konfokal görüntüleri.



Şekil 5. Beas-2B hücrelerinin ilaç adayları uygulandıktan 24 saat sonraki konfokal görüntüleri.

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında öncelikle farklı N-alkilbenzimidazol türevleri hazırlandı. Bu türevlerden yararlanarak altı benzimidazolium tuzu sentezlendi. Sentezlenen bileşiklerin sitotoksik aktiviteleri HeLa ve Beas-2B hücre hatlarına karşı test edildi. Bu bileşiklerden özellikle **S4** bileşiğinin  $3.72 \pm 0.14 \mu\text{M}$  IC<sub>50</sub> değeri ile antikanser ilaç adayı olma yönünde önemli bir potansiyele sahip olduğu belirlendi.

#### Kaynaklar

- Abdelgawad, M.A., Bakr, R.B., Ahmad, W., Al-Sanea, M.M. ve Elshemy, H.A.H., 2019. New Pyrimidine-Benzoxazole/Benzimidazole Hybrids: Synthesis, Antioxidant, Cytotoxic Activity, In Vitro Cyclooxygenase and Phospholipase A2-V Inhibition. *Bioorganic Chemistry*, 92, 103218.
- Akkoç, S., 2019a. Derivatives of 1-(2-(Piperidin-1-yl)ethyl)-1H-benzo[d]imidazole: Synthesis, Characterization, Determining of Electronic Properties and Cytotoxicity Studies. *ChemistrySelect*, 4, 4938-4943.
- Akkoç, S., 2019b. Antiproliferative Activities of 2-Hydroxyethyl Substituted Benzimidazolium Salts and Their Palladium Complexes Against Human Cancerous Cell Lines. *Synthetic Communications*, 49, 2903-2914.
- Akkoç, S., Kayser, V. ve İlhan, İ.Ö., 2019. Synthesis and In Vitro Anticancer Evaluation of Some Benzimidazolium Salts. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 56, 2934-2944.
- Akkoç, S., Kayser, V., İlhan, İ.Ö., Hibbs, D.E., Gök, Y., Williams, P.A., Hawkins, B. ve Lai, F., 2017. New Compounds Based on a Benzimidazole Nucleus: Synthesis, Characterization and Cytotoxic Activity Against Breast and Colon Cancer Cell Lines. *Journal of Organometallic Chemistry*, 839, 98-107.
- Akkoç, S., Özer İlhan, İ., Gök, Y., Upadhyay, P.J. ve Kayser, V., 2016. In Vitro Cytotoxic Activities of New Silver and PEPPSI Palladium N-heterocyclic Carbene Complexes Derived from Benzimidazolium Salts. *Inorganica Chimica Acta*, 449, 75-81.
- Aslan, H.G., Akkoç, S. ve Kökbudak, Z., 2020. Anticancer Activities of Various New Metal Complexes Prepared from a Schiff Base on A549 Cell Line. *Inorganic Chemistry Communications*, 111, 107645.
- Bansal, Y. ve Silakari, O., 2012. The Therapeutic Journey of Benzimidazoles: A Review. *Bioorganic Medicinal Chemistry*, 20, 6208-6236.
- Busschots, S., O'Toole, S., O'Leary, J.J. ve Stordal, B., 2015. Carboplatin and Taxol Resistance Develops More Rapidly in Functional BRCA1 Compared to Dysfunctional BRCA1 Ovarian Cancer Cells. *Experimental Cell Research*, 336, 1-14.
- Cheng, J., Xie, J. ve Luo, X., 2005. Synthesis and Antiviral Activity Against Cocksackie Virus B3 of Some Novel Benzimidazole Derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 15, 267-269.
- Farahat, A.A., Ismail, M.A., Kumar, A., Wenzler, T., Brun, R., Paul, A., Wilson, W.D. ve Boykin, D.W., 2018. Indole and Benzimidazole Bichalcophenes: Synthesis, DNA Binding and Antiparasitic Activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143, 1590-1596.
- Gök, Y., Akkoç, S., Çelikal, Ö.Ö., Özdemir, İ. ve Günal, S., 2019. In Vitro Antimicrobial Studies of Naphthalen-1-ylmethyl Substituted Silver N-heterocyclic Carbene Complexes. *Arabian Journal of Chemistry*, 12, 2513-2518.
- Gök, Y., Akkoç, S., Çelikal, Ö.Ö., Özdemir, İ., Günal, S. ve Sayin, E., 2013. N-Functionalized Benzimidazol-2-ylidene Silver Complexes: Synthesis, Characterization and Antimicrobial Studies. *Turkish Journal of Chemistry*, 37 (6) 1007-1013.
- Özil, M., Parlak, C. ve Baltaş, N., 2018. A Simple and Efficient Synthesis of Benzimidazoles Containing Piperazine or Morpholine Skeleton at C-6 Position as Glucosidase Inhibitors with Antioxidant Activity. *Bioorganic Chemistry*, 76, 468-477.
- Rojas-Aguirre, Y., Castillo, I., Hernández, D.J., Noguera-Torres, B., Márquez-Navarro, A., Villalobos, J.C., Sánchez-Bartéz, F., Sánchez-Torres, L., Gracia-Mora, I., Castillo, R. ve Hernández-Luis, F., 2012. Diversity in the Supramolecular Interactions of 5,6-Dichloro-2-(trifluoromethyl)-1H-benzimidazole with Modified Cyclodextrins: Implications for Physicochemical Properties and Antiparasitic Activity. *Carbohydrate Polymers*, 87, 471-479.
- Rosenberg, B., Vancamp, L., Trosko, J.E. ve Mansour, V.H. 1969. Platinum Compounds: a New Class of Potent Antitumour Agents. *Nature*, 222, 385-386.
- Sharma, R., Bali, A. ve Chaudhari, B.B., 2017. Synthesis of Methanesulphonamido-Benzimidazole Derivatives as Gastro-sparing Antiinflammatory Agents with Antioxidant

- Effect. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 27, 3007-3013.
- Shingalapur, R.V., Hosamani, K.M., Keri, R.S. ve Hugar, M.H., 2010. Derivatives of Benzimidazole Pharmacophore: Synthesis, Anticonvulsant, Antidiabetic and DNA Cleavage Studies. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 45, 1753-1759.
- Taha, M., Mosaddik, A., Rahim, F., Ali, S., Ibrahim, M. ve Almandil, N.B., 2018. Synthesis, Antiglycation and Antioxidant Potentials of Benzimidazole Derivatives. *Journal of King Saud University - Science*, 32, 191-194.
- To, K.K.W., Poon, D.C., Wei, Y., Wang, F., Lin, G. ve Fu, L.W., 2016. Data Showing the Circumvention of Oxaliplatin Resistance by Vatalanib in Colon Cancer. *Data in Brief*, 7, 437-444.
- Tonelli, M., Novelli, F., Tasso, B., Vazzana, I., Sparatore, A., Boido, V., Sparatore, F., La Colla, P., Sanna, G., Giliberti, G., Busonera, B., Farci, P., Ibba, C. ve Loddo, R., 2014. Antiviral Activity of Benzimidazole Derivatives. III. Novel Anti-CVB-5, Anti-RSV and Anti-Sb-1 Agents. *Bioorganic Medicinal Chemistry*, 22, 4893-4909.
- Wheate, N.J., Walker, S., Craig, G.E. ve Oun, R., 2010. The Status of Platinum Anticancer Drugs in the Clinic and in Clinical Trials. *Dalton Transactions*, 39, 8113-8127.
- World Health Organization, 2018. Cancer, <http://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cancer>. 07 Kasım 2019.
- Yang, Y., Guo, L., Ge, X., Shi, S., Gong, Y., Xu, Z., Zheng, X. ve Liu, Z., 2019. Structure-Activity Relationships for Highly Potent Half-Sandwich Organoiridium (III) Anticancer Complexes with C<sup>N</sup>-Chelated Ligands. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 191, 1-7.

# İtki Dalgalarının Oluşumunda Ölçek Etkisi, Hareket Süresi ve Çarpma Hızının Model Deneyler ve 3 Boyutlu Nümerik Simülasyonlarla Değerlendirilmesi

## *Assessment of Scale Effect, Travel Time, Impact Velocity on Forming of Impulse Waves using Model Tests, 3D Numerical Simulations*

Murat KARAHAN<sup>\*1,a</sup>, Hakan ERSOY<sup>1,b</sup>, Tuğçe ANILAN<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 27.01.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.03.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 30.03.2020

