



# 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: 8

SAYI/ISSUE : 1

YIL/YEAR : 2018

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

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



EBS CO



TÜBİTAK

ULAKBİM TR DİZİN



*Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**

*Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute*

Cilt/Volume: 8 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2018

Altı ayda bir yayımlanır/ *Published twice 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**

*Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editör / Executive Editor**

*Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*

*Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Yrd. Doç. Dr. Bülent AKAR*

*Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Yrd. Doç. Dr. Lale CONA*

*Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER*

*Yrd. Doç. Dr. Melih OKCU*

*Yrd. Doç. Dr. Talat ÖZDEN*

*Yrd. Doç. Dr. Emre ÖZYURT*

*Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Arş. Gör. Ömer KARPUZ*

*Arş. Gör. Recep ÇAKMAK*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**31 / 01 / 2018**

*Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi yılda iki kez 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. Charyyar Ashyralyev-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. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi  
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. 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. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi  
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology  
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Sunil PROHIT- Rajasthan Technical University  
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.  
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.  
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Keewook YI-Korea Basic Science Institute  
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Yong WANG- University of Manchester  
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi  
Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni.  
Doç. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi  
Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Cemalettin BALTAÇI-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University  
Yrd. Doç. Dr. Muhammet M. KAHRAMAN-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. İlyas KHAN- Majmaah University  
Yrd. Doç. Dr. Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman LERMİ-Niğde Ömer Halisdemir Ü.  
Yrd. Doç. Dr. Seda NEMLİ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Zuhal OKCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University  
Yrd. Doç. Dr. Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Birol ŞAHİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Neveşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

H. Ersen BALCIOĞLU Raif SAKİN Akif Birol DUMANAY Halit GÜN	<b>Kompozit Levhalar için Ankastre-Tip Eğilmeli, Çok Numuneli Yorulma Test Makinesinin Geliştirilmesi</b> <i>Development of Fixed-End Type, multi-Sample Flexural Fatigue Test Systems for Composite Plates</i>	<b>1</b>
Mehmet ARSLAN Nurcan ERBİL Z. Tuğba MURATHAN	<b>Ardahan ve Çevresinde Yabani Olarak Yetişen Gilaburu Meyve Ekstraktının Antimikrobiyal, Antioksidan ve Antimutajenik Aktivitelerinin Araştırılması</b> <i>Investigation of Antimicrobial, Antioxidant, and Antimutagenic Activities of Wild Guelder RoseFruit Extract Grown in Ardahan and Its Surrounding Area</i>	<b>18</b>
Erol ALVER	<b>İyonotropik Jelleşme Yöntemi ile Hazırlanan Kitosan Nanopartiküllerde Hapsetme (Enkapsülasyon) ile Anyonik Boyaların Uzaklaştırılma ve Hapsedilen Boyanın Nanopartikülde Depolanma Etkinliğinin Araştırılması</b> <i>Investigation Removal Effectiveness of Anionic Dyes via Encapsulation in Chitosan Nanoparticles Prepared by Ionotropic Gelation Method and the Dye Storage Performance in Nanoparticles</i>	<b>26</b>
Sinan NACAR Murat KANKAL M. Ali HINIS	<b>Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği</b> <i>Estimation of Daily Streamflow Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)-A Case Study of Haldizen Stream</i>	<b>38</b>
Kemal SAPLIOĞLU A. Osman DAHİR T.Suğra KÜÇÜKERDEM	<b>Somaliland Bölgesi (Somali) Yağışlarının Trend Analizi</b> <i>Trend Analysis of Somaliland Region Precipitation, Somalia</i>	<b>48</b>
Mustafa KANIK Zülfü GÜROCAK	<b>Kazı Derinliğinin Püskürtme Beton Dayanımı Üzerindeki Etkisi: Sayısal Bir Yaklaşım</b> <i>Effect of Excavation Depth on Shotcrete Strength: A Numerical Approach</i>	<b>63</b>
Muhammed İLKUÇAR A. İhsan KAYA Ahmet ÇİFCİ	<b>Mekanik Özelliklere Göre Ağaç Türlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini</b> <i>Predicting wood types in terms of mechanical properties using artificial neural networks</i>	<b>75</b>
Volkan SEZER	<b>Metrobüs Şaft Torkunun Sınırlandırılmasına Yönelik Hibrit Güç Aktarma Yapısı ve Güç Yönetim Sistemi Tasarımı</b> <i>Design of Hybrid Power Transmission Architecture and Power Management Strategy for Metrobus Shaft Torque Limitation</i>	<b>84</b>
Gökhan DEMİR	<b>Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi</b> <i>Landslide Susceptibility Analysis by using GIS for Suşehri (Sivas)</i>	<b>96</b>
Tuba ACET Kadriye ÖZCAN	<b>Aslanpençesi (Alchemilla ellenbergiana) Ekstrelerinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Lady's Mantle (Alchemilla ellenbergiana) Extracts</i>	<b>113</b>
Ümit AYATA Nevzat CAKICIER	<b>ThermoWood Metoduna Göre Isıl İşlem Görmüş ve Su-Bazlı Vernikler Uygulanmış Ahşap Malzemeler Üzerinde Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Etkisine Karşı Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi</b> <i>Determination of Surface Roughness Against the Effect of Accelerated UV Aging on Water-Based Varnish Applied and Heat treated Wood Materials According to ThermoWood Method</i>	<b>122</b>
Aykut AKGÜN	<b>Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği</b> <i>Landslide Susceptibility Analysis by Fuzzy Adaptive Resonance Theory (FuzzyART) Method: Tonya (Trabzon) Example</i>	<b>135</b>
Utku ZEYBEKOĞLU	<b>Bulanık C Ortalamalar Yöntemi ile Karadeniz Bölgesi Standart Süreli Yağış Şiddetlerinin Kümelenmesi</b> <i>Clustering of Standard Duration Rainfall Intensity of the Black Sea Region by Fuzzy C Means Method</i>	<b>147</b>

Meral OLTULU M. Gökhan ALTUN	<b>Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar</b> <i>The Drop Weight Test Method to Determine Impact Strength of Concrete and A Review of Research</i>	<b>155</b>
Melek TAŞ Funda TAŞDEMİR	<b>Boole Yakın Halkalar ve Boole İdealler</b> <i>Boolean Near Rings and Boolean Ideals</i>	<b>164</b>
<b><u>Editöre Mektup / Letter to the Editor</u></b>		
Hakan BOZDOĞAN	<b>Altıngözlü Böcekler Neden Antenlerini Kırarlar?</b> <i>Why Do Golden Eyed Lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) Break Their Antennas?</i>	<b>173</b>

---

# Kompozit Levhalar için Ankastr-Tip Eğilmeli, Çok Numuneli Yorulma Test Makinesinin Geliştirilmesi

## Development of Fixed-End Type, multi-Sample Flexural Fatigue Test Systems for Composite Plates

H. Ersen BALCIOĞLU\*<sup>1,a</sup>, Raif SAKİN<sup>2,b</sup>, Akif Birol DUMANAY<sup>3,c</sup>, Halit GÜN<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Edremit MYO, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Edremit MYO, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE

• Geliş tarihi / Received: 07.04.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.07.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 02.08.2017

### Öz

Bu çalışmada, fiber takviyeli kompozit levhalar, ahşap levhalar, plastik esaslı levhalar ve hafif metalik levhaların eğilmeli yorulma davranışlarını karakterize eden özgün bir yorulma test makinesi geliştirilmiştir. Geliştirilen özel bilgisayar yazılımı ile kontrol edilebilen ankastr-tip eğilmeli test makinesi, yorulma testi için deplasman kontrol metodunu kullanmaktadır. Yorulma testleri uzun süren mekanik testlerdendir. Geliştirilen test makinesi aynı anda 10 numuneyi test edebilme özelliği sayesinde zamandan ve enerjiden tasarruf edilebilmektedir. Yazılım ara yüzü üzerinden yapılacak basit veri girişleri ile farklı sehim oranları (R) ve 0.1-10 Hz frekans altında yorulma testleri yapılabilmektedir. Her bir numune için test zamanı, test frekansı, eğme kuvveti, rijitlik kaybı, yük tekrar sayısı gibi parametreler hem yazılım ara yüzünden hem de internet üzerinden izlenebilmektedir ve müdahale edilebilmektedir. Numunelerinden herhangi biri hasara uğradığında araştırmacının e-postasına uyarı mesajı ve ilgili test verilerini gönderebilmektedir. Performans ve kalibrasyon için yapılan eğilme testlerinden elde edilen sonuçların, literatürdeki benzerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ankastr tip eğilmeli yorulma, Çok numuneli test makinesi, Kompozit levha, Sehimsiz kontrolü yorulma

### Abstract

In this study, a unique fatigue testing machine, which characterizes the flexural fatigue behavior of fiber-reinforced composite plates, wooden plates, plastic-based plates and light metal plates, has been developed. Fixed-end type flexural fatigue test machine, which can be controlled by developed special computer software, uses displacement control method for fatigue tests. Fatigue tests are long-running mechanical tests. The developed fatigue test machine can save time and energy under favor of the ability to test 10 samples simultaneously. Fatigue tests can be performed under different displacement rates (R) and 0.1-10 Hz frequency with simple data entries via the software interface. All parameters such as test time, test frequency, bending force, loss of stiffness, load repetition for each sample can be monitored and controlled both in software interface and on internet. If any of the specimens are damaged, a warning message is sent to the investigator's e-mail along with the relevant test data. It has been observed that the results, which were obtained from the bending tests performing for performance and calibration, are consistent with those in the literature.

**Keywords:** Fixed-end type flexural fatigue, Multi-sample testing machine, Composite plates, Displacement-controlled fatigue

\*a H Ersen BALCIOĞLU; ersen.balcioglu@usak.edu.tr; Tel: (0276) 221 21 36; orcid.org/0000-0002-8579-5142

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6009-9573

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-0573-4962

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-8107-5036

## 1. Giriş

Makine tasarım ve imalatı sırasında tasarımcılar için önemli aşamalardan birisi de malzeme seçimi ve boyutlandırma aşamasıdır. Bu aşama, makinenin ergonomik yapısını ve kullanılan malzeme miktarı, işçilik vb. gibi üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Tasarımcıların boyutlandırma sırasında malzemenin statik mukavemet değerlerine bağlı kalması her zaman doğru bir yaklaşım değildir. Tekrarlı yüklemeler altında çalışan malzemeler, statik dayanımlarının altındaki gerilme değerlerinde hasara uğrayabilmektedirler. Literatürde bu şekilde hasara uğrama olayı “yorulma” veya “yorulma hasarı” olarak adlandırılmaktadır. Dinamik yükler altında çalışan makine elemanlarının tasarımı ve boyutlandırılması için yorulma davranışlarının ve dayanımlarının doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Statik deneylerin aksine, yorulma deneyleri yükleme tipine farklılık gösteren ve uzun süren deneylerdir. Bu bağlamda uzun süre çalışabilecek konstrüksiyona sahip, farklı parametreler altında yorulma deneyi yapabilen ve bu parametrelere ait her bir veriyi kayıpsız alabilen bir test cihazı tasarlamak önemlidir.

Gelişen üretim teknolojileri ve azalan doğal kaynaklar üreticileri geleneksel imalat malzemelerine alternatif olabilecek yeni arayışlara sevk etmiştir. Günümüzde üretici ve son kullanıcıların yapı malzemelerinden beklentileri düşük ağırlık ve buna karşın yüksek mukavemet özelliğidir. Özellikle havacılık, otomotiv ve savunma sanayi gibi sektörlerde ağırlık kazanan bu istek kompozit yapı malzemelerinin doğuşunu tetiklemiştir. Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla malzemenin kendi özelliklerinden daha üstün özellikte bir yapı meydana getirmek için makro düzeyde birleşmesiyle meydana gelen yapılardır. Kompozit gibi heterojen malzemeler anizotropik yapıda olduğu için geleneksel yorulma cihazları ve yöntemleri ile yorulma davranış parametrelerini karakterize etmek zordur (Mokhtarnia vd., 2016; Sakin ve Ay, 2008). Önemli parametrelerin ayarı ve kontrolü bu cihazlar ile kolay değildir. Bu durum yüksek hata oranlı sonuçlar elde edilmesine sebep olur. Buna ek olarak, servo-hidrolik yorulma test makinelerinin bakım ve servis maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca, bu test makinelerinde test sürecinde sürekli operatörün dikkati gerekir. Uygulamada karşılaşılan bu ve benzer eksikliklerden dolayı, kompozitin önemli test parametrelerinin tanımlanması ve lineer-olmayan hasar mekanizmasının etkisi altındaki yorulma

hasar sürecinin değerlendirilmesi zordur. Bu tür cihazların bir diğer kısıtlılığı, farklı frekans ve gerilme oranları gibi bütün önemli test parametrelerini karşılayacak kapasiteye sahip olmamalarıdır (Ben Zineb vd., 2003; Hoefnagels vd., 2008; Kolluri vd., 2009; Mokhtarnia vd., 2016). Ayrıca, bu cihazların birçoğunda aynı anda ancak tek bir numunenin test edilebilmesi, hem test süresini hem de test maliyetini çok fazla arttırmaktadır. Bazı çalışmalarda ise test süresini azaltmak için yüksek frekans üreten vibrasyon cihazları geliştirilmiştir (Foong vd. 2006; George, 2004; Mokhtarnia vd., 2016; Stanzl-Tschegg, 2014; Xue vd. 2008; Yun vd., 2012). Yorulma testlerinde malzemenin yorulma ömrünün belirleyen en önemli iki parametre genlik ve frekanstır. Yüksek frekans altında yapılan yorulma testi sonuçları ile düşük frekansta çalışacak bir malzemenin seçimini yapmak ve o malzemenin yorulma ömrünü yorumlamak doğru değildir. Örneğin, yüksek frekans yorulma cihazları ile rüzgâr türbininde ya da gemi pervanelerinde yapı malzemesi olarak kullanılacak ve düşük frekanslarda çalışacak kompozit malzemeyi test etmek, sonuçlara göre fiber malzemesi seçimi ya da boyutlandırma yapmak uygun değildir (Lai vd., 2011). Yorulma cihazın test frekansı ile gerçek yükleme şartları altında çalışan malzemenin rezonans frekansı da aynı olmalıdır (Mokhtarnia vd., 2016). Ayrıca yüksek frekans test cihazları, yalnızca belirli bir boyut ve şekle sahip numuneleri bağlayabilme gibi bazı dezavantajları vardır. Dolayısıyla yüksek frekanstaki titreşim bazlı cihazlar ile yapılan çalışmalar (Di Benedetto vd., 2004; George, 2004; Ghielmetti vd., 2011; Stanzl-Tschegg, 2014; Xue vd., 2008; Yun vd., 2012) yukarıda açıklanan sınırlamalardan dolayı gerçekte düşük frekans altında çalışan fiber takviyeli polimer kompozitlerin yorulma araştırması için uygun değildir. Bunun yanında, kompozitler için standart test frekansı aralığı 1-10 Hz gibi düşük frekanstır. Çünkü yüksek frekanslarda, kompozitin izotermal davranışları ve histeretik ısıtmadan dolayı test sırasında sıcaklık artışları meydana gelir (Ay vd., 2008; Mokhtarnia vd., 2016; Sakin vd., 2008).

Bu çalışmada, önceki yorulma test makinelerindeki sınırlamalar ve dezavantajların dayattığı zorluklar, toplam test süresi, mekanik verimlilik, düşük üretim maliyeti gibi özellikler göz önüne alındığında fiber takviyeli kompozit plakaların yorulma davranışlarının incelenmesi için çok numuneli yeni bir yorulma test makinesi geliştirmek hedeflenmiştir. Yorulma gibi dinamik testlerde, statik testlerde olduğu gibi belirgin bir hasar şekli (kırılma, ayrılma, büyük şekil

değişimleri vb.) ortaya çıkmayabilir. Bu duruma sıklıkla polimer matrisli kompozit malzemelerde karşılaşılmaktadır. Böyle bir durumda polimer matrisli kompozit malzemelerin yorulma mukavemeti-yorulma ömrünü gösteren S-N eğrisini (Wöhler eğrisi) elde etmek için fazla sayıda deney yapma zarurietini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca elde edilen birbirinden farklı sonuçları doğru anlayabilmemiz için sonuçların istatistiki olarak yorumlanması gerekmektedir. İstatistiksel analizde kullanılması gereken veri adedi de deney sayısını arttırmaktadır. Çalışma kapsamında tasarım ve imalatı gerçekleştirilen sehim kontrollü eğilmeli yorulma cihazı aynı anda 10 adet numuneyi test edebilecek kapasiteye sahiptir. Yükleme frekansı ve gerilme oranı gibi parametrelerin ayarlanabileceği şekilde bir kontrol ve yazılım sistemi ile donatılmıştır. Buna ek olarak, yük çevrimi ve gerilme (rijitlik kaybı) değişimlerinin izlenmesi ve ölçülmesi için bir ölçüm sistemi geliştirilip, kalibre edilmiştir. Sonuçta, yorulma test makinesinin performans ve kalibrasyonu fiber takviyeli kompozit levhalar üzerinde yapılan yorulma testleriyle değerlendirilmiştir.

Özellikler hafif levha tipi malzemeler için çok az sayıda "çok numuneli" yorulma tasarımı yapılmış test makinesi vardır (Ay vd., 2008; Sakin, 2016; Sakin vd., 2008; Waring vd., 1980; Wu vd., 2001; Yun vd., 2012). Bu nedenle, bu çalışma literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak uzaktan kontrol edilebilir kullanıcı dostu ara yüze sahip olması, yüksek frekanslarda dahi her bir numune için anlık yorulma verilerinin kayıpsız alınabilmesi gibi özelliklere sahip olmasından dolayı özgündür. Yorulma test cihazı servo motorundan aldığı tahrikle deplasman kontrollü olarak yorulma testini gerçekleştirmektedir. Yazılım ara yüzü üzerinden yapılacak basit veri girişleri ile farklı test frekansları ve farklı sehim oranları (R) altında testler yapılabilir. Cam, karbon, aramid gibi fiber takviyeli kompozit levhaların yanı sıra, diğer genel olarak test edilebilecek malzemeler; ahşap levhalar, plastik esaslı levhalar, fiber takviyeli kompozit levhalar ile alüminyum gibi hafif metalik levhalardır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Tasarım Esasları

Yorulma test makinelerinin hemen hemen tamamında aynı anda "tek numune" test edilir. Hâlbuki malzemenin yorulma dayanım sınırını karakterize eden S-N eğrilerini elde edebilmek için, her bir sehim veya gerilme değerine karşılık

en az 5 adet numune test etmek gerekir. Genel olarak; S-N eğrisini doğru olarak oluşturabilmek için malzemelerin maksimum dayanımından yaklaşık %20 oranında sürekli azaltılarak 7-8 farklı nokta için testler tekrarlanır. Bu durumda, tek bir malzeme parametresi için elde edilecek S-N eğrisi için ortalama 35-40 adet numunenin yorulma testine tabi tutulması anlamına gelir. Klasik yorulma test makinelerine örnek olarak; 2 farklı malzeme parametresi için, 10Hz test frekansı altında, her bir gerilme noktası için 5 adet numune, her bir parametre için 40'ar adet numune olmak üzere toplam 80 adet numune kullanmak gerekir. Bu durumda, 10 milyon yük tekrar sayısına kadar devam etmesini planladığımız "yüksek çevrimli yorulma" testi için numune bağlama ve diğer yan süreler hariç toplam test süresi yaklaşık 146 gündür. Bu çalışmadaki on numuneli test makinesinde ise toplam test süresi on kat azalmaktadır. Özellikle kompozitlerin yorulma testlerinde 10 Hz'lik frekansın üzerine çıkılmaması önerildiğinden ve bu testler çok uzun sürmesi, pahalı ve zahmetli olduğundan toplam test süresi büyük önem arz etmektedir (Di Franco, Marannano, Pasta, & Mariotti, 2011).

Klasik eğilmeli yorulma test makinelerinin hemen hemen tamamında sehim değeri, krank-biyel mekanizması ile elde edilir. Maksimum ve minimum sehim değeri genelde mekanik konstrüksiyon üzerinden el yardımıyla ayarlanmaktadır. Dinamik çalışma anında bu mekanizmalar ile "sabit bir sehim değeri" elde etmek hem zordur hem de hassasiyet konusu tartışmalıdır. Krank-biyel mekanizması kullanılan eğilmeli yorulma testlerinde, farklı sehim veya gerilme oranı (R) altında test yapmak zordur. Çünkü test frekansı arttıkça her farklı gerilme oranı (R) elde etmek için, krank yarıçapı, biyel kolu uzunluğu veya numune bağlama mesafesinin değiştirilmesi gerekir. Ayrıca bu tip test cihazlarında yapılan yorulma testlerinde yüksek frekanstan dolayı merkezkaç kuvvetinin de etkisi devreye girmektedir. Geliştirdiğimiz test makinesinde "sehim değeri"; yazılım ile kontrol edilen servo-motorun sağa/sola döndürülmesi vasıtasıyla ileri/geri hareket eden lineer vidalı hareket tablası sayesinde 5 µm hassasiyetle sağlanmaktadır. Ayrıca klasik test makinelerine kıyasla, test süresince bu gerilme oranı değişmeden aynı hassasiyetle tekrarlanabilir.

Klasik yorulma test makinelerinde, test için "başlangıç sıfır pozisyonunu" tanımlamak ve ayarlamak, bir diğer önemli zorluktur. Ankastré tip yorulma cihazlarında sıfır pozisyonu tam belirlenemezse, eksen kaçıklığından dolayı



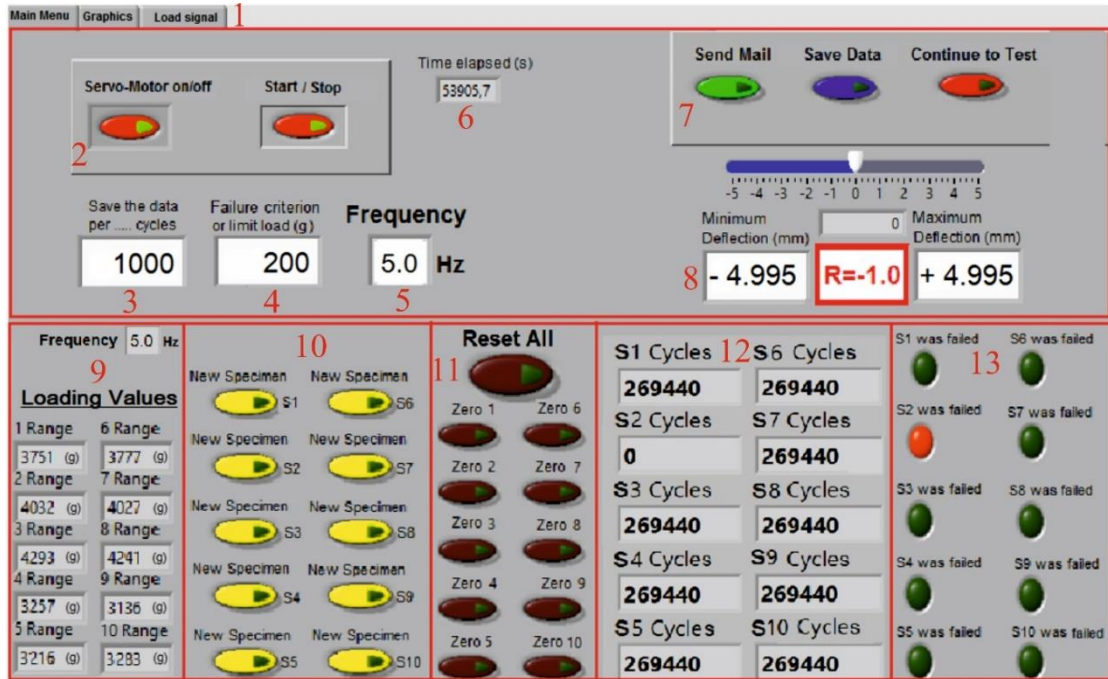
oluşacak moment numunede ön gerilmeye sebep olur. Bu durum malzemenin gerçek S-N eğrisinin belirlenmesinde olumsuz yönde etki etmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen yorulma test makinesinde hafızaya kayıtlı olan "başlangıç sıfır pozisyonu" tanımlama işlemi yazılım ara yüzündeki tek bir buton ile sağlanmaktadır. Yani test tamamlandığında cihaz dur butonu ile başlangıç sıfır pozisyonuna gider ve devamındaki teste aynı konumdan başlar. Klasik yorulma test makinelerinde ani bir problemden dolayı makine durdurulduğunda, tekrar çalıştırma anına kadar geçmişte elde edilen eğme kuvveti ve rijitlik kaybı, yük tekrar sayısı gibi çok kıymetli verilerin ne olduğu konusu tartışmalıdır. Bu çalışmadaki yorulma test makinesi için geliştirdiğimiz yazılım ara yüzü üzerindeki "teste devam" butonu sayesinde önceki verilerin üzerine ilave edilerek "veri kaybı olmaksızın" teste devam edilebilir. Yukarıda bahsedilen ve tekniğin en çok bilinen klasik eğilmeli yorulma test makinelerine örnek olarak literatürdeki çalışmalar verilebilir (Abo-Elkhier vd., 2014; Azzam ve Li, 2014; Babu ve Srinivas, 2014; Bura ve Dvr, 2014; Di Franco vd., 2011; Filatov, 1989; Koricho vd. 2014; Mini vd., 2012). Çok numuneli eğilmeli yorulma test makineleri için literatürdeki, çekme-çekme (Ay vd., 2008; Sakin, 2016; Sakin vd., 2008; Yamamoto vd., 2013; Yun vd., 2012), basma-basma (Pach vd., 2012; Shokrieh vd., 2014) ve kayma tipi (Degallaix vd., 2002; Philippidis ve Vassilopoulos, 2002) yorulma test makineleri örnek verilebilir.

## 2.2. Kontrol Yazılımı ve Ara Yüzü

Bilgisayar kontrollü ankastre-tip eğilmeli yorulma test makinesi geliştirilen yazılım sayesinde tamamen bilgisayar kontrollü olarak çalışmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen yazılım ara yüzü Main Menu, Graphics ve Load signal (1) olmak üzere 3 ana sekmede derlemiştir (Şekil 1).

Main Menü sekmesinde test parametrelerine ait veriler gösterilmektedir. Bu sekme üzerinde yorulma testinden elde edilen verilen saklanma sıklığı, yorulma hasar kriteri gibi test parametrelerinin giriş yapılmaktadır. Ayrıca test süresi, çevrim sayısı, lineer vidalı hareket tablasına ileri/geri hareket miktarı, her bir numune üzerindeki yorulma yükü ve hasara uğrayan test numunelerinin bilgisi takip edilebilmektedir. Bununla birlikte, yazılım 1,5 kW'lık Delta marka servo motorun yazılımı ile senkronize çalışarak, motorun yorulma testi sırasındaki frekans parametrelerini kontrol edebilmektedir.

Graphics sekmesinde test frekansına ait bilgiler grafiksel olarak ifade edilmiştir (Şekil 5). Kontrol edilebilir servo motoru ile yorulma testi sırasında farklı frekans eğrileri (Üçgen kesitli, kare kesitli, sinüzoidal vb.) elde etmek mümkündür. Load signal sekmesinde ise her bir yük hücresinden alınan gram cinsindeki yük değerleri her bir test numunesi için ayrı ayrı okunabilmektedir.



Şekil 1. Yorulması test makinesi için yazılım-ara yüzü

### 2.3. Yorulma Test Makinesi

10 numuneli ankastre-tip eğilmeli yorulma test makinesi Şekil 2.'de gösterilmiştir. Çalışma prensibinin daha iyi anlaşılması için Şekil 3. üzerindeki parçalar numaralandırılmış ve numaraların tanımları verilmiştir. Lineer vidalı hareket tablasının (17) ileri/geri hareketi esnasında yük hücreleri (19) üzerindeki minimum veya maksimum kuvvet değerleri "gram" olarak yazılım ara yüzünden (3) görülebilir. Aynı zamanda, test anındaki "sehim değeri", (22) nolu sehim kontrol sensörü yardımıyla sürekli olarak yazılım ara yüzünden gösterilmektedir. Böylece, sensör tutucuya (23) monteli olan manyetik okuyucu-lineer enkoder (22) sayesinde sehim değerini hassas izleme ve geri besleme sağlanabilmektedir.

Uzun süren testlerde kullanıcı, yorulma test makinesini çalıştırıpuzaktan makineyi takip edebilir. Bu amaçla, bir IP kamera (9) ve verilen statik IP ile internet bağlantısı ile farklı bir konumdan yorulma test makinesinikontrol ve kumanda edebilir. Test esnasında bütün numuneleri iyi görebilmek için IP kameranın istenilen açıda ayarlanabilir. Acil stop düğmesine (5) basıldığında yorulma makinesi anında durmaktadır. Benzer şekilde, yanlış bir ayar ile lineer vidalı hareket tablası hareket sınırları dışına çıkmaya çalışırsa limit emniyet sensörleri (30) devreye girerek servo-motorun (18) hareketini durdurur. Ana pano içinde elektrik/elektronik sistem devre elemanları, PC kasası (2) içinde verilerin kayıpsız ve hızlı bir şekilde kaydedilmesini sağlayan katı hal diski (SSD) ve yük hücrelerinden alınan elektrik sinyallerinin sayısal verilere çeviren DAQ kart mevcuttur. Yorulma test makinesi üzerindeki titreşimleri azaltmak için ise, test makinesi şasesi (12) ile alt bağlama U-profilini (13) arasında dört adet lastik takoz (14) kullanılmıştır.



Şekil 2. Bilgisayar kontrollü çok numuneli ankastre tip eğilmeli yorulma test cihazı

Viskoelastik malzemelerin yorulma incelenmesi iki modda yapılır; özellikle yorulma mekanizmasının değerlendirilmesi prosedüründe, test metoduna göre ya sehim-kontrollü veya gerilme-kontrollü olarak iki farklı modda testler yapılır (Mokhtarnia vd., 2016; Roudet, 2002). Bu çalışmadaki yorulma test cihazının ana özelliği, sabit sehim-kontrollü test yapabilme kabiliyetidir.

### 2.4. Test Sisteminin Tasarımında Dikkate Alınan Parametreler

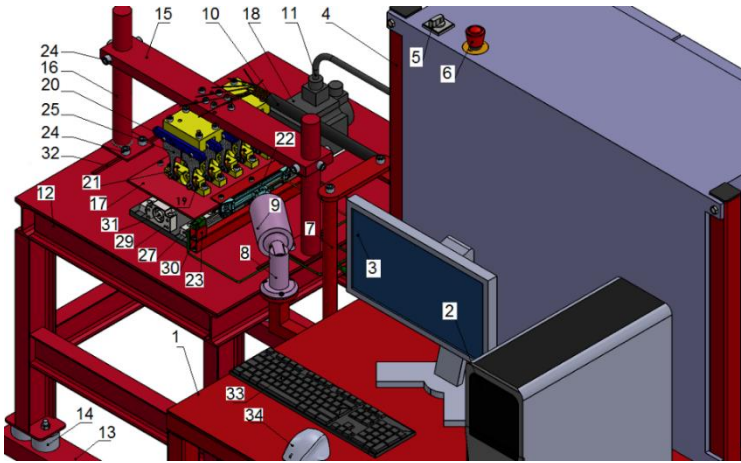
Bu çalışmanın öncesinde, bilgisayar kontrollü ve çok numuneli eğilmeli yorulma test makinesini tasarlamak için bazı temel ve önemli ihtiyaçlara karar verilmiş ve aşağıdaki gereksinimler ve teknik problemlerin çözümü karşılanması amaçlanmıştır:

1. Sehim (deplasman) kontrollü yorulma testi uygulama becerisi;
2. Aynı anda 5 veya 10 adet numuneyi yorulma testine tabi tutma özelliği; Böylece klasik test makinelerine göre 10 kata kadar zaman tasarrufunun sağlanması.
3. Servo-motor ve yazılımı sayesinde; klasik test makinelerinden farklı olarak istenen sehim değerleri 5 µm hassasiyetinde uygulanabilmesi ve test süresince sabit kalması.
4. Herhangi bir pozitif veya negatif R oranında ( $R = \epsilon_{\min} / \epsilon_{\max}$ ) test yapılabilme yeteneği; Sehim değerleri, lineer enkoder ve manyetik okuyucu sensör ile hassas olarak gözlenmesi ve geri besleme sağlanabilmesi.
5. ASTM D671 standardına uygun Tip-A ve Tip-B numune ve farklı ölçülerde dikdörtgen boyutlarda düz numune bağlayabilme özelliğinin olması. Bu düz numunelerin boyut sınırları ise iki grup olarak belirlenebilmesi; a) 8.9 – 25.4 mm arasında en, 50.8 – 190.5 mm arasında boya sahip 10 adet numune sağ ve sol bloktaki numune yerlerine, b) maksimum 50.8 mm en ve maksimum 190.5 mm boya sahip olan 5 adet numune merkezdeki orta bloğa bağlanabilmesi.
6. Yük kapasitesi her bir yük hücresi için maksimum 500 N olmak üzere toplam 5000 N'dur.
7. Servo-motor sürücüsünün kontrol paneli üzerindeki parametrelerin ayarlanması ile farklı yükleme dalga şekilleri (kare, üçgen, yamuk vb. formlar) oluşturma yeteneğinin olması;