### Öz

İtki dalgaları, baraj veya göl alanlarında heyelan, kaya düşmesi, çığ, moloz ve çamur akması gibi doğal jeolojik olayların tetiklenmesi sonucu meydana gelmektedir. Oluşan dalganın hızı ve yüksekliği yamaç boyunca eğim aşağı hareket eden kütlelerin suya çarpma hızına bağlıdır. Çarpma hızı ise yamaç eğimine, hareket eden kütlelerin konumuna, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. İtki dalgalarının özellikleri, sayısal ve ampirik yaklaşımlarla belirleneceği gibi hidrolik modellerle de belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ise ölçek etkisi ve hareket eden kütlelerin suya çarpma hızları farklı yöntemler kullanılarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan bir hidrolik model üzerinde fiziksel deneyler yapılmış, 0.4 m<sup>3</sup> hacimli bir havuz, yükleme rampası, yüksek hızlı kamera ve akışkan olarak su kullanılmıştır. Farklı rampa açılarında hareket eden suyun havuz tabanına ulaşma süresi, çarpma hızı ve havuzda oluşan dalga yüksekliği değerleri hesaplanmıştır. Aynı model, 3 boyutlu nümerik çözümleme yapan FLOW-3D programı kullanılarak farklı ölçeklerde tanımlanmış (0.1x, 1x, 10x, 100x, 1000x), farklı yoğunlukta akışkanlar (800-2000 kg/m<sup>3</sup>) kullanılarak çözümleme yapılmış ve serbest su seviyesi yükseklikleri tespit edilmiştir. Nümerik ve hidrolik model kullanılarak tanımlanan parametreler ampirik ilişkiler kullanılarak da belirlenmiştir. Yapılan nümerik çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre hidrolik model hangi ölçekte olursa olsun elde edilen sonuçların ölçekten etkilenmediği tespit edilmiştir. Her 3 yöntem kullanılarak belirlenen, su hareket hızı, çarpma hızı ve maksimum dalga yüksekliği değerleri arasındaki farkın %2-3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar basit rezervuarlar için ve kısa mesafeler için ölçek etkisinin önemsiz olduğunu ve hesaplamalarda ampirik ilişkilerin yeterli olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ampirik Eşitlikler, Çarpma Hızı, Dalga Yüksekliği, Hidrolik Model, İtki Dalgası, Nümerik Model

### Abstract

Impulse waves occur as a result of natural geological events such as landslides, rock falls, avalanches, rubble and mudflows in dam or lake areas. The celerity and height of the formed wave depends on the impact velocity of the mass moving into the water. The impact velocity depends on the slope, the location of the sliding materials, and their physical and mechanical properties. The characteristics of the impulse waves can be determined by numerical and empirical approaches as well as by hydraulic models. In this study, the scale effect and the slide impact velocity were modeled using different methods and the results obtained were compared. A hydraulic model, which was made of a pool of 0.4 m<sup>3</sup> volume, loading ramp, high speed camera, and water as fluid, was designed to carry out the physical experiments within the scope of the study. The time it takes for the fluid to reach the bottom of the pool, the impact velocity of the fluid and the wave height were calculated for various ramp angles. The same model has been defined in different scales (0.1x, 1x, 10x, 100x, 1000x) using FLOW-3D program that performs 3-dimensional numerical analysis. Analysis were carried out using different density fluids (800-2000 kg/m<sup>3</sup>), and values of free surface elevation were determined. The parameters defined using the numerical and hydraulic model were also determined using empirical relationships. According to the results obtained from the numerical studies, it has been determined that the results obtained are not affected by the scale regardless of the scale of the hydraulic model. It has been determined that the difference between water celerity, impact velocity and maximum wave height values determined between all 3 methods varies between 2-3%. The results showed that the scale effect is insignificant for simple reservoirs and for short distances and empirical relationships may be sufficient for the calculations.

**Keywords:** Empirical Equations, Impact Velocity, Wave Height, Hydraulic Model, Impulse Wave, Numerical Model

\*a Murat Karahan; muratkarahan@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 35 81, orcid.org/0000-0002-4500-0050

b orcid.org/0000-0001-5556-547X

c orcid.org/0000-0001-9571-4695

## 1. Giriş

Kaya, çığ, buzul ve heyelan kütlelerinin belirli bir hız ve enerji ile doğal veya yapay su kütlelerine çarpması sonucu oluşan gravite dalgaları itki dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Çoğunlukla, okyanuslarda, koylarda ve göllerde meydana gelmelerine karşın, dağlık bölgelerdeki baraj rezervuar alanlarında bulunan dik yamaçlardaki heyelan kütlelerinin hareketi ile oluşan itki dalgaları memba-mansapta bulunan yerleşim alanlarına, doğal habitata ve baraj gövdesine etki edebilmektedir. Bu dalgalar, özellikle üstten aşma sonucu barajlarda ciddi hasarlara hatta bazı durumlarda baraj yıkılmalarına neden olmaktadır. Üstten aşma ve yıkılma sonucunda yerleşim alanları büyük bir hız ve debiyle gelen suyun şiddetinden, taşkından ve taşkınla gelen molozdan olumsuz bir şekilde etkilenmekte hatta bazı durumlarda büyük ölçekli felaketler yaşanmaktadır.

Tarihte itki dalgası kaynaklı birçok felaket yaşanmıştır. Bu felaketler Unzen Dağı felaketi (1792), Krakato Yanardağı felaketi (1883), Lituya Bay heyelanı (1958), Vajont Barajı heyelanı (1963), Spirit Gölü heyelanı (1980), Hint Okyanusu Tsunamisi (2004), Nuugaatsiaq Fiyordu (2017) heyelanıdır. Bu vakalardan en trajik olanı Vajont Barajı göl alanında meydana gelmiştir. 9 Ekim 1963 yılında baraj gövdesi arkasındaki yamaçtan 300 milyon metreküp malzeme göl alanına doğru hareket etmiş ve 250 m yüksekliğinde dalga üretmiştir. Olay sonucu aktif depolama hacminin iki katı kadar malzeme göl alanına girerek rezervuar alanını doldurmuştur. Kütle hareketi sonucunda oluşan gravite dalgası baraj gövdesini yıkmamış ancak baraj gövdesinin aşarak dar bir vadi boyunca mansap kısmına doğru hareket etmiştir. Mansap kısmında su yüksekliği 70 metreye ulaşmış ve yerleşim alanlarının sular altında kalmasına neden olmuştur. Bu vaka sonucunda 2000 kişi hayatını kaybetmiştir (Özalp, 2018)

Bu nedenle bu tür dalgaların karşı kıyıdağı ilerleme miktarı (yatay-düşey yönde) ve baraj gövdesine ulaşan dalğanın yüksekliğinin ve hızının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Oluşacak dalğanın etkilerinin bilinmesi acil durum eylem planlarında göl ve rezervuar alanındaki yerleşim alanlarının boşaltılması için gerekli olan zamanın belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Örnek bir çalışmada, Yeni Zelanda'da Clyde Barajı rezervuar alanında bulunan heyelan kütlelerinin olası hareketinin baraj gövdesi ve baraj göl alanındaki yerleşim yerleri için olumsuz etkiler doğuracağı yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir. Heyelan kütlelerinin olası hareketi sonucu oluşacak gravite dalgasının etkisini en aza indirmek için birtakım önlemler alınmıştır. Alınan önlemler kapsamında yerleşim alanları boşaltılmış, gövdenin yeri değiştirilmiş, çarpma kontrol altına alınmış, baraj yeniden tasarlanmış ve dalga payı yeniden hesaplanmıştır (MacFarlane ve Jenks, 1996).

Tüm bu gelişmelerden sonra, heyelan kaynaklı itki dalgaları ile ilgili çalışmalar son 20 yıl içerisinde önem kazanmıştır. Çalışmaların bir kısmı heyelan kütlelerinin potansiyel enerjisinin dalga enerjisine dönüşmesi ile ilgili olup, heyelan kütlelerinin konumunun ve şeklinin iletilen kinetik ve potansiyel enerji miktarı üzerindeki etkisi de araştırmalarda önemli yer tutmuştur (Wiegel, 1964; Sue vd., 2007). Buna ek olarak dağlık alanlarda, göl, gölet, baraj göl alanı ve kıyı kenarlarındaki kütle hareketi kaynaklı itki dalgalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik 5 farklı yaklaşım önerilmiştir (Heller vd., 2009). Bunlar; (1) arazi verilerden elde edilen ampirik eşitliklerin kullanımı (Fritz 2002, Quecedo vd., 2004), (2) analitik değerlendirmeler (Di Risio, 2008), (3) laboratuvar deneylerinden elde edilen ampirik eşitliklerin kullanımı (Hughes, 1993; Heller vd., 2008), (4) prototip özel modeller üzerinde yapılan deneyler ve (5) nümerik simülasyonlara dayalı modeller (Grilli vd., 2002; Montagna vd., 2011; Gabl vd., 2015) şeklinde sıralanabilir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Heyelan kaynaklı dalga özelliklerinin tahmininde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması (Heller vd., 2009).

Ölçütler	Yöntem (1)	Yöntem (2)	Yöntem (3)	Yöntem (4)	Yöntem (5)
Sonuçların kalitesi	Kaba tahmin	Kaba tahmin	Tahmin	Kesin	Tahmin-kesin
Zaman	Az	Az	Az	Çok fazla	Fazla-Çok fazla
Maliyet	Az	Az	Az	Çok fazla	Fazla-Çok fazla
Kullanıcı	Mühendis	Mühendis	Mühendis	Mühendis	Uzman
Parametre önemi	Orta	Az	Orta	Yüksek	Yüksek

*\*(1) arazi verilerden elde edilen ampirik eşitlikler (2) analitik değerlendirmeler (3) laboratuvar deneylerinden elde edilen ampirik eşitlikler (4) prototip özel modeller üzerinde yapılan deneyler (5) nümerik simülasyonlar*

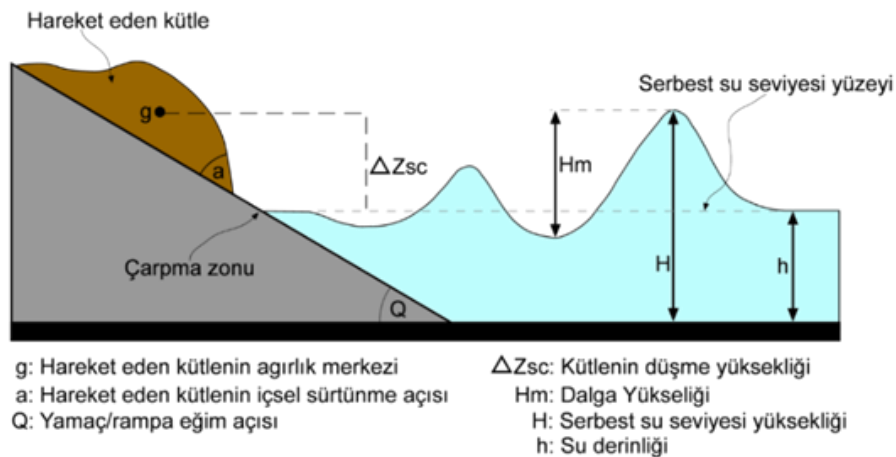


Son yıllarda heyelan kaynaklı itki dalgalarının özelliklerini tespit etmek için dalga makineleri tasarlanmış, granüler malzeme ve katı malzemeler kullanılarak 2 ve 3 boyutlu belirli ölçeklerde özel hidrolik model deneyler yapılmış, gerçekleşmiş olan vakaların prototip modelleri hazırlanarak deneyler uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda ampirik eşitlikler üretilmiş ve dalgaların oluşum ve yayılım özellikleri tespit edilmiştir (Fritz, 2002; Panizzo vd., 2005; Carvalho vd., 2006; Heller, 2007; Nieuwkoop, 2007, Di Risio vd., 2008). Ampirik eşitlikler pratikte hızlı ve kolay bir şekilde kullanılmakta ve oluşan gravite dalgasının özelliklerinin belirlenmesinde tahmin niteliğinde sonuçlar vermektedir. Bu tür eşitlikler dalganın ilk oluştuğu andaki özelliklerinin tahmininde kullanılabilirliğinden (yükseklik, hız vs), çalışmalarda büyük oranda rezervuar alanının geometrisi ihmal edilmektedir. Fakat itki dalgası büyük bir oranda su derinliğinin değişiminden ve rezervuar alanının şeklinden etkilenmektedir (Heller, 2009).

Bu nedenle son yıllarda analitik yöntemlerin yanı sıra prototip model deneyler ve nümerik tabanlı çözümleme yöntemleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Tablo 1’de görüldüğü gibi prototip özel modeller üzerinde yapılan deneyler ve nümerik simülasyonlar elde edilen sonuçların kesin veya kesine yakın olduğu görülmektedir. Prototip özel deneyler kesin sonuçlar vermesine rağmen gerek ölçek etkisinden gerekse bu tür deneylerin pahalı olmasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Ayrıca prototip özel model deneylerinde su derinliği en az 20 cm olacak

şekilde ölçeklendirilmelidir (Heller vd., 2009). Çok büyük rezervuarlar için bu tür prototip özel modellerin kurulması çok zahmetli ve pahalı olduğu için, prototip modellerin yerine nümerik simülasyonlar tercih edilmektedir. Nümerik tabanlı çözümler ile hem model deneyler hem de geçmişte meydana gelmiş vakalar üzerine de çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Shi vd., 2015; Wang vd., 2016; Ersoy vd., 2019).

İtki dalgalarının oluşum mekanizması 3 ayrı fazda ele alınmaktadır. Bunlar; heyelan etkisiyle dalga oluşumu, dalganın rezervuarda yayılımı ve dalganın topografik bir yüzeye ve/veya baraj gövdesine çarpması şeklinde sıralanmaktadır. İtki dalgalarından kaynaklanacak etkilerin belirlenmesinde yukarıda sıralanan 3 ayrı faz, bir bütün olarak değerlendirilmekte, ancak farklı modellerle analiz edilmektedir. Kütle hareketi kaynaklı oluşan itki dalgalarının özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biri kütlenin suya çarpma hızıdır. Çarpma hızını ise heyelan malzemesinin hacmine, kalınlığına, darbe hızına ve yamaç eğimine bağlıdır. Bu nedenle çalışmaların temelini heyelan malzemesinin hacminin, yanal ve düşey devamlılığının belirlenmesi aşaması oluşturmaktadır (Şekil 1). İtki dalgasının fiziksel özellikleri ve yayılımı heyelan malzemesinin darbe etkisine, rezervuar şekline, derinliğine ve dalganın yayılım istikametine bağlıdır. İtki dalgalarının rezervuar kıyısında veya baraj gövdesindeki etkisi ise su derinliğine, dalga hızına, dalga yüksekliğine, karşı kıyı ve/veya baraj gövde eğimine bağlı olarak değişmektedir.



**Şekil 1.** İtki dalgasının oluşumu ve kütlenin suya çarpma hızının hesaplanmasında kullanılan parametreler

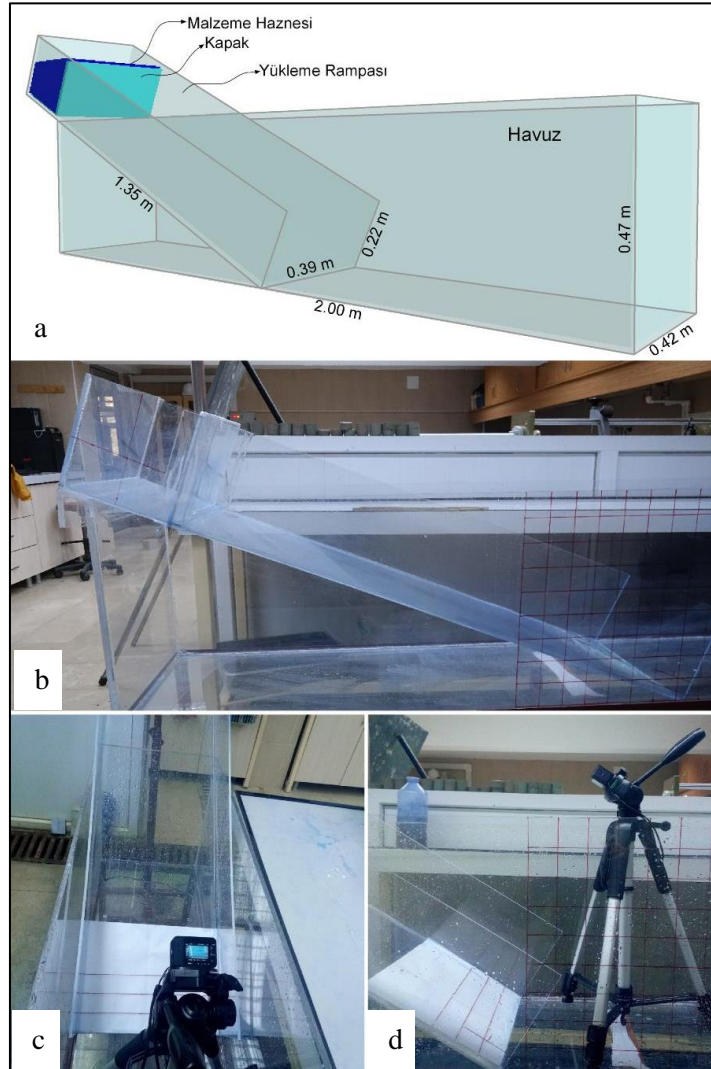
Bu çalışmada ise yukarıda belirtilen tüm açıklamalar dikkate alınarak itki dalgalarına ait hareket süresi, çarpma hızı ve yükseklik gibi fiziksel özellikler ampirik ilişkiler, hidrolik

deneyler ve 3 boyutlu nümerik analizlerle belirlenmiş, itki dalgalarının oluşumunda ölçek etkisi nümerik tabanlı yaklaşımlarla değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında itki dalgalarının değerlendirilmesine yönelik; (1) ölçek etkisinin, (2) kayan kütlenin çarpma hızının, (3) çarpma süresinin ve (4) çarpma ile oluşacak dalga yüksekliğinin araştırılması amacıyla iki farklı aşama tanımlanmıştır. İlk aşamada laboratuvarda farklı koşullarda hidrolik bir model üzerinde fiziksel deneyler yapılmıştır. Deneylerde 2.00 m x 0.42 m x 0.47 m boyutlarında havuz, 1.35 m x 0.39 m x 0.22 m boyutlarında yükleme rampası, yüksek hızlı kamera ve akışkan olarak su kullanılmıştır. Sıvı ile deney yapılan modelin yüzeyi arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek amacıyla ve kırılmaz olma özelliğe sahip olması nedeniyle havuz ve yükleme rampası 10 mm kalınlığında fiberglas malzeme kullanılarak inşa

edilmiştir (Şekil 2). Fiberglasın esnememesi için kalınlık özellikle 10 mm olarak seçilmiş ve inşa edilen havuz çelik bir çerçeve üzerine oturtulmuştur. Fiberglas havuzun yerleştirildiği zeminin eğiminin olmamasına dikkat edilmiş ve böylelikle eğimin oluşturacağı olumsuz etkilere karşı önlem alınmıştır. Fiberglas havuzda ayrıca suyun tahliyesi için bir adet tahliye vanası da bulunmaktadır. Rampa 20-60° arasında eğim verilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede farklı açılarda akışkanın çarpma hızındaki değişimleri tespit etmek mümkün olacaktır. Yüksek hızla hareket eden akışkanın hareketini net bir şekilde görebilmek için görüntüyü 5x (250 fps), 10x (500 fps) ve 20x (1000 fps) yavaşlatma özelliğine sahip olan yüksek hızlı bir kamera kullanılmıştır. Tüm fiziksel özelliklerinin bilinmesi nedeni ile deneylerde akışkan olarak su tercih edilmiştir.