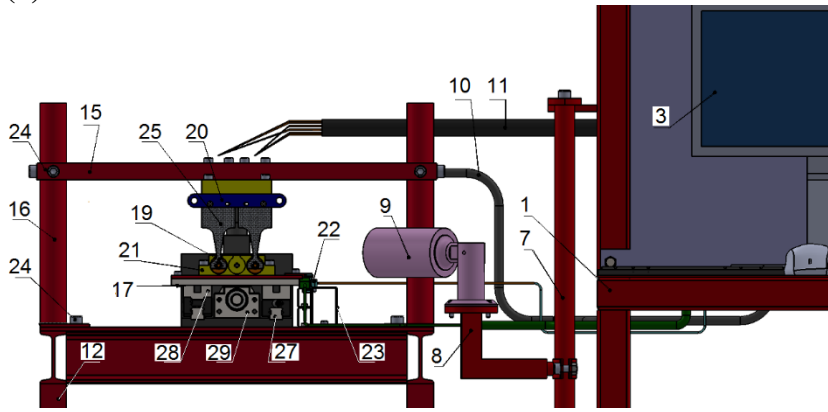
8. Teste başlangıç “sıfır pozisyon” ayarının hassas olarak elde edilebilme imkânının olması;
9. Farklı yükleme frekansları (0.1 – 10 Hz) oluşturma ve ayarlama yeteneğine sahip olması;
10. Yüksek çözünürlüklü IP kamera ile internet veya yerel ağ üzerinden çevrimiçi izleme ve uzaktan kontrol edilerek başında operatör olmadan 7 gün 24 saat çalışma özelliğine sahip olması;
11. Her bir test numunesinin hareketli ucuna monteli yük hücreleri sayesinde, test süresince numunelerin yatay yönde taşıdığı eğilme kuvvetini ölçme özelliğine sahip olması ve ayrıca, bu yük hücreleri sayesinde testin her anında her bir numunenin "rijitlik kaybı" yazılım üzerinden izlenebilmesi.
12. Bütün parametre ve verilerin (test frekansı, eğme kuvveti, zaman, yük tekrar sayısı vs.)

bilgisayarın diskine (SSD) anlık veya girilen “yük tekrar sayısı” aralıklarında kaydetme özelliğinin olması;

13. Teste ara verildiğinde geçmişte elde edilen verilerin “teste devam” tuşu ile yeni verilere ilave edilme özelliği sayesinde veri kaybı olmaksızın teste devam edilebilmesi.
14. Test esnasında herhangi bir numune kırıldığında veya girilen rijitlik kaybına uğrayarak hasar gördüğünde, sistem otomatik olarak tanımlanan araştırmacıya bildirim e-postası (numune no, kırılma yükü, hasar çevrim sayısı, zaman, vb.) gönderebilmesi.
15. Düşük üretim, bakım ve çalıştırma maliyetine sahip olması; düşük bakım ve çalışma maliyeti ve operasyonel sadeliği ile bir yorulma test makinesinin tasarımı ve imalatı arzulanan bir durumdur.



(a)



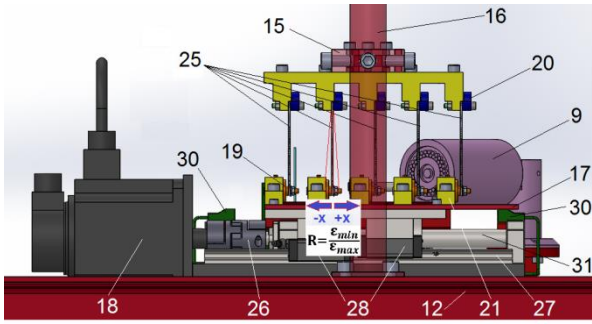
(b)

1. Şase-1
2. PC
3. Yazılım ara yüzü
4. Ana kontrol paneli
5. Sistem başla/durdur butonu
6. Acil stop-switch
7. Döner kamera tutucu
8. Kamera ayarlama mekanizması
9. IP kamera
10. Yük hücresi kabloları
11. Güç kablosu
12. Şase-2
13. Alt sabitleme U-profil
14. Kauçuk amortisörler
15. Yükseklik ayarlama bloğu
16. Tutucu kollar
17. Lineer kayma tablası
18. Servo-motor
19. Yük hücresi
20. Tutucu-1 (numune sabitleme yeri)
21. Tutucu-2 (numune hareket bölgesi)
22. Manyetik okuyucular ve lineer enkoder
23. Sensor tutucu
24. Mesafe ayarlama vidaları
25. Test numuneleri
26. Kaplinler
27. Lineer kızaklar
28. Lineer raylar
29. Rulmanlar
30. Limit-emniyet sensörleri
31. Vidalı mil (adım=20mm)
32. Sürgülü taban plakası
33. Klavye
34. Mouse

Şekil 3. Yorulma test cihazı (a) izometrik (b) ön görünüş.

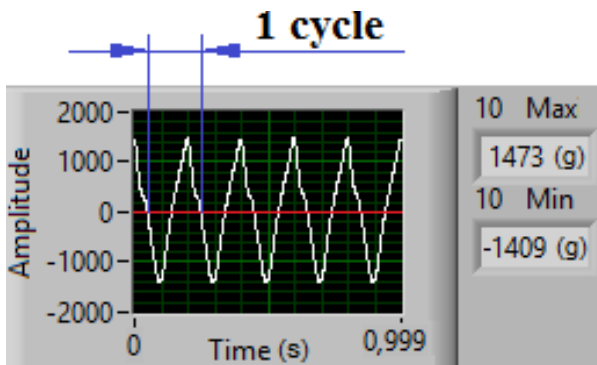
## 2.5. Servo-Motor ve Lineer Vidalı Hareket Tablası

Yorulma makinesinde, eğilme yükü servo-motor tarafından tahrik edilen lineer vidalı hareket tablasının ileri-geri hareketi ile verilir. Eğilme yükü ise, her bir numunenin hareketli tarafındaki numune tutucuya sabitlenen yük hücreleri tarafından ölçülmektedir. Bu mekanizma ile monotonik, tekrarlı, sehim-kontrollü testi mümkün olabilmektedir.



Şekil 4. Yorulma test cihazı yan görünüş

Lineer vidalı hareket tablası sisteminin en önemli parçaları, servo-motor (18) ve 20 mm vida adımına sahip ana milidir (17) (Şekil 4.). Servo motor ve servo sürücüye ait özellikler Tablo 1.'de verilmiştir. Ana mil için gerekli olan güç, direk olarak servo-motor tarafından sağlanır. Bu sistem Şekil-4'de görülmektedir. Servo-motorun mili kaplin (30) ile yük miline bağlanmıştır. Farklı yükleme frekansları yazılım ara yüzünden girilecek sehim değerleri ile üçgen dalga form elde edilmektedir. Şekil-5'de 5 Hz frekans altında tam-değişken ( $R=-1$ ) yüklemde tipik bir üçgen dalga formu verilmiştir. Diğer dalga formları ise servo-motorun kendi yazılımı üzerinden kontrol ederek elde edilebilir.



Şekil 5. 5 Hz frekans altında tam-değişken ( $R=-1$ ) yüklemde tipik bir üçgen dalga formu

Tablo 1. Servo motor ve servo sürücünün özellikleri

Firma	DELTA ELECTRONICS
Motor model	ECMA – E11315RS
Nominal güç	1.5 kW
Nominal hız	2000 rpm
Nominal tork	7.16 N.m
Nominal akım	8 A
Sürücü modeli	ASD-A2-1521 M
Mode	Pozisyon ve hız kontrollü

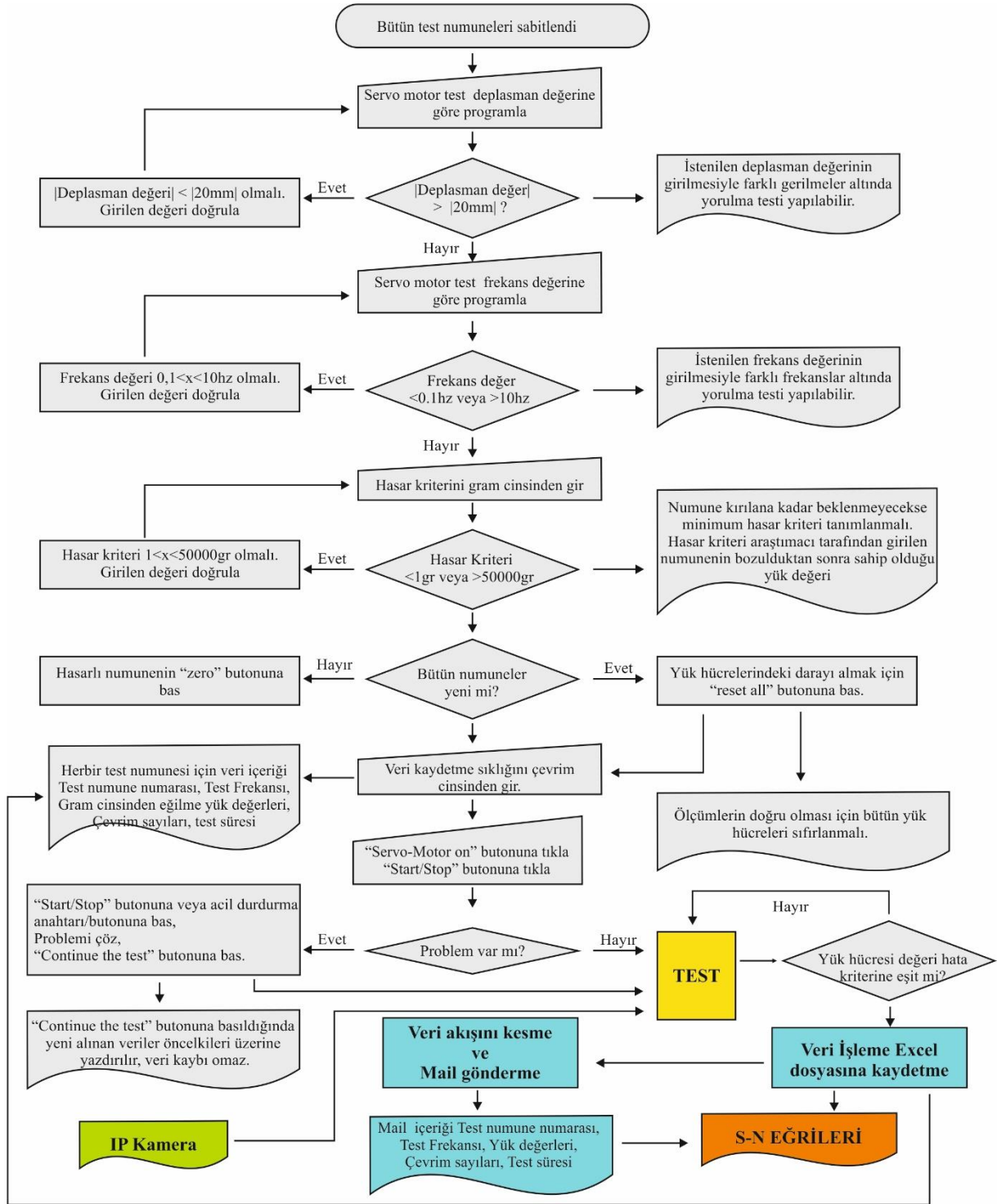
## 2.6. Uzaktan Test, Veri Takip ve Uyarı Sistemi

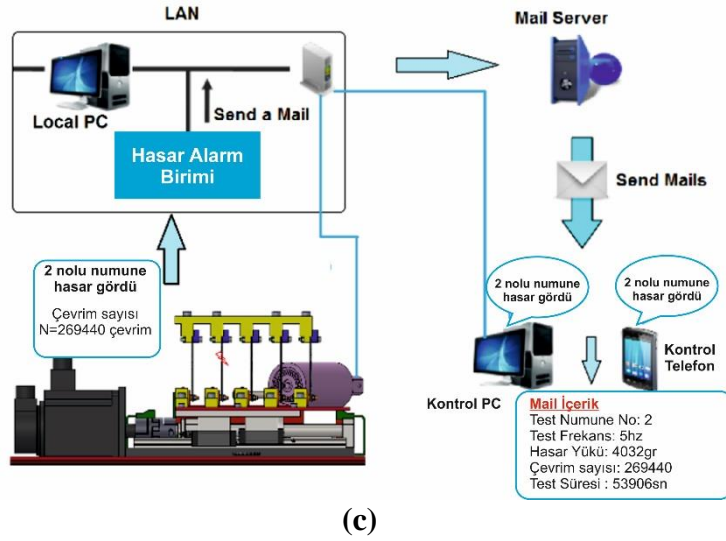
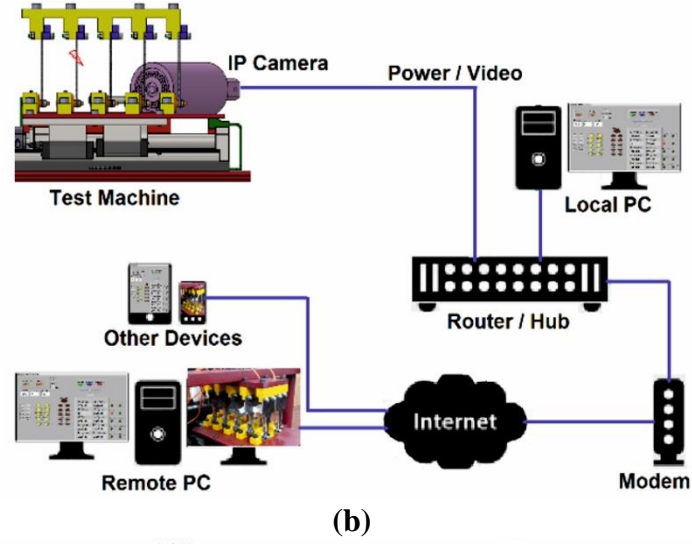
Uzaktan test, veri takip ve uyarı sistemi ise Şekil 6'daki akış diyagramı ile daha iyi açıklanabilir.

## 2.7. Kontrol Birimi ve Bilgisayarlı Ölçüm

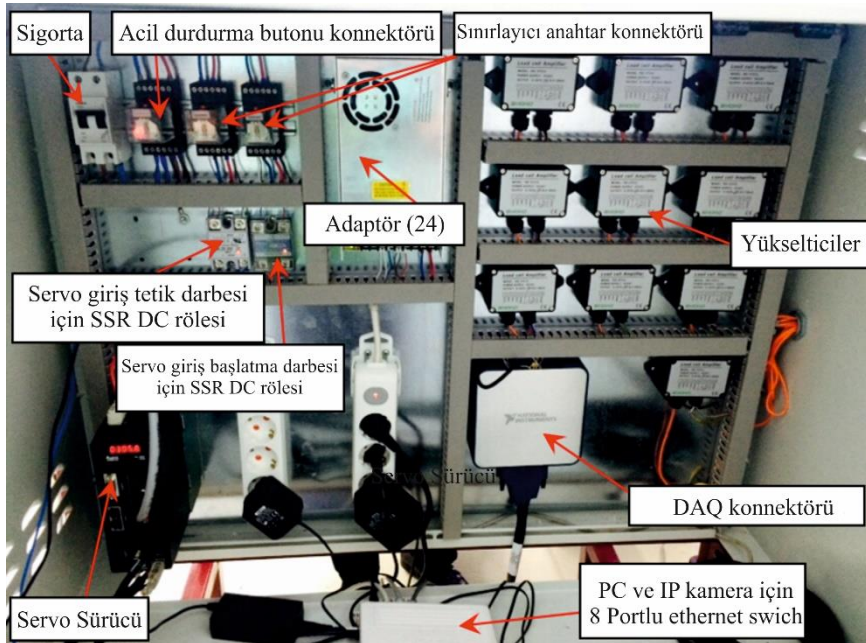
Ana pano içi ve bilgisayarlı ölçme bölümü Şekil-7'de gösterilmiştir. Ölçüm birimi, yük hücreleri, amplifikatör, DAQ konnektör bloğu ve PC'den oluşur. Yük hücresi çıkışındaki mili volt mertebesindeki sinyali, amplifikatör yükseltilir ve DAQ kartla bütünleşmiş bir A/D dönüştürücüsü tarafından bilgisayara aktarılır. Bu amaçla LabView ile bir alt program yazılarak ve bu program çıkış gerilimi gram olarak yük değerlerine çevrilerek kayıt etmede kullanılmıştır.

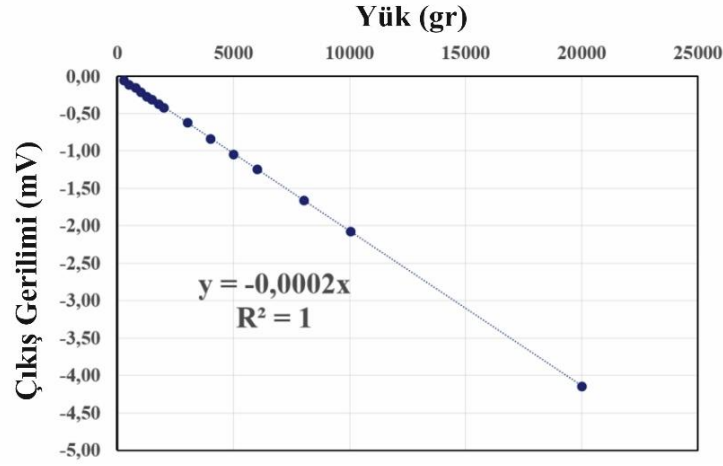
Otomasyon endüstrisindeki ağırlık/tork algılayıcı (sensör) olarak genelde yük hücresi (load cell) kullanılır ve ağırlığın oluşturduğu gerilme ya da burulma elektronik yöntemle ölçülür. Geliştirilen yorulma test cihazının yük hücreleri, daha önceden ağırlıkları belirlenmiş yüklerle kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sırasında her bir farklı yük değerine karşılık gelen çıkış gerilimi okunmuştur ve yük değerine karşılık gelen çıkış gerilimi lineer fonksiyon ile her bir yük hücresi için ayrı ayrı formüle edilmiştir. Şekil-8'de görüldüğü gibi, programda yük ve çıkış gerilimindeki değişiklikler bir grafik üzerinde çizdirilerek kalibrasyon katsayıları tespit edildi. Grafikten de görüldüğü gibi, yük ve çıkış geriliminin değişiminin ilişkisi lineerdir. Aynı zamanda burada, hasar mekanizmasını değerlendirmesi için yük - yük çevrimleri yazılım ara yüzünden anlık olarak da izlenebilir.





Şekil 6. Yorulma test makinesinin (a) çalışma sistemi, (b) uzaktan test, (c) veri takip ve uyarı sistemi için akış diyagramı





Şekil 8. Yük hücresinin kalibrasyon eğrisi

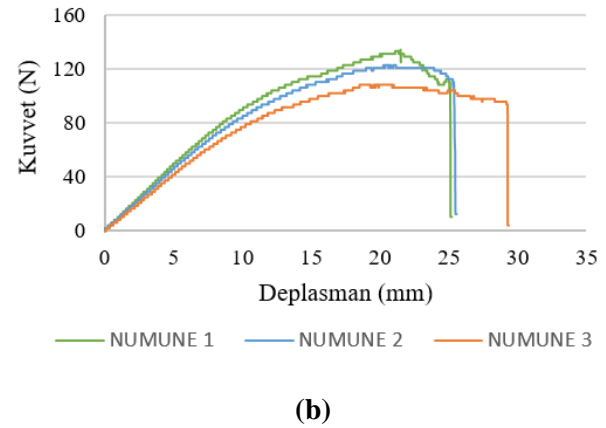
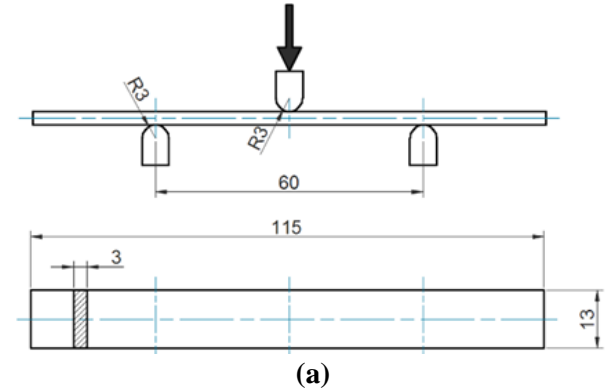
### 3. Performans ve Kalibrasyon İçin Yorulma Testleri

Tasarım ve imalatı tamamlanan ankastre-tip eğilmeli yorulma test makinesinin kalibrasyon ve performans testleri için kullanılan e-cam/epoksi (C<sub>8</sub>) tabakalı kompozit malzemeler, sekiz tabakalı olarak el yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Cam fiber dokuma kumaşta fiberler [0°/90°] fiber yönlenmesine sahip olup düz dokuma yapısında dokumuştur. Kullanılan cam elyaf dokuma kumaşlar 300gr/m<sup>2</sup> ağırlığa sahiptirler. Matris malzemesi olarak DURATEK Firmasında satın alınan DTE1000 reçine ve DTS1100 sertleştiriciye sahip iki bileşenli epoksi reçine kullanılmıştır. Sekiz tabakalı takviye kumaşın ağırlığına eşit ağırlıktaki epoksi matris malzemesi ağırlıkça %75'i reçine ve %25'i sertleştirici olacak şekilde hazırlanmıştır. El yatırma ile laminasyon işlemi sonrasında yarı mamul kompozit plakanın kürleşme işlemi 100°C'de ve 4 saat süresinde ısı-zaman-basınç kontrollü hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Ortam basıncı 6MPa olarak ayarlanmıştır. Üretim sonrasında mamül haline gelen tabakalı kompozit malzeme çarpılma etkisine karşın aynı basınç altında 24 saat süresince soğumaya bırakılmıştır.

Üretilen e-cam/epoksi tabakalı kompozitin yorulma testlerine geçmeden önce malzemenin eğilme mukavemetini belirlemek için statik testler yapıldı (Şekil 9a). Üç nokta eğme testleri, polimer matrisli kompozitlerin eğilme özelliklerini belirlemek için kullanılan ASTM D7264 standardına göre yapılmıştır (ASTM D7264/D7264M – 07, 2015). Eğilme testleri 50kN kapasiteli U-Test marka universal test cihazında gerçekleştirildi. Test cihazının bilgisayar yazılımı yardımıyla test sırasında her

bir numuneye ait yük-deplasman grafiği elde edildi (Şekil 9b). Malzemenin statik eğilme dayanımı Denklem 1'den faydalanılarak hesaplanmıştır (ASTM D7264/D7264M – 07, 2015).

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$



Şekil 9. Üç nokta eğilme testi (a) eğilme testinin şematik gösterimi, (b) test sonuçları.

Burada “σ<sub>f</sub>” eğilme mukavemetini, “F”, eğilme testlerinden elde edilen maksimum kuvvet, “L”

mesnetler arası mesafe, “b” numunenin genişliği ve “h” numunenin kalınlığını ifade etmektedir. Yorulma testleri malzemenin statik değerinin en az %20 aşağısındaki gerilme değerlerinden başlanarak daha alt gerilme seviyeleri için tekrarlanır. Burada karşılaşılan sorun statik dayanımı altında kalan gerilme seviyelerini test numunesi bünyesinde meydana getirmektir. Kuvvet kontrollü yorulma test cihazlarında bu sorun numunenin bağlandığı kola ağırlıklar asılır ve eğilme momentinin etkisiyle numune bünyesinde istenilen gerilme oluşturulur (Ay vd., 2008; Sakin ve Ay, 2008; Sakin vd., 2008; Sakin vd., 2008). Çalışma kapsamında imal edilen cihaz deplasman kontrollüdür. Bu sebeple istenilen gerilme seviyesini meydana getirecek olan şekil değişimi (deplasman) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu bağlamda malzemenin gerilme ve şekil değişimi arasındaki ilişkiyi ifade eden Hooke yasasından faydalanılmıştır. Denklem (2-4) kullanılarak istenilen gerilme değerini meydana getirecek olan deplasman değerleri hesaplanmıştır (ASTM D7264/D7264M – 07, 2015).

$$\sigma_f = \varepsilon \cdot E_f \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (4)$$

Bu denklemlerde “ $\varepsilon$ ” eğilme birim şekil değişimini, “ $E_f$ ” eğilme modülünü, “ $\delta$ ” maksimum eğilme deformasyon miktarını ve “ $m$ ” üç nokta eğme testinden elde edilen yük-deplasman eğrisindeki lineer bölgenin eğimini göstermektedir. Her kompozit numune grubu için elde edilen maksimum eğilme dayanımı değeri yorulma testlerindeki “bir çevrimlik eğilme dayanımı” olarak kullanılmıştır (Ay vd., 2008; Sakin vd., 2008).

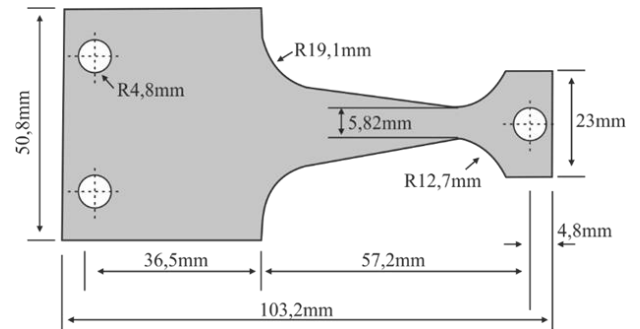
Yorulma testleri için Şekil 10’da görülen ASTM D671-93 test standardına göre hazırlanmış test numunesi kullanılmıştır (ASTM D671-93, 1993). Tasarlanan yorulma cihazı için performans ve kalibrasyon testleri laboratuvar ortamında (yaklaşık 20°C) ve histeretik ısıtmayı önlemek için 10 Hz den daha düşük test frekansı altında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, amaca uygun test frekansı 5.0 Hz ve testler -1 gerilme oranı (R değeri) altında yürütülmüştür.

Testler sırasında her 1000 çevrimde bir yük hücrelerinden her bir numune için ayrı ayrı

değerler alınarak Excel dosyalarına yazdırılmıştır. S-N eğrilerine ait veri noktalarını elde etmek için, testler, kırılma meydana gelmeden önce tamamlanan çevrim (yük-tekrar) sayısına karşılık gelen %80, %70, %60, %50 ve %40 farklı gerilme seviyesinde yapılmıştır. Yorulma testleri, ilgili grup numuneler %20’lik rijitlik kaybına ulaşıncaya veya bir numune kırılıncaya kadar sürdürülmüştür (Selmy vd., 2013; Zaman vd., 2014). Eğilmeli yorulma yüklemesi sırasında malzemede kırılmaya ya da yorulma hasarına neden olan yorulma gerilmesi ilgili standartta yer alan ve Denklem 5’te ifade edilen formüle göre hesaplanmıştır (ASTM D671-93, 1993).

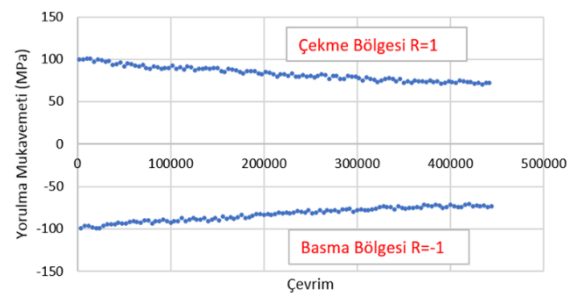
$$\sigma_{yorulma} = \frac{6PL}{bh^2} \quad (5)$$

Burada P yük hücrelerinden okunan değer, L yükün uygulandığı yerden yorulma hasar bölgesine olan mesafe, b numune hasar bölgesinin genişliği ve h numune kalınlığını ifade etmektedir.



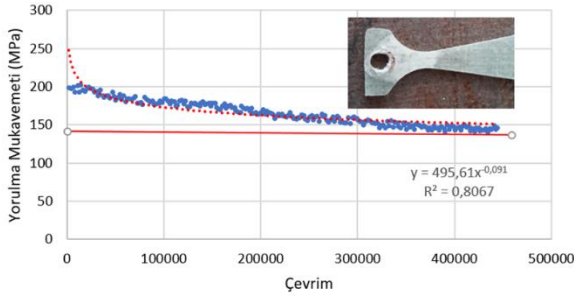
**Şekil 10.** ASTM D671-93 eğilmeli yorulma test numunesi

Yorulma testi sonuçlarında, düşük gerilme genliklerinde (statik eğilme mukavemetinin %40’ı) yüklenen test numunelerin kırılmadığı fakat yorulma bölgelerinde delaminasyonların meydana geldiği (Şekil 11), yüksek gerilme genliklerinde (statik eğilme mukavemetinin %80’i) ise yorulma test numunelerinin kırıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 12).



**(a)**

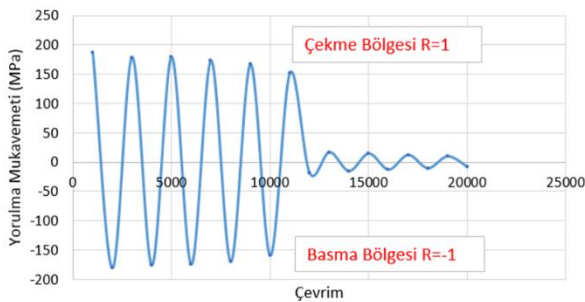




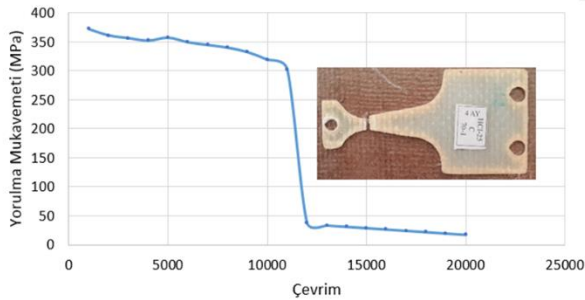
(b)

**Şekil 11.** Statik mukavemetinin %40'ın de yorulmaya zorlanan test numunesi (a) çeki ve bası bölgesindeki ve (b) toplam yorulma dayanımı değişimi

Şekil 11(a)' da çeki-bası gerilmesi şeklinde eğilme yorulmasına zorlanan test numunesinin çekme (R=1) bölgesindeki ve basma (R=-1) bölgesindeki mukavemet kayıpları ayrı ayrı verilmiştir. Numunenin çekme ve basma gerilmesi altında benzer şekilde mukavemet kayıpları yaşadığı söylenebilir. Şekil 11(b)'de çekme-bası gerilmeleri toplanarak bir arada verilmiştir. Numunenin eğilme yüklemesi altında kırılmadan hasara uğradığı ve yaklaşık  $4 \times 10^5$  çevrim sayısından sonra yorulma mukavemetinde herhangi bir değişim olmadığı; buna karşın numunenin yorulma bölgesinde delaminasyon hasarlarının meydana geldiği görülmüştür. Delaminasyonun başladığı çevrim sayısında test numunesi başlangıçtaki mukavemet değerine göre dayanımının yaklaşık %25'ini kaybetmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 12.** Statik mukavemetinin %80'in de yorulmaya zorlanan test numunesi (a) çeki ve bası

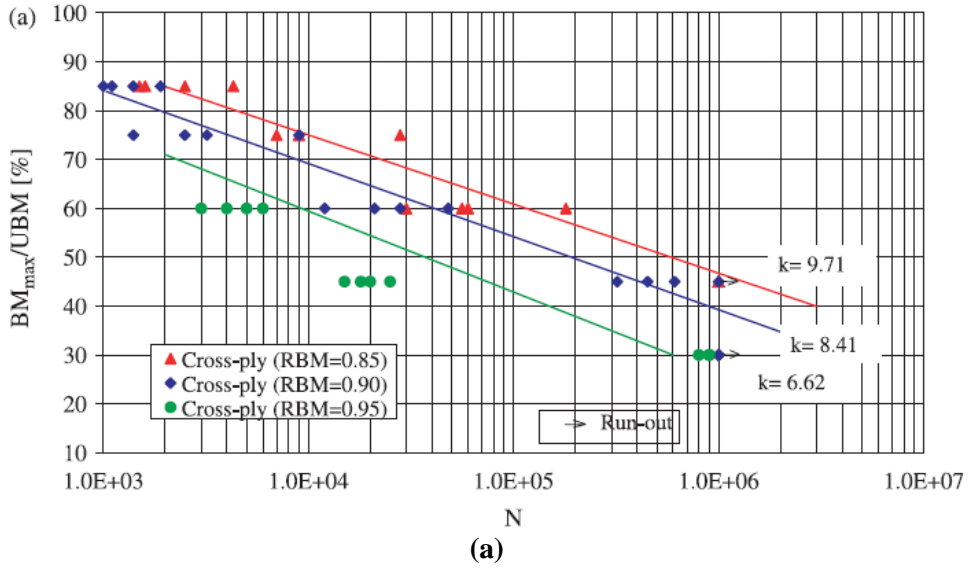
bölgesindeki ve (b) toplam yorulma dayanımı değişimi

Şekil 12'de numuneyi yormaya zorlayan gerilme değeri büyük olduğu için numunenin rijitlik kaybı çok daha rahat gözlemlenebilmiştir. Öyle ki test numunesi her 1000 çevrim için yorulma mukavemetinin yaklaşık %5-6'sını kaybettiği tesbit edilmiştir. Şekil 12(a) çekme ve basma bölgesinde benzer yorulma davranışlarının olduğunu göstermektedir. 11000 çevrime gelindiğinde numune dayanımın kaybederek kırılma meydana gelmiştir (Şekil 12(b)).