Şekil 2. (a) Deneylerde kullanılan fiber havuz, (b) yükleme rampası ve (c, d) yüksek hızlı kamera

İkinci aşamada ise kütlenin çarpma hızı ve çarpma ile oluşan dalganın yüksekliği (1) hidrolik model kullanarak, (2) ampirik eşitlikler ile ve (3)

numerik analizlerle hesaplanmıştır, ölçek etkisi sadece nümerik olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, 3 boyutlu nümerik analiz tabanlı

FLOW-3D yazılımı (Flow Science Inc. 2017) kullanılarak laboratuvarda yapılan hidrolik deneyler 3 boyutlu olarak simüle edilmiştir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı olan FLOW-3D, akışkan hareket denklemlerini çözmek için özel olarak geliştirilmiş sayısal analizler kullanılmaktadır (Yin vd. 2015). Çalışmada “Drift-Flux Model” modülü tercih edilirken, dalga oluşumunu simüle etmek için “volume of fluid (VOF) model” modülü ile birlikte Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini temel alan serbest yüzey modelleme tekniğini kullanılmıştır. Üç boyutlu katı model oluşturulurken Stereo Litografi (STL) dosyaları kullanılmış, modelin değerlendirilmesi sırasında oluşturulan simülasyonun hareket hızından dolayı, itki dalgası modelini oluşturmak için Drift-flux modeli ve Renormalize Grup (RNG) bazlı k-epsilon türbülans modeli uygulanmıştır.

Ölçek etkisinin araştırılmasında laboratuvarda yapılan deney gerçek ölçekli olarak bilgisayar programında modellenmiştir. Deneysel ve nümerik olarak kurulan modelde ölçülen serbest su seviyesi değerleri kıyaslanarak modelin doğruluğu test edilmiştir. Başlangıç aşamasındaki serbest su seviyeleri önemlidir çünkü; çarpma ile oluşan dalga solitary dalga olup bu tür dalgalarda dalga çukuru olmaz dalga yüksekliği serbest su seviyesi ile dalga tepesi arasındaki fark ölçülerek tespit edilmektedir. Sonrasında modelin 0.1x, 1x, 10x, 100x ve 1000x ölçekli modelleri nümerik model kullanılarak oluşturulmuştur. Kurulan modellerde farklı yoğunluklarda ( $800-2000\text{kg/cm}^3$ ) akışkanlar kullanılmış, her ölçek ve her yoğunluk için serbest su seviyesi değerleri tespit edilmiş ve farklı ölçeklerdeki fakat aynı yoğunluktaki serbest su seviyesi yüzeyleri kıyaslanarak ölçek etkisi araştırılmıştır. Programda farklı yoğunluklarda tanımlanan akışkanlarda hareket esnasında herhangi bir hava girişi olmadığı için başlangıç anındaki ve çarpma esnasındaki birim hacim ağırlıklar aynı olup değişmemektedir.

Çalışmada çarpma hızı hidrolik model deneylerle, ampirik eşitlikle ve nümerik olarak hesaplanmıştır. Kütlelinin havuz tabanına çarpma hızı 3 farklı rampa açısı için hesaplanmıştır (20, 25 ve 30°). Deneyde yükleme havuzuna su doldurularak eğim aşağı boş havuz tabanına çarpması sağlanmış, çarpma etkisi ile oluşan dalga yüksekliği 30 derecelik rampa açısında ve 20 cm su derinliğinde hesaplanmıştır.

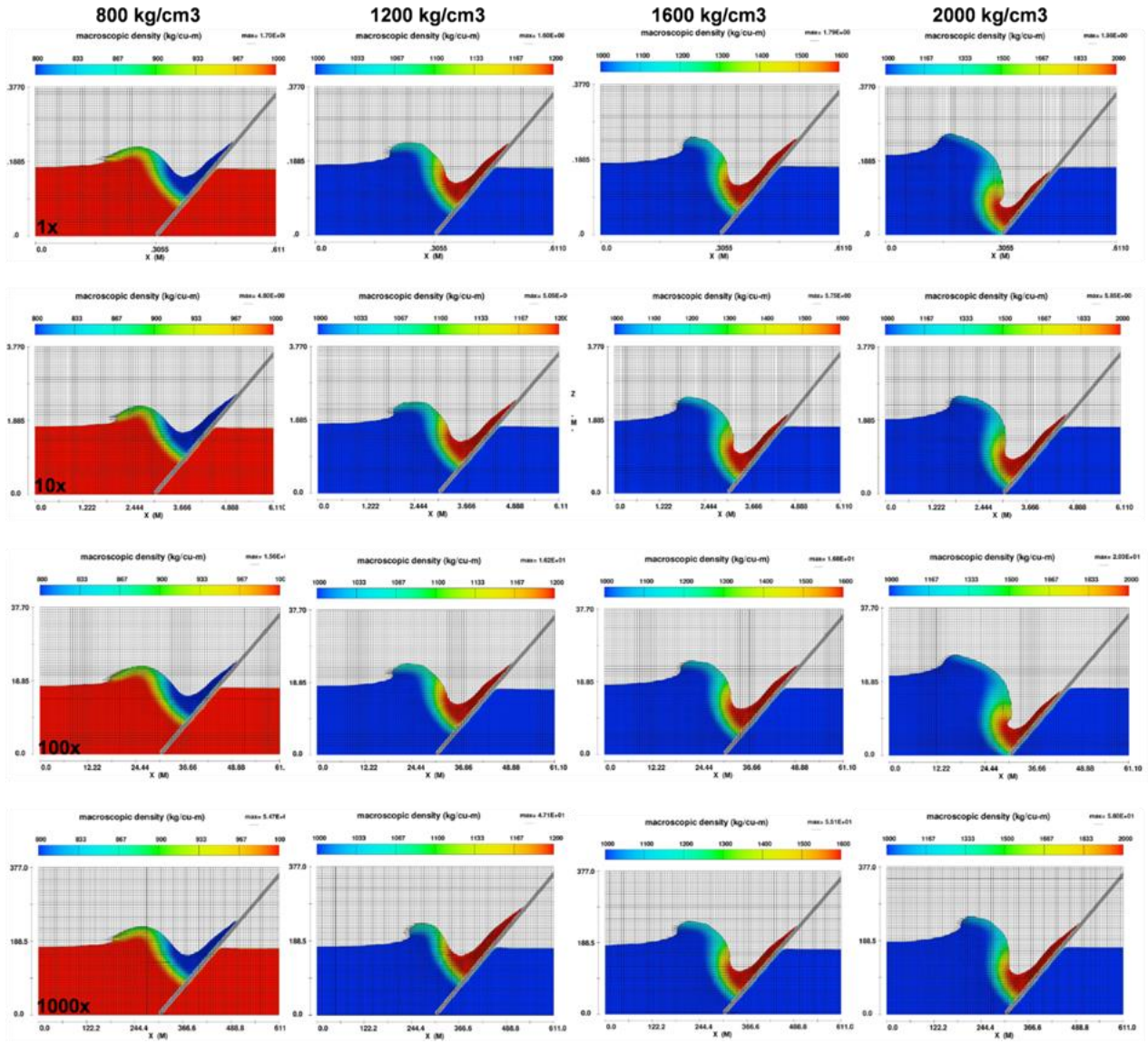
### 3. Ölçek Etkisinin Araştırılması

Heyelan kaynaklı itki dalgalarının değerlendirilmesinde, arazi verilerinden yararlanılarak oluşturulan ampirik eşitlikler ve analitik değerlendirmeler kullanılarak yapılan analizler zaman, maliyet ve girdi parametrelerinin basitliği düşünüldüğünde değerlendirme kolaylığı açısından kullanışlı yöntemlerdir. Ancak her iki yöntemde de ölçek etkisi dikkate alınmamaktadır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen ampirik eşitliklerin kullanımı itki dalgalarının fiziksel özelliklerinin tespitinde en çok tercih edilen yöntem olmasına karşın (Müller, 1995; Fritz, 2002; Panizzo, 2004; Zweifel, 2004; Heller, 2007) bu yöntemde rezervuar geometrisi, yamaç topografyası ve ölçek etkisi ihmal edilmektedir. Prototip modellerde uzun rezervuar geometrilerinin büyük ölçekte inşa edilmesi mümkün değildir. Ölçeğin küçültülmesi durumunda ise hassas sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle çalışmada, yöntemlerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla 3 boyutlu simülasyonlar kullanılarak ölçek etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada kurulan hidrolik modelin ölçeğinin oluşan dalga özelliklerini etkileyip etkilenmediği farklı senaryolarda ve ölçekte model deney kurularak araştırılmıştır. 800, 1200, 1600 ve 2000  $\text{kg/cm}^3$  yoğunluklarda sıvı 1x, 10x 100x ve 1000x ölçeklerde aynı rampa eğiminde simüle edilmiş ve çarpma bölgesindeki serbest su seviyesindeki değişim tespit edilmiştir. Ölçek etkisinin olup belirlemek için aynı yoğunluktaki fakat farklı ölçeklerdeki serbest su seviyesi değerleri kıyaslanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3 ve Tablo2’de verilmiştir. Çalışmada farklı yoğunluklarda akışkan kullanılmasındaki amaç suyun yoğunluğu referans alınarak suyun yoğunluğundan az ve fazla akışkanlar içinde ölçek etkisinin olup olmadığını tespit etmektir.