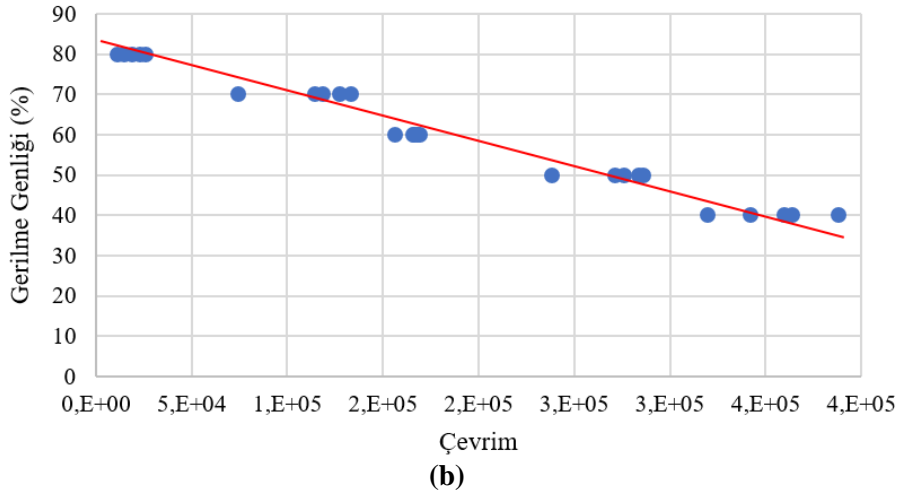
Şekil 13'de Belingardi ve Cavatorta'nun (Belingardi ve Cavatorta, 2006) yapmış olduğu çalışmadan alınan (Şekil 13(a)) ve geliştirilen cihaz kapsamında elde edilen (Şekil 13 (b)) cam/epoksi tabakalı kompozitlere ait gerilme genliği (rijitlik kaybı)-yorulma ömrü değişim grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yorulma ömür değerlerindeki farklılık test numunelerinin aynı mekanik dayanımlara sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Fakat her iki grafik içinde gerilme genliği ile yorulma ömrünün ters orantılı olduğu söylenebilir.

Rijitlik kaybı eğrisini elde etmek için 5 farklı gerilme genliğini her biri için 5 adet numune test edilmiş olup, toplamda farklı genliklerde 25 adet test yapılmıştır. Statik 3 noktalı eğmeli gerilme genliğinin %80-%70 seviyesinde test edilen numunelerin birçoğunun kırıldığı, bunların altında kalan gerilme seviyelerinde (%60, %50 ve %40) kırılmadan ziyade yorulma bölgelerinde delaminasyon ve çeşitli matris çatlaklarının olduğu gözlemlenmiştir.

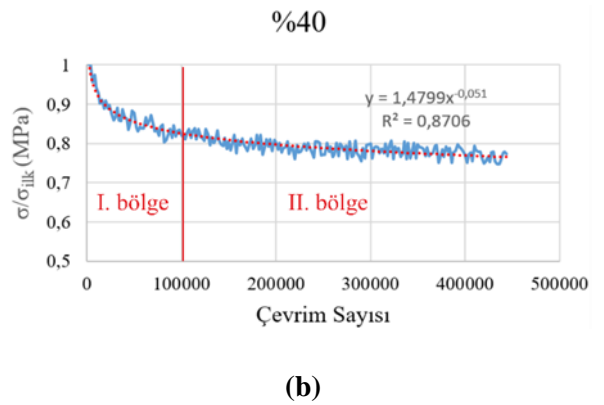
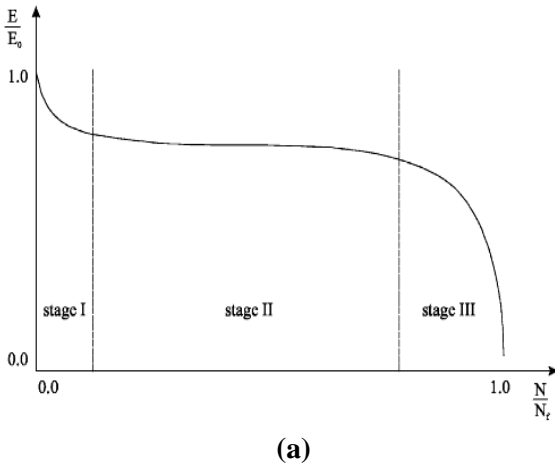
Fiber takviyeli kompozit malzemeler için tipik rijitlik hasarı Şekil-14(a)'da görülmektedir (Sakin, 2015; Van Paeppegem ve Degrieck, 2002). Grafikteki 3 bölgeye ayrılırsa; ilk bölgede (Stage I) hızlı bir rijitlik azaltması meydana gelir. Bu bölgede numunede %2-5 seviyesinde hızlı bir rijitlik kaybı yaşanır. Bu rijitlik kaybına enine uzanan matris çatlakları sebep olmaktadır. Orta bölgede (Stage II) rijitlik azalması, çevrim sayısına bağlı olarak doğrusal bir şekilde ortaya çıkar. Burda meydana gelen rijitlik kaybı %1-5 seviyelerindedir. Ayrıca bu bölgede delaminasyonlar ve boyuna matris çatlakları gelişir. Son bölge (Stage III) rijitlik azalması ani adımlarla gerçekleşir ve numunenin kırılması ile sonlanır.

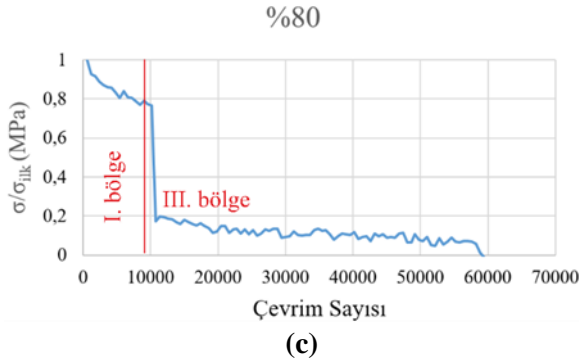


Genlik-Ömür



Şekil 13. Cam/epoksi tabakalı kompozitin genlik-ömür davranışı (a) Belingardi ve Cavatorta (Belingardi ve Cavatorta, 2006), (b) testlerden elde edilen





**Şekil 14.** Fiber takviyeli kompozit malzemeler için tipik rijitlik hasar eğrisi karşılaştırılması (a) Literatürden alınan cam/epoksi numuneye ait rijitlik değişimi (Van Paepegem ve Degrieck, 2002), (b) %40 ve (c) %80 gerilme genliklerinde yüklenen cam/epoksi numuneye ait rijitlik değişimleri

Şekil 14 (b)'de %40 ve %80 gerilme genliğinde yüklenmiş numunelerden elde edilen rijitlik kayıplarığösterilmiştir. %40 genlikte zorlanan numunenin rijitlik kaybına bakıldığında I. bölge ve II. bölgenin elde edildiği görülmektedir. Yapılan testler kapsamında %20'lik rijitlik kaybı hasar kriteri olarak değerlendirildiği için numunede %20'lik rijit kaybı tespit edildiğinden deney yazılım tarafından sonlandırılmıştır. Bu sebeple %40'lık gerilme genliğinde zorlanan numunelerin rijitlik kaybı grafiklerinde III. bölge meydana gelmemiştir. Eğer deney çok uzun süre devam ettirilseydi III. bölgeyi de görmek mümkün olabilirdi. %80 gibi yüksek gerilme genliklerinde rijitlik kaybı çok hızlı meydana geldiği için II. bölge çok kısa bir çevrim sayısında meydana gelmektedir. Performans testlerimizde her 1000 çevrimde bir veri alındığı için rijitlik kaybı grafiklerinde II. bölge tespit edilememiştir. Fakat hızlı rijitlik kaybından dolayı deney numunesi kırıldığı için III. bölge gözlemlenmiştir.

Şekil 13 ve Şekil 14 literatürdeki yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile performans testlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve detayları anlatılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada polimer esaslı levhalar, ahşap ve hafif metalik levhaların yorulma davranışlarını karakterize eden S-N eğrilerini elde etmek için orijinal bir ankastre tipi eğilmeli yorulma test makinesi geliştirilmiştir. Bu kapsamda literatürde daha önce yapılan çok numuneli yorulma test cihazlarından farklı olarak anlık yorulma test

parametrelerin gözlenip kontrol edilebildiği kullanışlı bir ara yüze sahip olan ve yorulma test makinasını internet erişimi olan her yerden kontrol etmeyi sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. Servo motorundan aldığı hareketle deplasman kontrollü yorulma testini 0,1-10Hz aralığında yapabilmektedir. Malzemenin akma mukavemetinin altındaki değişken yüklerde yapılan yorulma testleri uzun sürmektedir. Geliştirilen ankastre tip eğilmeli yorulma cihazı aynı anda on adet numuneyi test edebildiğinden toplam test süresi on kat azalmaktadır.

E-cam/epoksi tabakalı kompozit numuneler kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon testlerinden elde edilen sonuçlar gerilme genliği arttıkça yorulma ömrünün azaldığını buna karşın yorulma mukavemetinin arttığını göstermiştir. Her bir test numunesine ait sensörlerden alınan yorulma verileri literatürdeki benzer çalışma sonuçları ile kıyaslandığında yorulma hasar mekanizmasının ve yorulma davranışlarının benzer olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: UBAP012014/MF013).

#### 5. Kaynaklar

Abo-Elkhier, M., Hamada, A.A., ve Bahei El-Deen, A., 2014. Prediction of fatigue life of glass fiber reinforced polyester composites using modal testing. *International Journal of Fatigue*, 69, 28-35.

ASTM D671-93. (1993). Standard Test Method for Flexural Fatigue of Plastics by Constant-Amplitude-of- Force. ASTM International.

ASTM D7264/D7264M – 07. (2015). Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM International.

Ay, İ., Sakin, R., ve Okoldan, G., 2008. An improved design of apparatus for multi-specimen bending fatigue and fatigue behaviour for laminated composites. *Materials & Design*, 29(2), 397-402.

- Azzam, A., ve Li, W., 2014. An experimental investigation on the three-point bending behavior of composite laminate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 62, 012016.
- Babu, B. S., ve Srinivas, P., 2014. Measurement Of Shear Fatigue Strength Of Fiber Glass Epoxy Laminates & Carbon Chapstan Laminates Using Fatigue Test Rig. Measurement, 4(01). Retrieved from [http://www.iosrjen.org/Papers/vol4\\_issue1%20\(part-2\)/B04120515.pdf](http://www.iosrjen.org/Papers/vol4_issue1%20(part-2)/B04120515.pdf)
- Belingardi, G., ve Cavatorta, M., 2006. Bending fatigue stiffness and strength degradation in carbon–glass/epoxy hybrid laminates: Cross-ply vs. angle-ply specimens. International Journal of Fatigue, 28(8), 815–825.
- Ben Zineb, T., Sedrakian, A., ve Billoet, J.L., 2003. An original pure bending device with large displacements and rotations for static and fatigue tests of composite structures. Composites Part B: Engineering, 34(5), 447–458.
- Bura, V., ve Dvr, P., 2014. Testing The Flexural Fatigue Behavior Of E-Glass Epoxy Laminates. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.671.3414&rep=rep1&type=pdf>
- Degallaix, G., Hassaini, D., ve Vittecoq, E., 2002. Cyclic shearing behaviour of a unidirectional glass/epoxy composite. International Journal of Fatigue, 24(2), 319–326.
- Di Benedetto, H., De La Roche, C., Baaj, H., Pronk, A., ve Lundström, R., 2004. Fatigue of bituminous mixtures. Materials and Structures, 37(3), 202–216.
- Di Franco, G., Marannano, G., Pasta, A., ve Mariotti, G. V., 2011. Design and use of a fatigue test machine in plane bending for composite specimens and bonded joints. In Advances in Composite Materials-Ecodesign and Analysis. InTech. Retrieved from <http://www.intechopen.com/download/pdf/14311>
- Filatov, M.Y., 1989. A machine for fatigue testing of composite materials in pure bending. Strength of Materials, 21(4), 554–556.
- Foong, C.-H., Wiercigroch, M., ve Deans, W. F., 2006. Novel dynamic fatigue-testing device: design and measurements. Measurement Science and Technology, 17(8), 2218–2226.
- George, T., 2004. Development of a novel vibration-based fatigue testing methodology. International Journal of Fatigue, 26(5), 477–486.
- Ghielmetti, C., Ghelichi, R., Guagliano, M., Ripamonti, F., ve Vezzù, S., 2011. Development of a fatigue test machine for high frequency applications. Procedia Engineering, 10, 2892–2897.
- Hoefnagels, J.P.M., Kolluri, N., Thissen, M. H.L., van Dommelen, J.A.W., ve Geers, M. G. D., 2008. Advanced miniature mixed mode bending setup for in-situ interface delamination characterization. In Proceedings of the 11th International Congress and Exhibition on Experimental and Applied Mechanics, 2, 5. Retrieved from <https://pure.tue.nl/ws/files/3532018/955888596820578.pdf>
- Kolluri, M., Thissen, M.H.L., Hoefnagels, J. P. M., Dommelen, J.A.W., ve Geers, M. G. D., 2009. In-situ characterization of interface delamination by a new miniature mixed mode bending setup. International Journal of Fracture, 158(2), 183–195.
- Koricho, E.G., Belingardi, G., ve Beyene, A. T., 2014. Bending fatigue behavior of twill fabric E-glass/epoxy composite. Composite Structures, 111, 169–178.
- Lai, F.-M., Yang, S.-H., Wu, J.-H., Hsueh, C.-T., Yang, C.-C., Wang, B.-H., ve Lan, C.-H., 2011. Development of Fatigue Test System for Small Composite Wind

- Turbine Blades. Procedia Engineering, 14, 2003–2013.
- Mini, K.M., Lakshmanan, M., Mathew, L., ve Mukundan, M., 2012. Effect of fibre volume fraction on fatigue behaviour of glass fibre reinforced composite: VOLUME FRACTION ON FATIGUE OF GFRP. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 35(12), 1160–1166.
- Mokhtarnia, B., Layeghi, M., Rasouli, S.H., ve Soltangheis, B., 2016. Development of a New Device for Bending Fatigue Testing. Journal of Testing and Evaluation, 44(4), 20140347.
- Pach, E., Korin, I., ve Ipiña, J.P., 2012. Simple Fatigue Testing Machine for Fiber-Reinforced Polymer Composite. Experimental Techniques, 36(2), 76–82.
- Philippidis, T.P., ve Vassilopoulos, A.P., 2002. Complex stress state effect on fatigue life of GRP laminates.: part I, experimental. International Journal of Fatigue, 24(8), 813–823.
- Roudet, F., 2002. Fatigue of glass/epoxy composite in three-point-bending with predominant shearing. International Journal of Fatigue, 24(2–4), 327–337.
- Sakin, R., 2015. Relationship between Barcol hardness and flexural modulus degradation of composite sheets subjected to flexural fatigue. Steel and Composite Structures, 19(6), 1531–1548.
- Sakin, R., 2016. Fatigue-life estimation and material selection for commercial-purity aluminum sheets. Research on Engineering Structures and Materials.
- Sakin, R., ve Ay, İ., 2008. Statistical analysis of bending fatigue life data using Weibull distribution in glass-fiber reinforced polyester composites. Materials ve Design, 29(6), 1170–1181.
- Sakin, R., Ay, İ., ve Yaman, R., 2008. An investigation of bending fatigue behavior for glass-fiber reinforced polyester composite materials. Materials & Design, 29(1), 212–217.
- Sakin, R., Kumru, N. ve Ay, İ., 2008. Gerilme-Kontrollü, Çok Numuneli Eğilme Yorulma Test Cihazı Tasarımı ve Kompozitler İçin Uygulama. Proceedings of 12th International Materials Symposium, (12), 531–541.
- Selmy, A. I., Azab, N. A., ve Abd El-baky, M. A., 2013. Flexural fatigue characteristics of two different types of glass fiber/epoxy polymeric composite laminates with statistical analysis. Composites Part B: Engineering, 45(1), 518–527.
- Shokrieh, M. M., Esmkhanian, M., ve Taheri-Behrooz, F., 2014. Fatigue modeling of chopped strand mat/epoxy composites. Structural Engineering and Mechanics, 50(2), 231–240.
- Stanzl-Tschegg, S., 2014. Very high cycle fatigue measuring techniques. International Journal of Fatigue, 60, 2–17.
- Van Paepegem, W., ve Degrieck, J., 2002. A new coupled approach of residual stiffness and strength for fatigue of fibre-reinforced composites. International Journal of Fatigue, 24(7), 747–762.
- Waring, G., Hofer, K. E., Brown, I., ve Trabocco, R.E., 1980. Design and operation of multi-specimen fully reversed fatigue systems for advanced composite materials. Experimental Mechanics, 20(5), 153–161.
- Wu, J.D., Ho, S.H., Zheng, P.J., Liao, C.C. ve Hung, S.C., 2001. An experimental study of failure and fatigue life of a stacked CSP subjected to cyclic bending. In Electronic Components and Technology Conference, 2001. Proceedings., 51st (pp. 1081–1086).
- Xue, H.-Q., Hua, T.A.O., Shao, R.-P. ve Claude, B., 2008. Effect of stress ratio on long life fatigue behavior of Ti-Al alloy under flexural loading. Transactions of

Nonferrous Metals Society of China,  
18(3), 499–505.

Yamamoto, T., Kokubu, A. ve Sakai, T.,  
2013. Development and several  
additional performances of dual spindle  
rotating bending fatigue testing machine  
GIGA QUAD. In *ICF13*. Retrieved from  
[http://www.gruppofrattura.it/ocs/index.ph  
p/ICF/icf13/paper/download/11263/1064  
2](http://www.gruppofrattura.it/ocs/index.php/ICF/icf13/paper/download/11263/10642)

Yun, G.J., Abdullah, A.B.M., ve Binienda,  
W., 2012. Development of a Closed-  
Loop High-Cycle Resonant Fatigue  
Testing System. Experimental  
Mechanics, 52(3), 275–288.

Zaman, W., Li, K., Li, W., Zaman, H. ve Ali,  
K., 2014. Flexural strength and thermal  
expansion of 4D carbon/carbon  
composites after flexural fatigue loading.  
New Carbon Materials, 29(3), 169–175..

## Ardahan ve Çevresinde Yabani Olarak Yetişen Gilaburu Meyve Ekstraktının Antimikrobiyal, Antioksidan ve Antimutajenik Aktivitelerinin Araştırılması

### Investigation of Antimicrobial, Antioxidant, and Antimutagenic Activities of Wild Guelder Rose Fruit Extract Grown in Ardahan and Its Surrounding Area

Mehmet ARSLAN<sup>1,a</sup>, Nurcan ERBİL<sup>1,b</sup>, Zehra Tuğba MURATHAN<sup>\*2,c</sup>

<sup>1</sup>Ardahan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksekokulu Hemşirelik Bölümü, Ardahan

<sup>2</sup>Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ardahan

• Geliş tarihi / Received: 23.02.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.09.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 19.09.2017

#### Öz

Bu çalışmada Ardahan ve çevresinde doğal olarak yetişmekte olan Gilaburu meyvelerinin antioksidan özellikleri, farklı mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etkisi ve Ames testi ile antimutajenik etkisi araştırıldı. Antimikrobiyal aktivite testleri esnasında farklı Gr (+) ve Gr (-) bakteriler ile mayalar kullanıldı. Antimutajenik etki çalışmalarında ise AMES/Salmonella Mikrozoom testi ile Salmonella typhimurium TA 98 ve TA 100 suşları kullanıldı. Elde edilen verilere göre gilaburu meyvelerinin ağırlığı ortalama olarak 0.80 g, suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriği % 11.3, pH'sı 3.20, toplam antosiyanin miktarı 0.80 mg/g, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radikal süpürücü etkisi % 52.5, 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) değeri 72.8 µmol TE/g FW, Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) değeri ise 122.6 µmol Fe II/g FW olarak belirlendi. Ayrıca gilaburu ekstraktının test mikroorganizmaları üzerinde değişen oranlarda antibakteriyel aktiviteye sahip oldukları; ancak antifungal aktivite sergilemedikleri belirlendi. Test bakterileri içerisinde ise en duyarlı olanının Pseudomonas aeruginosa ATCC 9027 olduğu belirlendi. Antimutajenite deneylerinde, TA98 suşlarında gilaburunun sadece 40 µl dozunda pozitif kontrole göre önemli bir azalma meydana getirdi. TA100 suşlarında ise hiçbir dozda pozitif kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir azalma meydana gelmediği belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal, Antimutajen, Antioksidan, Gilaburu, *Viburnum opulus*

#### Abstract

In this study, antioxidant activity, antibacterial effect against some test bacteria, and antimutagenic effect with AMES test of Guelder rose fruit naturally growing in Ardahan and its surrounding area were examined. Different Gr (+), and Gr (-) bacteria and yeasts were used as test microorganisms during the antibacterial activity tests. AMES / Salmonella/Microsome test was preferred for antimutagenic effect study and Salmonella typhimurium TA 98 and TA 100 strains were used. According to the obtained data, 0.80 g fruitweight on average, 11.3% of Soluble Dry Matter content, 3.20 of pH, 0.80 mg/g of total anthocyanin, and 52.5% of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, 72.8 µmol TE/g FW 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) value, 122.6 µmol Fe II/g FW Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) value were determined. It was determined that Guelder rose fruit extract has antibacterial activity at different rates on test bacteria, but not antifungal activity. The most sensitive bacterium was Pseudomonas aeruginosa ATCC 9027 among the test microorganisms. In antimutagenic activity, only 40 µl dose of Guelder rose in TA98 strains caused a significant reduction compared to the positive control. In TA100 strains, no statistically significant decrease compared to positive control at any dose occurred.

**Keywords:** Antimicrobial, Antimutagenic, Antioxidant, Guelder rose, *Viburnum opulus*

\*c Zehra Tuğba MURATHAN; zehratugbaabaci@ardahan.edu.tr; Tel: (0478) 211 50 00 (dahili: 2314); orcid.org/0000-0002-1468-7240

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-9015-1798

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-9553-2306

## 1. Giriş

Türkiye birçok meyve türünün gen merkezi ve doğal yayılma alanıdır. Bugün dünyada yetiştirilmekte olan 138 kadar meyve türünün 75'i Türkiye'de yetiştirilmektedir. Türkiye'de görülen bu tür zenginliği yanında çeşit bolluğu da mevcuttur (Özbek, 1977; Orakçı, 2010). Ardahan ve çevresinde yabani olarak yetişen gilaburu (*Viburnum opulus L.*), Hanımeliğiller (Caprifoliaceae) familyasından olup; kışın yaprağını döken, 2-4 metre boylanabilen bir bitkidir. Meyvesi nohut büyüklüğünde ve kırmızı renkte olup, Ağustos-Eylül aylarında olgunlaşır. Meyvelerin yaklaşık 30-40 tanesi bir salkım oluşturur ve acımsı bir tadı vardır (Bolat ve Özcan 1995; Orakçı, 2010).

Daha önce yapılan birçok çalışma meyve tüketiminin kanserden diyabete, kardiyovasküler hastalıklardan sinir hastalıklarına kadar birçok hastalığa yakalanma riskini azalttığını göstermiştir. Bu durum meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan etkisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca; fenolik bileşikler büyük yapısal farklılıklara sahiptir ve sekonder metabolitlerin en fazla çeşitlilik gösteren gruplarından bir tanesidir. Bu gruplar, bakteri hücre membranının yapısını bozarak hücrel bileşenlerin membrandan dışarıya doğru sızmasına neden olurlar ve membranda meydana gelen bu bozulmaya fenolik bileşiklerdeki hidroksil (-OH) gruplarının gösterdiği inhibitör etkinin sebep olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında fenolik bileşikler antioksidan etkiye sahip olduklarından bitkisel ağırlıklı beslenme ile fenolik bileşiklerin yoğun alınmasından dolayı radikal oluşumunu azaltarak kanser ve damar hastalıkları riskini düşürürler (Sağiroğlu, 2003; Özcan, 2010). Bu bakımdan bitkilerdeki fenolik bileşiklerin güvenilir ve pratik yöntemlerle tayin edilmesi çok önemlidir.

Günümüzde insanlar tarafından besin amaçlı olarak tüketilen veya geleneksel tıpta kullanılan bitkisel kökenli ürünlerin birçoğunda toksik etki gösteren maddelerin bulunduğu da malesef yeterince farkına varılamamıştır. Örneğin bitkisel kökenli ürünlerde bulunan uçucu yağların bazıları ciddi yan etkilere sahiptir (Franzios vd., 1997; Stammati vd., 1999; Ipek ve ark., 2003; Azirak ve Rencüzogullari, 2008; Buyukleyla ve Rencuzogullari, 2008). Bu maddelerin en büyük tehlikeleri de mutasyon ve/veya kansere sebep olabilme riskleridir. Bundan dolayıdır ki bu ürünlerin insan genomunda mutasyonlara sebep olup olmadıklarının veya mutasyonları azaltıp

azaltmadıklarının ortaya koyulması oldukça önemlidir. Türkiye'de yetiştiriciliği pek yaygın olmayan bir yenilebilir meyve bitkisi olan gilaburunun birçok özelliğinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, Gilaburu meyve ekstraktının antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktivitelerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örneklerin Temini

Gilaburu meyve örnekleri 2015 yılı Eylül ayında Ardahan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu bahçesinden toplandı ve uygun koşullarda laboratuvar ortamına getirilerek taze olarak çalışıldı.

### 2.2. Ekstraksiyon

40 gram taze gilaburu meyvesi tartılarak 200 ml saf su ile homojenizatörde (IKA T 18, Çin) homojenize edildikten sonra 72 saat süre ile 190 rpm'de ekstrakte edildi. 72 saat sonrasında 5000 g'de 10 dk satrifüj edildi ve süpernatant kısmı alındı. Elde edilen bu ekstrakt rotary evaporatörde konsantre edildikten sonra kullanılabilecek kadar -20°C'de muhafaza edildi. Elde edilen bu ekstrakt antimikrobiyal ve antimutajenik aktiviteler için kullanıldı.

### 2.3. Meyve Ağırlığı, Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM), pH ve Titre Edilebilir Asitlik Analizleri

10 tane meyve örneği 0.2 g'a duyarlı dijital hassas terazide (Desis T 28, İstanbul, Türkiye) tartıldı. Meyvelerin suda çözünür kuru madde içerikleri 22 °C'de Mettler-Toledo 30 P dijital refraktometre (Mettler-Toledo International Inc., İsviçre) ile, % asitlik değerleri ise titrimetrik metod kullanılarak Cemeroglu (1992)'na göre belirlendi.

### 2.4. Toplam Antosiyenin Tayini

Toplam antosiyenin tayini Giusti ve Wrolstad (2001)'a göre belirlendi. Örnek 5 g meyve 10 ml % 1 HCl içeren metanol çözeltisinde 2 dk homojenize edildi ve bir gece bekletildikten sonra filtre kâğıdından (Whatman No: 2) süzüldü. Süzüntü pH 1.0 (0.2 N KCl, 0.2 N HCl) ve pH 4.5 (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na.3H<sub>2</sub>O, 0.1 N HCl) tamponları içinde 15 dk inkübasyona bırakıldı ve absorbansları çözücüye karşı 530 ve 700 nm'lerde spektrofotometrik (Unico S1205, USA) olarak ölçüldü.



## 2.5. Antioksidan Kapasite Tayini

### 2.5.1. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

#### Yöntemi

Antioksidan kapasite (serbest radikallerin indirgenme kapasitesi) DPPH metodu ile süpürücü etkiye göre belirlendi. Örnek 2 g meyve örneği, 2 ml ekstraksiyon çözeltisi (% 85 metanol, % 15 asetik asit) ile karıştırılarak homojenize edildi ve 24 saat 4 °C'de bekletildi. Daha sonra 10 dk 10000 g'de santrifüj edildi. DPPH çözeltisi (950 µl 0.1 N) seyreltilmiş 50 µl meyve ekstraktı ile birleştirildi. Çözelti 30 dk karanlık bir ortamda, oda sıcaklığında inkübe edildi. Daha sonra örnekler ve standart 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede okundu. Antioksidan kapasite % DPPH =  $(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}) / A_{\text{kontrol}} \times 100$  formülüyle hesaplandı (Bakhshi ve Arakawa, 2006; Rezaeirad vd., 2013).

### 2.5.2. ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) Yöntemi

ABTS yöntemi Re vd. (1999)'a göre yapıldı. 25 ml 7 mM ABTS ve 25 ml 2.45 mM potasyum per sülfat ile 1:1 oranında stok çözelti hazırlandı ve 16 saat oda sıcaklığında karanlık ortamda inkübe edildi. Analizler için stok çözelti absorbansı 734 nm'de  $0.7 \pm 0.05$  olana kadar etanolle dilüe edildi. 1000 µl dilüe örnek 3.8 ml ABTS çözeltisiyle karıştırıldı ve 6 dk oda sıcaklığında inkübe edildikten sonra 734 nm'de absorbansı ölçüldü. Standart olarak troloks kullanıldı ve sonuçlar ug Troloks/g cinsinden hesaplandı.

### 2.5.3. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) Yöntemi

FRAP yöntemi Benzie ve Strain (1996) ile Ahmad ve Mukhtar (1999)'a göre yapıldı. FRAP ajanı 25 ml sodyum asetat tampon (300 mM, pH 3.6), 2.5 ml TPTZ (Tripyridil-s-triazine) çözeltisi (10 mM, 40 mM HCl'de çözdürülmüş) ve 2.5 ml FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (20 mM) karışımıyla hazırlandı. 37°C'de su banyosunda ısıtıldı ve 900 µl'si bir küvete alınarak başlangıç absorbans değeri okundu. Dilüe (1:4 v/v su) örneğin 100 µl'si küvete alındı ve üzerine 3 ml FRAP ajanı eklendi. 4 dk sonra absorbans 593 nm'de ölçüldü. Standart eğri FeSO<sub>4</sub> çözeltisi kullanılarak hazırlandı (100-1000 µl). Sonuçlar µmol Fe (II)/g cinsinden hesaplandı.

## 2.6. Antibakteriyel Aktivite Testi

Antibakteriyel aktivite testi oyuk agar metodu ile çalışılmış olup (Özçelik, 1992); test

mikroorganizması olarak *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus megaterium* DSM 32, *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Bacillus licheniformis* ve *Klebsiella pneumoniae* bakterileri ile *Yarrowia lipolytica* ve *Sacharomyces cerevisiae* mayaları kullanıldı. Steril edilmiş olan Müller Hinton Agar içerisine 18 saatlik ( $1 \times 10^8$  cfu ml<sup>-1</sup>) bakteri kültürlerinin her birinden 100 µl aşılandı ve tam olarak katılaştığından emin olunan plaklara aseptik koşullarda korkbor yardımı ile 11 mm çapında açılan her bir kuyucuğun içerisine 150 µl gilaburu meyve ekstraktı eklendi. Pozitif kontrol olarak standart bir antibiyotik olan Penisilin G (P 10), negatif kontrol olarak ise distile su kullanıldı. Her bir petri plağı 37 °C'de 48 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. Çalışmalar üç tekrarlı yapılarak zon çapları dijital kumpas ile mm olarak ölçülmüştür.

## 2.7. Ames/Salmonella/Mikrozom Testi

### 2.7.1. Test Suşları

Antimutajenik aktivitenin ölçülebilmesi için Ames testi tercih edilmiş olup, uygulamalarda S9 mix yokluğunda *S. typhimurium*'un TA 98 ve TA 100 suşları kullanıldı. Bu suşlardan *S. typhimurium* TA 98 çerçeve kayması, *S. typhimurium* TA 100 ise baz çifti değişimi mutasyonlarına neden olan kimyasallara karşı duyarlılık göstermektedir. Bu suşlar düzenli olarak Rfa mutasyonu, R faktör varlığı, kristal viyole duyarlılığı, histidin ihtiyacı, UVr B mutasyonu, ampiciline dirençlilik ve spontan geri dönüş oranları için Maron ve Ames (1983) tarafından önerilen metoda göre kontrol edildi.