**Tablo 2.** 2 Boyutlu çözümlere ait serbest su seviyesi değerleri

Sıvı Yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )	Serbest Su Seviyesi Değerleri (m)			
	x1	x10	x100	x1000
800	0.227	2.254	22.728	226.890
1200	0.237	2.341	23.656	233.658
1600	0.246	2.480	24.443	245.133
2000	0.253	2.520	25.784	252.714



**Şekil 3.** Farklı yoğunluktaki ve ölçekteki simülasyonlar ait FLOW-3D programında yapılan 2 boyutlu çözümlerler (kg/cu-m: kg/m<sup>3</sup>)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde aynı yoğunluktaki sıvıların serbest su seviyesi değerleri ölçek dahilinde artmıştır. Değerler gerçek boyutlu ölçeğe kıyasla normalize edildiği zaman her bir yoğunluk için ölçülen serbest su seviyesi değerinin yaklaşık eşit olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Tablo 3'te belirgin bir şekilde görülmektedir.

**Tablo 3.** Gerçek boyutlu ölçeğe kıyasla normalize edilmiş değerler

Sıvı Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Normalize Edilmiş Serbest Su Seviyesi Değerleri		
	x10	x100	x1000
800	0.23	0.23	0.23
1200	0.23	0.24	0.23
1600	0.25	0.24	0.25
2000	0.25	0.26	0.25

#### 4. Çarpma Hızının ve Süresinin Belirlenmesi

Heyelan kütlelerinin suya çarpma hızı, oluşan dalganın yüksekliğini, hızını, dalga boyunu ve karşı kıyıdaکی ilerleme miktarını etkilemektedir. Aynı hacimde fakat farklı hızlardaki heyelan kütlelerinin çarpma etkisi ile oluşturacakları dalga yükseklikleri birbirinden farklıdır. Çarpma hızı yüksek olan kütlelerin oluşturacağı dalga yüksekliği daha fazla olup oluşan dalganın ilerleme hızı da o denli fazla olacaktır. Bu nedenle gravite dalgalarında heyelan kütlelerinin suya çarpma hızı değerinin doğru hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Heyelan kütlelerini suya çarpma hızını hesaplamak için ampirik eşitlikler üretilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak hareket eden kütlelerin suya çarpma hızı pratik bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ampirik ilişkilere ek olarak, çarpma hızı nümerik simülasyonlarla da

çözölebilmektedir. Ancak 3 boyutlu nümerik tabanlı çözümlerlerde kullanıcı kaynaklı, modelin eksik kurulması ve sınır koşulların eksik tanımlanması sonucu hatalı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tür hataları en aza indirmek için hidrolik deneylerin 3 boyutlu nümerik tabanlı modellerle çözümlenerek sonuçların kıyaslanması veya hibrit modellerin kurulması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, hareket eden kütlelin çarpma hızı ampirik eşitlikler, hidrolik deneyler ve 3 boyutlu nümerik simülasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar 20, 25 ve 30 derecelik açılara sahip rampalar için yapılmıştır. Ampirik eşitliklerde (Körner, 1976) tarafından önerilen eşitlik kullanılmış, malzemenin içsel sürtünme açısı, yerçekimi ivmesi, rampa açısı ve düşme yüksekliği kullanılmıştır (Şekil 4).

$$v_s = \sqrt{2g\Delta Z_{sc}(1 - \tan a \times \cot Q)} \quad (1)$$

Burada;

$v_s$  (m/s) : kütlelin çarpma hızı

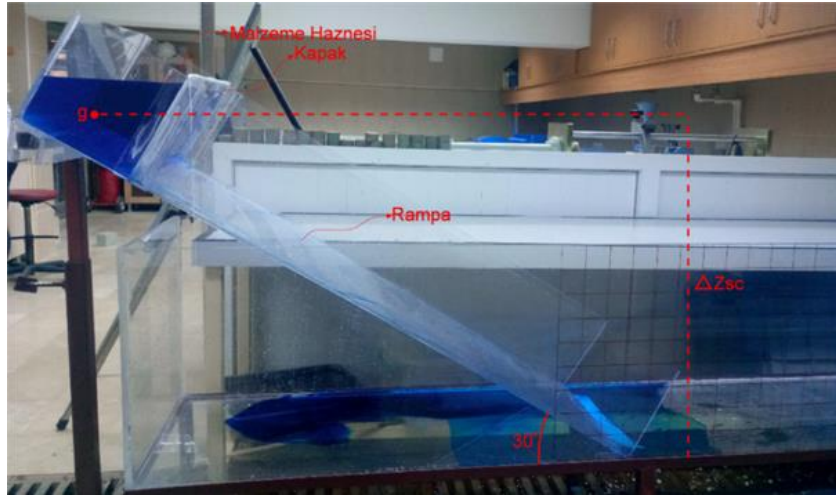
$g$  (m/s<sup>2</sup>) : yerçekimi ivmesi (9.81 ms<sup>-2</sup>)

$\Delta Z_{sc}$  (m) : kütlelin düşme yüksekliği

$Q$  (°) : yamaç/rampa eğimi

$a$  (°) : içsel sürtünme açısı

Körner (1976) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak 3 farklı açı değeri için suyun havuz tabanına çarpma hızı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda suyun içsel sürtünme açısı sıfır olarak alınmış, su ile fiberglas rampa arasındaki sürtünme ihmal edilmiştir. Rampa açısının artması sonucu düşme yüksekliği de artmış, bu durum ise çarpma hızının artmasına neden olmuştur (Tablo 4).



Şekil 4. Malzemenin çarpma hızının tespit edilmesi için kurulan 3 boyutlu laboratuvar modeli

Tablo 4. Farklı açı değerleri için çarpma hızı değerleri

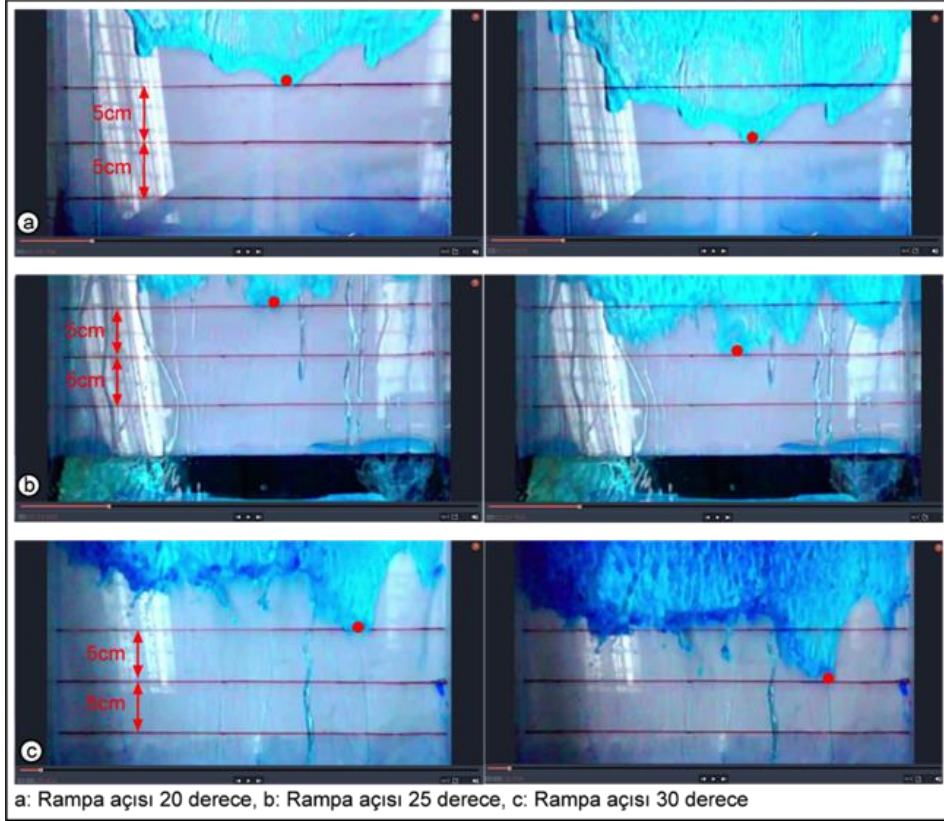
Model deney	Yamaç/rampa eğimi (°)	Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )	Düşme yüksekliği (m)	İçsel sürtünme açısı (°)	Çarpma hızı (m/sn)
1	20	9.81	0.53	0	3.22
2	25	9.81	0.62	0	3.49
3	30	9.81	0.72	0	3.76

Çarpma hızının laboratuvarında hidrolik deneylerle ile tespit edilmesi için, hidrolik model yüksek hızlı kamera ve akışkan olarak metilen mavisi ile renklendirilmiş su kullanılmıştır. Deneylerde 20, 25 ve 30 derecelik açı değeri için hesaplamalar yapılmış, rampa istenilen açığa getirildikten sonra hazne renklendirilmiş su ile doldurulmuştur. Sonrasında haznenin kapağı açılarak yerçekimi etkisi ile suyun hareket etmesi sağlanmıştır. Hareket eden suyun çarpma hızı yükleme rampasının hemen bittiği noktaya yerleştirilen

yüksek hızlı kamera ile çekilen videolar kullanılarak hesaplanmıştır. Yükleme rampasının son 15 cm'lik kısmı üçe bölünerek 5 cm'lik mesafeler tespit edilmiştir. Videolardan suyun 5 cm'lik mesafeyi kat etme süresi tespit edilmiştir. Bu sayede, bilinen mesafe ve süre kullanılarak suyun çarpma hızı belirlenmiştir (Tablo 5). Videolar 1000 fps (20x) hızında çekilerek 200 kat yavaşlatılmış ve bu sayede suyun 5 cm'lik kısmı geçiş süresi tespit edilmiştir (Şekil 5).

**Tablo 5.** Suyun çarpma hızının laboratuvar deneyleri ile tespit edilmesi

Rampa eğimi	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı	Variş süresi (200x yavaşlatılmış) (sn)	t (sn) (gerçek süre)	x (m)	v (m/sn)
20°	00:02:05.700	00:02:08.800	3.1	0.0155	0.05	3.23
25°	00:02:34.800	00:02:37.700	2.9	0.0145	0.05	3.45
30°	00:00:35.900	00:00:38.600	2.7	0.0135	0.05	3.70

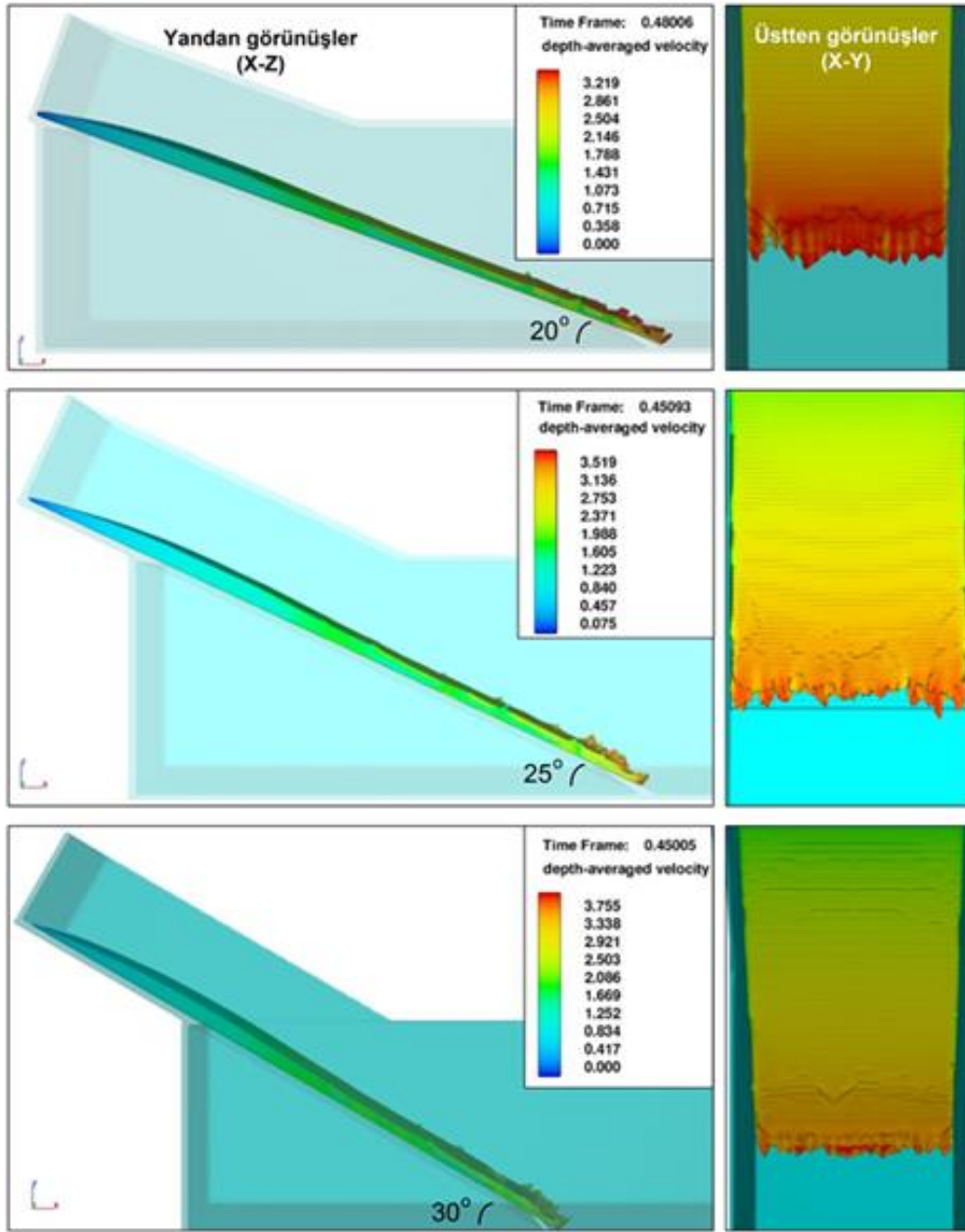
**Şekil 5.** (a) 20, (b) 25 ve (c) 30 derecelik rampalardan akan suyun havuz tabanına çarpma hızını tespit etmek için yüksek hızlı kamera ile çekilmiş görüntüler.

Çarpma hızının nümerik analiz ile tespit edilmesi için FLOW-3D ve SolidWorks (Premium, 2016) yazılımları kullanılmıştır. SolidWorks programı ile havuzun ve yükleme rampasının gerçek ölçekli 3 boyutlu katı modeli STL (STereoLithography) formatında tanımlanmıştır. Çizilen katı modeller kullanılarak FLOW-3D programında 3 farklı hidrolik deney modellenmiştir. Çözümlemede tek bir akışkan kullanılmış, akışkan olarak 20 C°'de ve 1000 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta su tanımlanmıştır. Çözümleme süresi 5 sn olarak ayarlanmış, düşey yöndeki yerçekimi ivmesi 9.81 m/sn<sup>2</sup> alınmış, suyun hareketinde hava girişimleri modelde tanımlanmıştır. Çözümlemelerde mesh boyutları 0.005 m olarak seçilmiş ve çözümlemede 7182000 hücre kullanılmıştır. 20, 25 ve 30 derecelik rampa açıları için 3 boyutlu nümerik çözümler kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 6 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Çözümlemelerde renklendirmeler maksimum hız değerlerine göre yapılmış ve tam çarpma anındaki hız değerleri dikkate alınmıştır.

**Tablo 6.** Nümerik modellerle hesaplanan ve farklı eğimlerdeki rampalardan akan suyun havuz tabanına çarpma hızı değerleri

Rampa eğimi	Çarpma hızı (m/sn)
20°	3.219
25°	3.519
30°	3.755



**Şekil 6.** 20, 25 ve 30 derecelik rampalardan akan suyun havuz tabanına çarpma hızını 3 boyutlu simülasyon ile hesaplanması

**Tablo 7.** Farklı eğimdeki rampalardan akan suyun havuz tabanına çarpma hızı değerlerinin ampirik, hidrolik ve nümerik olarak hesaplanmış değerleri

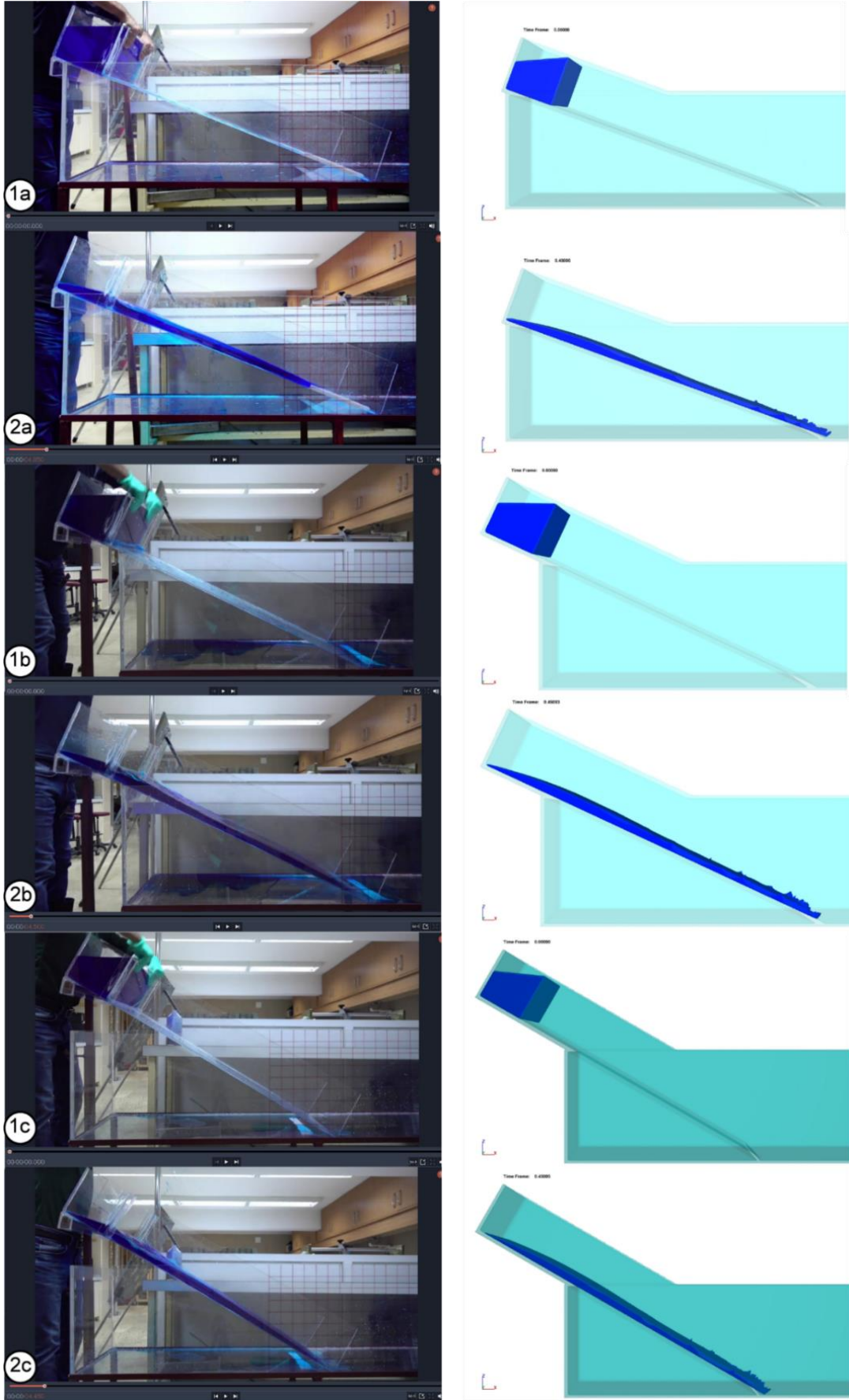
Rampa eğimi	Suyun Çarpma Hızı (m/sn)		
	Ampirik eşitlik	Hidrolik model deneyi	Nümerik simülasyon
20°	3.22	3.23	3.219
25°	3.49	3.45	3.519
30°	3.76	3.70	3.755

Çarpma hızının hesaplanmasına yönelik 3 farklı yöntemden elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Değerler karşılaştırıldığında her 3

yöntemden elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir.