### 2.7.2. Sitotoksik Etkinin Belirlenmesi

Gilaburu meyve ekstraktının *S. typhimurium*'un TA 98 ve TA 100 suşları üzerinde öldürücü olmayan dozlarının belirlenmesi amacıyla, 16 saat inkübe edilmiş olan bakteri kültürlerinin her birinden (yaklaşık  $1 \times 10^9$  bakteri ml<sup>-1</sup>) 100 µl ve ekstraktın değişik derişimlerdeki çözeltisinden (5-80 µl plak<sup>-1</sup>) alınarak, 2 ml top agar içerisine eklendi. Bu karışım homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra minimal glukoz agar (MGA) besiyeri içeren plaklara ince bir tabaka halinde dökülerek 37°C'de 48-72 saat süre ile inkübe edildi. İnkübasyondan sonra ekstraktın değişik derişimlerini içeren plaklarda gelişen koloni sayıları ile kontrol plaklarında gelişen koloni sayıları karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlar neticesinde ekstraktın 80 µlplak<sup>-1</sup> dozunun toksik

özelliik gösterdiği belirlendi ve toksik özelliik göstermediği gözlenen dört doz (40 µl plak<sup>-1</sup>, 20 µl plak<sup>-1</sup>, 10 µl plak<sup>-1</sup> ve 5 µl plak<sup>-1</sup>) mutajenite testlerinde kullanıldı. Sitotoksik dozun LD<sub>50</sub> (ortalama öldürücü doz)'nin altında olması gerekmektedir. Bu nedenle deneme plaklarındaki koloni sayısı kontrol plağındaki koloni sayısının yarısının altında olmaması durumunda, doz toksik olarak kabul edilmemektedir.

### 2.7.3. Antimutajenite Testi

Antimutajenite testi plak inkorporasyon tekniği modifiye edilerek yapıldı (Maron ve Ames, 1983). Analizler esnasında, histidin ve biyotin eklenmiş olan 2 ml top agar içerisine 16 saatlik bakteri kültürlerinin (yaklaşık 1 x 10<sup>9</sup> bakteri ml<sup>-1</sup>) her birinden 100 µl, pozitif kontrol olarak TA98 suşu için 100 µg/petri 4-nitro-o-fenilendiamin (4-NPD), TA100 suşu için ise 10 µg/petri sodyum azid (SA) ve ekstraktın toksik olmadığı belirlenen dozları eklendikten sonra homojen bir şekilde karıştırıldı ve MGA besiyeri içeren plaklara ince bir tabaka halinde döküldü. Pozitif kontrol olarak TA 98 suşu için 4-NPD (100 µg petri), TA 100 suşu için SA (10 µg petri) kullanıldı. Petriiler 37°C'de 48-72 saat inkübe edildi. Analizler sonucunda kontrol ve test plaklarında gelişen revertant koloni sayıları belirlendi ve istatistiksel olarak karşılaştırıldı.

### 2.8. İstatistiksel Analizler

Her çalışma üç tekrarlı olarak yapıldı. Çalışmalardan elde edilen bulguların istatistiksel yönden değerlendirilmesinde SPSS 16 programı kullanıldı. Tespit edilen antimutajenite analizlerinde belirlenen ortalamalar ile kontrol ve deney grupları arasında değişiklik gösterip göstermediği varyans analizi kullanılarak belirlendi. Varyans analizi için one way Anova testlerinden Dunnett testi kullanıldı. Elde edilen veriler 0.05 anlam seviyesi göz önünde bulundurularak yorumlandı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan aktivite tayin yöntemleri, kısa zamanda sonuç veren, düşük maliyetli, güvenilir ve bilim dünyasında herkesçe kabul edilen yöntemler oldukları için tercih edilmişlerdir. Çalışmalar sonucunda biyokimyasal aktivite sonuçlarına göre, gilaburu meyvelerinin ağırlığı ortalama olarak 0.80 g, SÇKM miktarı % 11.3, pH'sı 3.20, toplam antosiyanin miktarı ise 0.80 mg/g olarak tespit edildi (Tablo 1). Konuyla alakalı yapılan bir çalışmada Kayseri ili Bünyan,

Melikgazi, Develi ve Akkışla ilçelerinde yetişen gilaburu meyvelerinin ortalama meyve ağırlığı 0.70-0.73 g, SÇKM miktarı % 10.0-10.5, pH'sı ise 2.83-3.14 olarak tespit edilmiştir (Gündoğar, 2012). Tarafımızca yapılan bu çalışmada elde edilen değerlerin Gündoğar (2012) tarafından elde edilen verilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitkilerden elde edilen ekstraktların içeriği bitkinin habitatu ile yakından ilgili olduğu ve içerik miktarının da değişebileceği bildirilmiştir (Papageorgiou vd., 2008; Koliopoulos vd., 2010).

**Tablo 1.** Meyve ağırlığı, suda çözünür kuru madde (SÇKM), pH ve toplam antosiyanin miktarı.

	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	SÇKM (%)	pH	Toplam Antosiyanin Miktarı (mg/g)
Gilaburu	0.80±0.02	11.3±0.1	3.20±0.9	0.80±0.8

Orakçı (2010), Kayseri'den toplanan yaş gilaburu metanol ekstresinde toplam antosiyanin miktarını 0.47 mg/g, yaş gilaburu sulu ekstresinde 0.27 mg/g, kuru gilaburu metanol ekstresinde ise 0.12 mg/g olarak bulmuştur. Çalışmamızdan elde edilen değer (0.80 mg/g) bu çalışmadan elde edilen değerlere göre dedaha yüksektir. Bu durumun meyvenin toplandığı coğrafik bölgelerin farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünölmektedir.

Antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde ABST değerinin 72.8 µmol TE /g FW, FRAP değerinin 122.6 µmol Fe II/g FW ve DPPH değerinin ise % 52.5 olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Daha önce yapılan çalışmalarda bazı *Viburnum* türlerinin oksidantlara karşı insan sağlığını korumakla görevli olan polifenolikleri yoğun olarak içerdikleri bildirilmiştir (Çesonienët vd., 2010; Kraujalytė vd., 2013). Altun vd. (2008), gilaburunun antioksidan aktivitesini DPPH radikalini süpürücü etkileri bakımından incelemişler, dal ve meyve ekstralarının 0.014 mg/mL ve 0.057 mg/mL IC<sub>50</sub> değerlerine sahip olduğu tespit etmişlerdir. Burnaz (2007) ise DPPH radikalini süpürmede meyve çekirdekleri metanol ekstresinin 0.0047 mg/mL, meyve suyunun 0.0096 mg/mL IC<sub>50</sub> değerine sahip olduğunu tespit etmiştir. Başka bir çalışmada ise Şeker vd. (2016) gilaburu meyve posası eklenmiş keklerin toplam fenolik içeriği ve radikal temizleme aktivitesi değerlerinin, meyve posası katılma seviyesine göre orantılı olarak arttığını bulmuşlardır.

**Tablo 2.** Gilaburu örneklerine ait antioksidan aktivite sonuçları.

	ABTS ( $\mu\text{mol TE /}$ g FW)	FRAP ( $\mu\text{mol Fe II /}$ g FW)	DPPH (%)
Gilaburu	72.8 $\pm$ 0.6	122.6 $\pm$ 4.8	52.5 $\pm$ 3.3

Antibakteriyel aktivite sonuçlarına bakıldığında gilaburu ekstraktının test mikroorganizmaları üzerinde değişen oranlarda antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu; ancak antifungal aktivite sergilemediği görülmektedir (Tablo 3). Test bakterileri içerisinde ise en duyarlı olanının *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 olduğu belirlenmiştir (21 $\pm$ 0.577 mm). Gilaburudan elde edilen farklı ekstraktların antimikrobiyal aktivitesi farklı çalışmalarda denenmiştir. Bu çalışmalardan biri Yürüker vd. (1993) tarafından yapılmış olup, gilaburu meyvelerinin sulu ekstraktlarının influenza virüsünün enfeksiyon etkisini inhibe ettiğini belirlemişlerdir. Benzer bir çalışma da Burnaz vd. (2007) tarafından yapılmış ve *Viburnum opulus*'tan elde edilen kloroform ve metanol ekstraktlarının antimikrobiyal etkinliğe sahip olduğu bildirilmiştir.

Hızlısoy (2009) Kayseri'den toplanan Gilaburu meyve ekstresinin *S.aureus*, *E.coli* ve *P. aeruginosa* bakterileri üzerinde antimikrobiyal etkinlik gösterdiğini tespit etmiştir. Bizim çalışmamızdan elde edilen veriler de bu sonucu desteklemektedir. Yine benzer bir çalışmada *V. opulus* ekstraktlarının *Staphylococcus aureus* ve *S. epidermidis* üzerindeki inhibitör etkisi tespit edilmiştir (Bubulica vd., 2012). Sağdıç vd. (2006) de *V. opulus* kuru meyvelerin metanol özütlerinin (% 10-15) patojenik ve bozulma bakterilerine

karşı antimikrobiyal aktivitesinin olduğunu bildirilmiştir. Antibakteriyel etki, *V. opulus* meyve tohumu yağı üzerinde yapılan bir çalışmada da tarif edilmiştir (Yılmaz vd., 2008).

Çesoniene vd. (2014) *V. opulus* genotiplerinin meyve suları ile etanol ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitelerini karşılaştırmışlardır. En etkili antibakteriyel aktivite değerlerinin *S. typhimurium*, *S. agona* ve *L. monocytogenes*'e karşı, sırasıyla 23.6, 20.7 ve 19.1 mm inhibisyon zonlarına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada *Staphylococcus epidermidis* ve *Micrococcus luteus*'un sırasıyla 14.2 ve 15.0 mm minimum inhibisyon zonları ile en yüksek dirence sahip olduğu bildirilmiştir. Meyve sularının etanol özlerine kıyasla daha fazla antibakteriyel etki gösterdiği belirlenmiştir. Bunun aksine, maya kültürlerinin büyümesinin, meyve suları ve etanol özütlerine az veya hiç duyarlılık göstermediği bildirilmiştir. Çesoniene vd. (2012) ise *V. opulus* meyve ekstraktlarının hem Gram (+) hem de Gram (-) bakterilere karşı antimikrobiyal etki gösterdiğini, mayalara karşı herhangi bir etkinin olmadığını bulmuşlardır.

Eryılmaz vd. (2013) de test ettikleri *Viburnum* türlerinin etanol ekstraktlarının sulu özütlerle kıyasla daha iyi antimikrobiyal aktivite sergilediğini tespit etmişlerdir. İskender vd. (2007) ise yapılan diğer çalışmaların aksine *Viburnum opulus*'tan elde edilen uçucu yağların ise test mikroorganizmalarına etki etmediğini tespit etmişlerdir. Antimikrobiyal aktivite çalışmalarında elde edilen sonuçlar bakteri türü ve suşuna, bitkinin yetiştirme ve saklanma koşullarına, ekstraksiyon şekline ve test esnasında kullanılan madde miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir.

**Tablo 3.** Gilaburu ekstraktlarına ait antimikrobiyal aktivite sonuçları

Mikroorganizma	Gilaburu ekstraktı (mm)	Penisilin G (mm)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	18.66 $\pm$ 0.33	9 $\pm$ 0.00
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	21.00 $\pm$ 0.57	12.33 $\pm$ 0.33
<i>Bacillus subtilis</i>	18.66 $\pm$ 0.33	9 $\pm$ 0.00
<i>Escherichia coli</i>	18.00 $\pm$ 0.57	8.33 $\pm$ 0.66
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	18.33 $\pm$ 0.33	8.33 $\pm$ 0.33
<i>Bacillus megaterium</i> DSM 32	19.00 $\pm$ 0.57	8.67 $\pm$ 0.33
<i>Bacillus licheniformis</i>	18.00 $\pm$ 0.00	16.67 $\pm$ 1.20
<i>Enterobacter aerogenes</i>	18.66 $\pm$ 0.33	10.33 $\pm$ 0.33
<i>Yarrowia lipolytica</i>	-	-
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	-	-

Antimutajenite deneyleri sonucunda gilaburunun sadece 40 µl dozunda TA98 ırklarında pozitif kontrolle göre önemli bir azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir (p=0,019). TA100 ırklarında ise hiçbir dozda pozitif kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir azalma meydana gelmemiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde revertant koloni sayısının TA98 suşlarında tüm dozlarda pozitif kontrolle göre azalmalar meydana gelmiş ancak sadece en yüksek doz istatistiksel

olarak önemli bulunmuştur. TA 100 suşlarında ise 5µl, 20µl,40 µl dozlarda pozitif kontrole göre azalmalar meydana gelmiş ancak bu azalmalar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Muameleli gruplardaki revertant koloni sayısı ise kontrol ile muamele edilen gruplara nazaran önemli derecede yüksek çıkmıştır. Bu da antimutajenite deneylerinde beklediğimiz bir sonuçtur (Tablo 4).

**Tablo 4.** Gilaburu ekstraktlarına ait farklı dozların *S.typhimurium* TA 98 ve TA100 suşları üzerinde antimutajenik etkileri

Test Maddesi	Konsantrasyon (µg/petri)	TA 98	TA 100
Kontrol		17.3±0.3	82.33±2.33
4-NPD <sup>(1)</sup>	100	1908±142 <sup>a3</sup>	-
SA <sup>(2)</sup>	10	-	2570±65.2 <sup>a3</sup>
Gilaburu	5 µl	1712.7±91.7 <sup>a3</sup>	2489±236 <sup>a3</sup>
Gilaburu	10 µl	1623±164 <sup>a3</sup>	2859±185 <sup>a3</sup>
Gilaburu	20 µl	1567.3±98.6 <sup>a3</sup>	2222±285 <sup>a3</sup>
Gilaburu	40 µl	1280±127 <sup>a3b1</sup>	2229±101 <sup>a3</sup>

\*Revertant kolonilerin tespiti için toplam üç petri kutusu değerlendirilmiştir, (1): 4-nitrophenylene diamine, (2): Sodyumazid, a: kontrol ile aradaki fark anlamlı, b: Pozitif kontrol ile aradaki fark anlamlı, a1b1c1:p<0.05, a2b2c2: p<0.01, a3b3c3: p<0.001

Bitkilerin çoğunluğunun toksik ve genotoksik bileşikleri vardır. Bunlar antioksidan, antimutajenik ve antikanser özelliklere sahip polifenolik bileşikler olabileceği gibi, konsantrasyonlarının yüksek miktarda bulunması sonucu prooksidan ve mutajenik özelliklere de sahip olabilirler (Mennen vd., 2005; Wan-Ibrahim vd., 2010). Bu nedenle, zengin antioksidan polifenol kaynağı olan bitkilerin aşırı kullanımının toksisiteye neden olabileceği konusu endişe yaratabilmektedir (Paulauskas vd., 2015). Bu nedenle bu bitkilerin biyolojik özelliklerinin iyi araştırılması gerekmektedir.

Paulauskas vd. (2015) *V. opulus* ve *V. sargentii* Koehne meyve sularının comet testi ve mikronukleus testlerinde genotoksik olmadığını ve Ames testinde S9 mix (metabolik aktivatör) yokluğunda ve varlığında *S. Typhimurium*TA98 ve TA100 suşlarında geri dönüş kolonilerinin sayısında belirgin bir artış göstermediğini tespit etmişlerdir. Bizim yaptığımız çalışmada ise farklı olarak TA98 suşlarında gilaburunun 40 µl dozu antimutajen özellik göstermiştir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak, gilaburu meyve ekstraktının önemli antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra TA98 suşlarında en yüksek dozda antimutajen

özellige sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle gilaburu meyvesi tıbbi bir ilaç olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir ancak bunun için daha ileri araştırmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- Ahmad, N. and Mukhtar, H., 1999. Green tea polyphenols and cancer: Biologic mechanisms and practical implications, *Nutrition Reviews*, 57, 3, 78-83.
- Altun, M.L., Çıtoğlu, G.S., Yılmaz, B.S. and Çoban, T., 2008. Antioxidant properties of *Viburnum opulus* and *Viburnum lantanagrowing* in Turkey, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59, 3, 175-180.
- Azirak, S., and Rencuzogullari, E., 2008. The in vivo genotoxic effects of carvacrol and thymol in rat bone marrow cells, *Environmental Toxicology*, 23, 6, 728-735.
- Bakhshi, D. and Arakawa, O., 2006. Effects of UV-b irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in 'Jonathan' apple influenced by bagging, temperature and maturation, *Journal of*

Food, Agriculture & Environment, 4, 1, 75-79.

Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 9, 2, 129-132.