**Tablo 8.** 3 Rampa açısı için varış sürelerinin hidrolik ve nümerik model olarak hesaplanması

Rampa Eğimi	Varış süresi (sn)	
	Hidrolik model	Nümerik model
20°	0.4850	0.48006
25°	0.4500	0.45093
30°	0.4450	0.4500



Şekil 7. (1a ve 2a) 20°, (1b ve 2b) 25° ve (1c ve 2c) 30° rampa açılarında suyun çarpma süresinin hidrolik deney ve 3 boyutlu nümerik analiz ile tespit edilmesi



## 5. Sonuçlar

İtki dalgaları; çiğ, buzul hareketleri, heyelanlar veya kaya dūşmeleri sonucunda baraj rezervuar alanlarında darbe etkisiyle oluşan dalgalar dır. 1963 yılında İtalya'daki Vajont Barajı rezervuarında gelişen bir heyelan sonucunda oluşan 250 metre yüksekliğindeki dalganın barajı aşarak binlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olması, itki dalgalarının yıkıcı etkilerinin hangi boyutlara ulaşabildiğini gösteren en çarpıcı örnektir. Heyelan kaynaklı itki dalgalarının analizine yönelik günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Basit rezervuarlar için ampirik eşitlikler tercih edilse de bu yöntemler içinde en hassas sonuçlar simülasyona dayalı 3 boyutlu nümerik modellerden ve prototip modeller üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilmektedir. Bu çalışmada ise, en önemli itki dalga özelliği olan maksimum dalga yüksekliği ile itki dalgalarının fiziksel özellikleri üzerinde etkili olan malzeme hareket hızı ve çarpma hızı değerleri, 3 farklı yöntem kullanılarak irdelenmiştir. Buna ek olarak ölçek etkisinin dalga özellikleri üzerinde etkisi nümerik modellerle değerlendirilmiştir.

Çalışmada 2.00 m x 0.42 m x 0.47 m boyutlarında bir havuz ve 1.35 m x 0.39 m x 0.22 m boyutlarında bir yükleme rampası tasarlanmış, bu modelin STL geometrisi 3 boyutlu nümerik modelde tanımlanmıştır. Hidrolik model deneylerin gerçekleştirilmesi ve kaydedilmesi amacıyla ise yüksek hızlı bir kamera ve akışkan olarak su kullanılmıştır. Her 3 yöntem için aynı model kullanılmış ve elde edilen 3 ana sonuç aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

(1) Çalışmada ölçek etkisini belirlemek için farklı senaryolarda ve ölçekte model deney kurulmuş, 800, 1200, 1600 ve 2000 kg/cm<sup>3</sup> yoğunluklarda sıvı 1x, 10x 100x ve 1000x ölçeklerde aynı rampa eğimlerinde serbest akışa bırakılmıştır. Her yoğunluk ve her farklı eğim için elde edilen değerler normalize edildiğinde ölçek etkisinin söz konusu olmadığı tespit edilmiştir.

(2) Gerek hidrolik model üzerinde yapılan deneylerden, gerek 3 boyutlu nümerik çözümlerlerden gerekse ampirik eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen su akış hızı, çarpma hızı ve maksimum dalga yüksekliği değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, farkların %2-3 arasında kaldığı belirlenmiştir.

(3) Elde edilen tüm sonuçlar ve yapılan değerlendirmeler, basit geometriler ve kısa mesafeler için itki dalgalarının özelliklerinin belirlenmesinde uygulama kolaylığı açısından ampirik eşitliklerin kullanılabilceğini ve/veya aynı koşullar için ölçek etkisi söz konusu olmaması nedeniyle basit hidrolik modellerin kurulabileceğini göstermektedir.

## Kaynaklar

- Carvalho, R.F. ve Carmo, J.S.A., 2006. Numerical and Experimental Modelling of the Generation and Propagation of Waves Caused by Landslides into Reservoirs and Their Effects on Dams, Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics River Flow 6-8 September 2006, Lisbon, Portugal, Volume 1, p. 483-492.
- Di Risio, M. ve Sammarco, P., 2008. Analytical Modeling of Landslide-Generated Waves. Journal of Waterway, Port, Coast and Ocean Engineering. 134, 53–60.
- Ersoy, H., Karahan, M., Gelişli, K., Akgün, A., Anılan, T., Sünnetci, 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.
- Flow Science, Inc. FLOW-3D Version 11.2 Documentation, Santa Fe, Newmexio, USA, 2016.
- Fritz, H.M., 2002. Initial Phase of Landslide Generated Impulse Waves. PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland, 20p.
- Gabl, R., Seibl, J., Gems, B. ve Aufleger, M., 2015. 3-D-Numerical Approach to Simulate an Avalanche Impact into a Reservoir. Natural Hazards Earth System Science, Discuss 3, 4121–4157.
- Grilli, S.T., Vogelmann, S. ve Watts, P., 2002. Development of a 3D Numerical Wave Tank for Modeling Tsunami Generation by Underwater Landslides. Engineering Analysis with Boundary Elements, 26(4), 301–313.
- Heller, V., 2007. Landslide Generated Impulse Waves Prediction of Near Field Characteristics. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology in Zurich. Switzerland, 135-140p.
- Heller, V., Hager, W.H. ve Minor, H.E., 2008. Scale Effects in Subaerial Landslide Generated Impulse Waves. Experiment of Fluids, 44, 691-703.

- Heller, V., Hager, W.H. ve Minor, H.E., 2009. Landslide Generated Impulse Waves in Reservoirs Basics and Computation: Swiss Federal Institute of Technology in Zurich, Switzerland, 25p.
- Heller, V. ve Kinnear, R.D., 2010. Discussion of (2009) Experimental Investigation of Impact Generated Tsunami; Related to a Potential Rock Slide, Western Norway by G. Sælevik, A. Jensen, G. Pedersen (Coastal Engineering 56:897-906). Coastal Engineering, 57(8), 773–777.
- Hughes, S., 1993. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering: World Scientific, Singapore, 63p.
- URL-1, [https://tr.qwertyu.wiki/wiki/List of Historical Tsunamis](https://tr.qwertyu.wiki/wiki/List_of_Historical_Tsunamis).
- Körner, H.J., 1976. Reichweite und Geschwindigkeit von Bergstürzen und Fliessschneelawinen. Rock Mechanics and Rock Engineering, 8, 225–256.
- Macfarlane, D.F., ve Jenks, D.G., 1996. Stabilisation and Performance of No. 5 Creek Slide, Clyde Power Project, New Zealand, In Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Edited by Sennest, K. Balkema, A. A., Rotterdam, Volume 3, 1739-1746p.
- Montagna, F., Bellotti, G. ve Di Risio, M., 2011. 3D Numerical Modeling of Landslide-Generated Tsunamis Around a Conical Island. Natural Hazards, 58(1), 591–608.
- Müller, D.R., 1995. Auflaufen und Überschwappen von Impulswellen an Talsperren. Mitteilungen 137, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland, 40p.
- Nieuwkoop, J.C. ve Van, C., 2007. Experimental and Numerical Modelling of Tsunami Waves Generated by Landslides. Msc Thesis, Delft University of Technology. Nederland, 40-45p.
- Özalp, S., 2018. Tsunami: Yerküremizin Dev Dalgaları. Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 26, 33-39.
- Panizzo, A., 2004. Physical and Numerical Modelling of Subaerial Landslide Generated Waves. Ph.D. Thesis, Universit`a Degli Studi di L’Aquila, L’Aquila. Italy, 120-125p.
- Panizzo, A., De Girolamo, P. ve Petaccia, A., 2005. Forecasting Impulse Waves Generated by Subaerial Landslides. Journal of Geophysical Research Oceans, 110, 1978–2012.
- Quecedo, M., Pastor, M. ve Herreros, M.I., 2004. Numerical Modelling of Impulse Wave Generated by Fast Landslides. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 59, 1633–1656.
- Shi, C.Q., An, Y., Q. ve Liu, Q., 2015. Landslide-Generated Impulse Waves in Deep V Channel: Runup and Near Field Characteristics. 7th International Conference on Fluid Mechanics, 126, 232 – 236p.
- Solidwork Premium SP5, Concord, Massachusetts, USA, 2016.
- Sue, P., 2007. Modelling of Tsunami Generated by Submarine Landslides. PhD thesis in Civil Engineering, University of Canterbury. New Zealand, 145-156p.
- Wang, F., Zhang, Y., Huo, Z., Peng, X., Wang, S. ve Yamasaki, S., 2008. Mechanism for the Rapid Motion of the Qianjiangping Landslide During Reactivation by the First Impoundment of the Three Gorges Dam Reservoir, China. Landslides, 5, 321-329.
- Wang, L., Chen, ZY., Wang, NX., Sun, P., Yu, S., Li, SY. ve Du, XH., 2016. Modeling Lateral Enlargement in Dam Breaches Using Slope Stability Analysis Based on Circular Slip Mode. Engineering Geology, 209, 70–81.
- Wiegel, R.L., 1964. Oceanographical Engineering: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Yin, Y., Huang, B., Chen, X., Liu, G. ve Wang, S., 2015. Numerical Analysis of Wave Generated by the Qianjiangping Landslide in Three Gorges Reservoir, China. Landslides, 7, 339-349.
- Zweifel, A., 2004. Impulswellen Effekte der Rutschdichte und der Wassertiefe. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland.

# 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 öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği bölüm editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak 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 yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili bölüm editörüne yönlendirilir.

Bölüm editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için bölüm editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletilir.

Değerlendirme sonucu kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu Form’un imzalanması ile yazarlar, makalenin “GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## 5. MAKALE TÜRLERİ

**Dergide 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 kapsamalıdır. **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 yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

## 6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

•**Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları:** A4 formatında, en fazla 15 sayfa olmalıdır. Tüm kenarlardan 2 cm boşluk bırakılmalıdır.

•**Sayfa numaraları:** Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir. Sayfa numarası Times New Roman yazı tipinde ve 11 punto olmalıdır.

•**Satır numaraları:** Satır numaraları makalenin ilk sayfasından itibaren başlayarak ve “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 Onk 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, **değinilen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır). Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hizasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan 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 atf verilen yazar ismine değinildiği durumlarda yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. “Popüler bir çalışmada Harvey (1992) konu ile ilgili olarak .....”, “David ve Clifford’a (2003) göre ...”, “Matthews ve Jones (1997) yapmış oldukları çalışmalarda ...”

Cümle içerisinde atf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen 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 Pontitler’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), TÜBİTAK-TEMA VAKFI yayınları, ISBN 975-403-188-6, Ankara, 218s.

Twiss, R.J. ve Moores, E.M., 1992. Structural Geology: New York, W.H. Freeman and Company, 532 p.

### **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., Deveciler, E. ve Akat, M.U., 1990. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

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: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea Region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.

Boynnton, 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., Kaymakci, N., Sosson, M., et al. (Eds). Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications 340, 113-136.

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 Yerinde 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 Haberi:**

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.



- HACİEFENDİOĞLU K;** Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Trafik Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Tarihi Yapıların Stokastik Dinamik Analizi / *Stochastic Dynamic Analysis of Historical Structures subjected to Traffic-induced Ground Motion using Non-destructive Methods*...298-308
- SAPLIOĞLU M, FAISAL A R;** Sinyal Kontrollü ve Kontrolsüz Kesimlerde Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Davranışlarının Değerlendirilmesi / *Evaluation of Parameters Affecting the Crossing Behavior of Pedestrians on the Main Arterials and Signalized Intersections*.....309-320
- KILINÇ G;** On A New Almost Convergent Sequence Space Defined By The Matrix  $\Delta_u^\lambda$  /  $\Delta_u^\lambda$  Matrisi Yardımıyla Tanımlanan Yeni Bir Hemen Hemen Yakınsak Dizi Uzayı Üzerine.....321-329
- TAN M;** Yeni 2,5-Disubstitüe 1,3,4-Oksadiazol Bileşiklerinin Sentezi / *Synthesis Of Novel 2,5-Disubstitue 1,3,4-Oxadiazol Compounds*.....330-338
- SÜRMEN M, YAVUZ T, SÜRMEN B, İMAMOĞLU A;** Gümüşhane İli Meralarına Ait Vejetasyon ve Bazı Çevresel Özelliklerin Jeostatistiksel Analizi / *Geostatistical Analysis of Gümüşhane Grasslands According to Vegetation and Some Environmental Features*.....339-354
- ÇINAR DEMİR K;** Elektrodepozisyon Yapılan ZnO İnce Filmlerinin Korozyon Davranışı / *Corrosion Behaviour of Electrodeposited ZnO Thin Films*.....355-365
- KARAHAN S;** En Az Beş Yıllık Olan Depolanmış Atık Ofis Kâğıtlarının Geri Dönüşüm Olanaklarının Araştırılması / *Investigation of Recycling Possibilities of Stacked Waste Office Paper for at Least Five Years*.....366-373
- KARAHAN S, KARDEMİR A;** Lazer Baskılı Ofis Kâğıtları Üzerinde Yapılan Mürekkep Giderme İşleminin Süzüntü Suyu Üzerine Etkileri / *The Effects on Waste Water of Deinking Process Made on Laser Printed Office Papers*.....374-384
- ÖZKAN M, GÖRKEM İ Ç;** Muğla Mermerinin Esnek Üstyapılı Yol Kaplamalarında Kullanımının Performansa Etkisinin Değerlendirilmesi, Suya Bağlı Bozulmalara Karşı Direncinin İncelenmesi / *Evaluation of the Effect on Performance of Muğla Marble Usage in Flexible Pavements, Investigation of the Resistance of Water Induced Damages*.....385-394
- TAŞDEMİR M, ŞENASLAN F, ÇELİK A;** Ti45Nb Alaşımının Aşınma Davranışına Anodizasyon Potansiyelinin Etkisi / *The Effect of Anodization Potential on Wear Behaviour of Ti45Nb Alloy*.....395-403
- ŞAHİN M E;** Energy Management and Measurement of Computer Controlled Solar House Model for Rize City / *Rize İli için Bilgisayar Kontrollü Güneş Evi Modelinin Enerji Yönetimi ve Ölçümü*.....404-414
- BAŞÇETİN A, EKER H, ADIGÜZEL D, TÜYLÜ S;** Çimentolu Macun Dolgu Yönteminin Uygulanmasında Bazı Katkı Malzemelerinin Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması / *Investigation of Pozzolanitic Properties of Some Additive Materials in Cemented Paste Backfill*.....415-424
- BAKIR Ç, GÜÇLÜ M, HAKKOYMAZ V, DİRİ B;** Dağıtık Veritabanlarında Saldırı Önleme Metotları / *Intrusion Prevention Methods in Distributed Databases*.....425-441
- FIRAT Y;** Application of the Air Quality Forecasting Analysis Using NARX Models / *NARX Modellerini Kullanarak Hava Kalitesi Tahmin Analizinin Uygulanması*.....442-455
- USLU ŞENEL G, YILMAZ DURDU S;** Organofosforlu Pestisidlerden Phosmet'in *Pseudomonas fluorescens* ile Biyodegradasyonunun Dolgulu Kolon Reaktörde Araştırılması / *Organophosphorus Pesticides Phosmet's Investigation of Biodegradation with Pseudomonas fluorescens in Filled Column Reactor*.....456-462
- KÖSEOĞLU K, CENGİZLER H, İSRAEL İSRAİL L;** Production of Wall Tiles Containing Ulexite Waste at Different Sintering Temperatures / *Üleksit Atığı İçeren Duvar Karolarının Farklı Sinterleşme Sıcaklıklarında Üretimi*.....463-473
- GÜNEY M, KAFKAS S, YAKUPOĞLU G, GÜNDEŞLİ M A;** Bağrıbutün Kavununda Polimorfik Olan Bazı SSR Markörlerinin Belirlenmesi / *Determination of Some Polymorphic SSR Markers in Bağrıbutün Melon*.....474-479
- SEÇGİN Ö;** Torna Tezgâhi ile Delikli Flanş Üretiminde Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu / *Surface Roughness Optimization of Hole Flange Production with CNC Lathe*.....480-485
- ÖZCAN S;** Hermite-Hadamard Type Inequalities for Multiplicatively P-Functions / *Çarpımsal P-Fonksiyonlar İçin Hermite-Hadamard Tipli Eşitsizlikler*.....486-491

<b>BEYLİ K N, YEŞİL M;</b> Ordu Kenti Parklarının Yeterlik ve Ulaşılabilirliği Üzerine Bir Araştırma / <i>An Investigation of the Sufficiency and Accessibility of Parks in the City of Ordu</i> .....	<b>492-504</b>
<b>AKKOÇ S;</b> HeLa ve Beas-2B Hücre Hatlarına Karşı Benzimidazolium Tuzlarının in Vitro Sitotoksik Aktivite Çalışmaları / <i>In Vitro Cytotoxic Activity Studies of Benzimidazolium Salts against HeLa and Beas-2B Cell Lines</i> .....	<b>505-513</b>
<b>KARAHAN M, ERSOY H, ANILAN T;</b> İtki Dalgalarının Oluşumunda Ölçek Etkisi, Hareket Süresi ve Çarpma Hızının Model Deneyle ve 3 Boyutlu Nümerik Simülasyonlarla Değerlendirilmesi / <i>Assessment of Scale Effect, Travel Time, Impact Velocity on Forming of Impulse Waves using Model Tests, 3D Numerical Simulations</i> .....	<b>514-525</b>