- Benzie, I.F.F. and Strain, J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant power; The FRAP assay, Analytical Biochemistry, 239, 70-76.
- Bolat, S.ve Özcan, M.,1995. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) Meyvesinin Morfolojik, Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri ile Kimyasal Bileşimi. Türkiye II. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Ç.Ü. Ziraat Fak. Yay, Cilt I., Adana. 72s.
- Bubulica, M.V., Anghel, I., Grumezescu, A.M., Saviuc, C., Anghel, G.A., Chifiriuc, M.C., Gheorghe, I., Lazar, V., and Popescu, A., 2012. In vitro evaluation of bactericidal and antibio film activity of *Lonicera tatarica* and *Viburnum opulus* plant extractson *Staphylococcus* Strains, Farmacia, 60, 1, 80-91.
- Burnaz, N., 2007. *Viburnum opulus* ve *V. orientale* bitki ekstraktlarının kimyasal bileşimi ve biyolojik aktiviteleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 66s.
- Buyukleyla, M, and Rencuzogullari, E., 2008. The effects of thymol on sister chromatid Exchange, chromosome aberration and micronucleus in human lymphocytes, Ecotoxicology Environmental Safety, Doi:10.1016/j.ecoenv.2008.10.005.
- Cemeroğlu, B., 1992. Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metotları. Ankara: Biltav Yayınları.
- Česonienė, L., Daubaras, R., Vencloviene, J. and Viškelis, P., 2010. Biochemical and agrobiological diversity of *Viburnum opulus* genotypes, Central European Journal of Biology, 5, 6, 864–871.
- Česonienė, L., Daubaras, R., Viškelis, P. and Šarkinas, A., 2012. Determination of the total phenolic and anthocyanin contents and antimicrobial activity of *Viburnum Opulus* fruit juice, Plant Foods for Human Nutrition, 67, 3, 256-261.
- Česonienė, L., Daubaras, R., Kraujalyte, V., Venskutonis, P.R. and Šarkinas, A., 2014. Antimicrobial activity of *Viburnum opulus* fruit juices and extracts, Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 9, 2, 129-132.
- Eryilmaz, M., Ozbilgin, S., Ergene, B., Sever Yilmaz, B., Altun, M.L. and Saltan, G., 2013. Antimicrobial activity of Turkish *Viburnum* species, Bangladesh Journal of Botany, 42, 2, 355-360
- Franzios, G., Mirosou, M., Hatziapostolou, E., Kral, J., Scouras, Z.G., and Mavragani, P.T., 1997. Insecticidal and genotoxic activities of mint essential oils, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45, 2690-2694.
- Giusti, M.M. and Wrolstad, R.E., 2001. Anthocyanins characterization and measurement with UV visible spectroscopy, Current protocols in food analytical chemistry. Editor: Wrolstad, R. E. New York: Willey.
- Hızlısoy, H., 2009. Çeşitli mikroorganizmalar üzerine gilaburunun antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ipek, E., Tuylu, B.A., and Zeytinoğlu, H., 2003. Effects of carvacrol on sister chromatid exchanges in human lymphocyte cultures, Cytotechnology, 43, 145-148.
- İskender, N.Y., 2007. Türkiye Doğal *Viburnum* L. (Caprifoliaceae) türlerinin uçucu yağ bileşimleri ve antimikrobiyal aktiviteleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koliopoulos, G., Pitarokili, D., Kioulos, E., Michaelakis, A. and Tzakou, O., 2010. Chemical composition and larvicidal evaluation of *Mentha*, *Salvia*, and *Melissa* essential oils against the West Nile virus mosquito *Culex pipiens*, Parasitol Research, 107, 2, 327-35.
- Kraujalytė, V., Venskutonis, P.R., Pukalskas, A., Česonienė, L. and Daubaras, R., 2013. Antioxidant properties and polyphenolic compositions of fruits from different European cranberrybush (*Viburnum opulus*L.) genotypes, Food Chemistry, 141, 3695–3702.
- Maron, D.M. and Ames, B.N., 1983. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test, Mutation Research, 113, 173-215.

- Mennen, L.I., Walker, R., Bennetau-Pelissero, C. and Scalbert, A., 2005. Risks and safety of polyphenol consumption, The American Journal of Clinical Nutrition, 81, 326–329.
- Orakçı, E.E., 2010. Gilaburunun antioksidan aktivitesi. Erciyes Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Bitirme tezi.
- Özbek, S., 1977. Genel Meyvecilik. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 111, Ders Kitabı 6.
- Özcan, H.M., 2010. Fenolik bileşiklerin tayinine yönelik amperometrik esaslı biyosensör hazırlanması. Trakya Üniversitesi FenEdebiyat Fakültesi Kimya bölümü. Doktora tezi.
- Özçelik, S., 1992. Gıda Mikrobiyolojisi Laboratuar Kılavuzu. F.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1, Elazığ, 135.
- Papageorgiou, V., Gardeli, C., Mallouchos, A., Papaioannou, M. and Komaitis, M., 2008. Variation of the chemical profile and antioxidant behavior of *Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia fruticosa* Miller grown in Greece, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 7254-7264.
- Paulauskas, A., Žukauskienė, J., Žiaukienė, D. Česonienė, L., Daubaras, R., Kupčinskienė, E., Lazutka, J.R., Slapšytė, G., Dedonytė, V., Mierauskienė, J., Stapulionytė, A., Paškevičius, A., Levinskaitė, L., Švedienė J. and Viškelis, P., 2015. Differentiation of *Viburnum* accessions according to their molecular, biochemical, genotoxic and microbiological features of importance to selection, Academia Journal of Agricultural Research, 3, 6, 081-093.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radical Biology and Medicine, 26, 1231-1237.
- Rezaeirad, D., Bakhshi, D., Ghasemnezhad, M. and Lahiji, H.S., 2013. Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of local pears (*Pyrus* sp.) in the North of Iran, International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5, 8, 882-887.
- Sagdic, O., Aksoy, A. and Ozkan, G., 2006. Evaluation of the antibacterial and antioxidant potentials of cranberry (gilaburu, *Viburnum opulus* L.) fruit extract, Acta Alimentaria, 35, 4, 487-492.
- Sağiroğlu, A., 2003. Bitkisel doğal bileşikler kimyası, Trakya Üniversitesi FenEdebiyat Fakültesi Kimya bölümü biyokimya anabilim dalı, 12-13.
- Stammati, A., Bonsi, P., Zucco, F., Moezelaar, R., Alakomi, H.L., and Von Wright, A., 1999. Toxicity of selected plant volatiles in microbial and mammalian short-term assays, Food Chemistry Toxicology, 37, 813-823.
- Şeker, I.T. Ertop, M.H. and Hayta, M., 2016. Physicochemical and bioactive properties of cakes incorporated with gilaburu fruit (*Viburnum opulus*) pomace, Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 8, 2, 261-266.
- Yılmaz, N., Yali, N., Misir, G., Coskuncelebi, K., Karaoglu, S. and Yayli, N., 2008. Chemical composition and antimicrobial activities of the essential oils of *Viburnum opulus*, *Viburnum lantana* and *Viburnum orientala*, Asian Journal of Chemistry, 20, 3324–3330.
- Yürüker, A., 1993. *Viburnum orientale* Pallas üzerinde fitokimyasal çalışmalar, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-15.
- Wan-Ibrahim, W.I., Sidik, K. and Kuppasamy, U.R., 2010. A high antioxidant level in edible plants is associated with genotoxic properties, Food Chemistry, 122, 4, 1139-1144.

# İyonotropik Jelleşme Yöntemi ile Hazırlanan Kitosan Nanopartiküllerde Hapsetme (Enkapsülasyon) ile Anyonik Boyaların Uzaklaştırılma ve Hapsedilen Boyanın Nanopartikülde Depolanma Etkinliğinin Araştırılması

*Investigation Removal Effectiveness of Anionic Dyes via Encapsulation in Chitosan Nanoparticles Prepared by Ionotropic Gelation Method and the Dye Storage Performance in Nanoparticles*

**Erol ALVER\***

*Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum*

• Geliş tarihi / Received: 20.04.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 26.09.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 27.09.2017

## Öz

İyonotropik etkileşim ile kitosan nanopartiküller anyonik boya (Fast Green FCF) içeren çözelti ortamında hazırlandı. Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller SEM ve Zeta-sizer ile karakterize edildi. Kitosan nanopartikül içerisine hapsedilen boyanın sulu ortamdan uzaklaşmasında etkili parametreler ve nanopartiküller içerisinde hapsolme kararlılığı farklı pH çözeltilerinde araştırıldı. Fast Green FCF'nin sulu ortamdan % 90'nın üzerinde bir etkinlikle uzaklaştırılması sağlandı. Kitosan nanopartikül içerisine hapsedilen boya miktarı ise 1140 mg/g kitosan olarak belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Boya uzaklaştırma, Enkapsülasyon, Kitosan

## Abstract

The chitosan nanoparticles were prepared in solution medium containing anionic dye (Fast Green FCF) with ionotropic interaction. The dye encapsulated chitosan nanoparticles were characterized by SEM and Zeta-sizer. The effective parameters for the removal of dye from aqueous medium and stability of trapping in nanoparticles were investigated in different pH solutions. Fast Green FCF was removed from the aqueous medium with an efficiency of over 90%. The amount of trapped dye was determined as 1140 mg / g chitosan.

**Keywords:** Dye removal, Encapsulation, Chitosan

\* Erol ALVER; erolalver@hotmail.com; Tel:(0364) 227 45 33; orcid.org/0000-0002-6010-6910

## 1. Giriş

Kitosan karides, yengeç ve ıstakoz gibi kabuklu deniz hayvanlarının ve böceklerin kabuklarında bulunan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen bir aminopolisakkarittir (Vakili vd., 2014; Subramani vd., 2017). Ticari kitosanların deasetilasyon derecesi genellikle % 70-95 aralığında ve molekül kütlesi ise 10-1000 kDa arasındadır (George vd., 2006; Antoniou vd., 2015; Alver vd., 2017). Kitosan, doğada selülozdan sonra en fazla bulunan doğal bir biyopolimerdir (Geçer vd., 2009; Alver vd., 2014; Antoniou vd., 2015; Metin ve Alver, 2016). Kitosan biyo bozunur, biyo uyumlu, antibakteriyel ve toksik olmayan özelliklerinin yanı sıra bol ve ucuz oluşu ile ilgi çekici bir materyaldir. Bu nedenle, tıp, gıda, eczacılık, kozmetik, tekstil, ziraat ve atık sulardan çevresel kirleticilerin uzaklaştırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Demir ve Seventekin, 2009; Gonçalves vd., 2017; Huang vd., 2017; Marrakchi vd., 2017). Zayıf asidik ortamda çözünebilen kitosandan, glutaraldehit, epiklorohidrin gibi kimyasal çapraz bağlayıcılar veya sodyum tripolifosfat (Na-TPP) gibi iyonik çapraz bağlayıcılar yardımı ile geniş bir pH aralığında çözünmeyen materyaller elde edilebilir (Chen vd., 2011; Aldana vd., 2012; Metin vd., 2013; Alver vd., 2017). Toksik olmayan bir polianyon olan sodyum tripolifosfat ve kitosan arasındaki iyonotropik etkileşim ile kitosan nanopartiküller hazırlanabilmektedir (De Moura vd., 2009; Tirtom vd., 2012; Antoniou vd., 2015; Alver vd., 2017).

Boyalar, tekstil, deri, kağıt, kozmetik, plastik, ilaç ve gıda gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu endüstrilerden salınan ve büyük çoğunluğu toksik ve hatta kanserojen etkiye sahip olan boya atıkları özellikle sularda önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır (Crini, 2006; Mohammadi vd., 2014; Hashemian ve Foroghimoqhadam, 2014; Vakili vd., 2014; Agarwal vd., 2017; Al Nafiey vd., 2017). Atık sulardan boyaların giderilmesi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik bir çok yöntem kullanılmaktadır (Agarwal vd., 2016; Abbasi, 2017; Kumari vd., 2017). Ancak bu yöntemlerden hiç biri tek başına yeterli etkinliğe sahip değildir. Bu nedenle sulardan ucuz materyaller ile hızlı ve etkili bir şekilde kirleticilerin uzaklaştırılması hala önemini koruyan çalışma konuları arasındadır (Alver ve Metin, 2012; Subramani ve Thinakaran, 2017).

Fast Green FCF gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisinde renklendirici olarak kullanılmasının yanı sıra, tekstil, kağıt ve deri gibi birçok

endüstride de kullanılmaktadır (Tsuji vd., 2006; Kumar vd., 2008; Mittal vd., 2009). Fast Green FCF, insanlar için alerjen etkiye sahiptir, gözde, ciltte ve üst solunum yollarında tahrişe neden olabilmektedir. Ayrıca, insan ve hayvan sinir sisteminde nörotransmitter maddelerin salınmasını inhibe ettiği literatürde belirtilmektedir (Kumar vd., 2008; Mittal vd., 2009; Tahir vd., 2010). Hatta kansorejen etkiye sahip olduğu şüphelerinden dolayı Avrupa Birliği ve birçok ülke tarafından gıda katkı maddesi olarak kullanılması yasaklanmıştır (Kumar vd., 2008; Pooralhossini vd., 2017).

## 2. Amaç

Kitosanın Na-TPP arasındaki etkileşim ile kitosan nanopartiküller elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, ucuz ve kolay elde edilebilir bir malzeme olan kitosan ile sulu ortamlardan reaktif boyaların hızlı ve etkili bir yöntem ile uzaklaştırılması ve güvenli bir şekilde depolanması araştırılmıştır. Bu amaçla, kitosan çözeltisi boya çözeltisinin içerisine eklenmiş ve Na-TPP yardımı ile kitosan nanopartiküller sentezlenirken boya moleküllerinin nanopartikül içine hapsedilmesi (enkapsüle edilmesi) sağlanmıştır. Bu şekilde boya moleküllerinin çözelti ortamından uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Kitosan nanopartiküllere boyanın hapsedilmesinde etkili olabilecek parametreler araştırılmıştır. Ayrıca farklı pH'larda boyanın kitosan nanopartiküller içerisinde hapsedilme kararlılığı incelenmiştir.

## 3. Gereç ve Yöntem

### 3.1. Kimyasallar

Kitosan, (deasetilasyon derecesi:  $\geq 75\%$ ), sodyum tripolifosfat, sodyum klorür, sodyum hidroksit, asetik asit ve hidroklorik asit Sigma Aldrich (St. Louis, USA)'den temin edilmiştir.

### 3.2. Deneysel Çalışma

Fast Green FCF reaktif boya, kitosan nanopartiküller içerisine hapsedilerek sulu çözeltilerden uzaklaştırıldı. Belirli derişimdeki 50 mL boya çözeltisi içerisine %1'lik (a/h) kitosan çözeltisinde 1 mL eklenerek karıştırıldı. Daha sonrasında çözelti üzerine farklı hacimlerde %1 (a/h)'lik sodyum tripolifosfat çözeltisi eklenerek boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller elde edildi (Alver vd., 2017). Nanopartiküller süzülerek uzaklaştırıldı ve ortamda kalan boya derişimleri UV-vis spektrofotometre ile



absorbanslarının ölçülmesi ile belirlendi. Kitosan nanopartiküller ile sulu çözeltilerden Fast Green FCF'nin uzaklaştırma etkinliğine pH (2-9), zaman (1-15 dak.), Na-TPP miktarı (%1, 0,05-10 mL) ve karıştırma hızı gibi parametrelerin etkisi incelendi. Uzaklaştırma verimliliği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Uzaklaştırılan boya miktarı (mg/g)} = \frac{C_i}{m} \times V$$

$C_i$ : Kitosan içerisine hapsedilen boya derişimi (mg/L)

$V$ : Boya çözeltisinin hacmi (L)

$m$ : Çözeltiye eklenen kitosan miktarı (g)

Ayrıca boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller süzülüp, kurutulduktan sonra boyanın nanopartiküller içerisinde hapsedilme etkinliği araştırıldı. Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller farklı pH'larda (2-13) 50 mL deionize su içerisine konuldu ve 130 rpm'de çalkalandı. Çözeltideki boya derişimleri UV-Vis spektrofotometre ile 96 saat boyunca belirli aralıklarla ölçülerek, kitosan nanopartiküller içerisine hapsedilmiş olan boyanın salınan miktarı belirlendi.

### 3.3. Analizler

Fast Green FCF hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerinin geometrik şekli ve boyut dağılımı FEI / Quanta 450 FEG Taramalı Elektron mikroskopları (SEM) kullanılarak belirlendi. Boya hapsedilmiş partiküllerin hidrodinamik

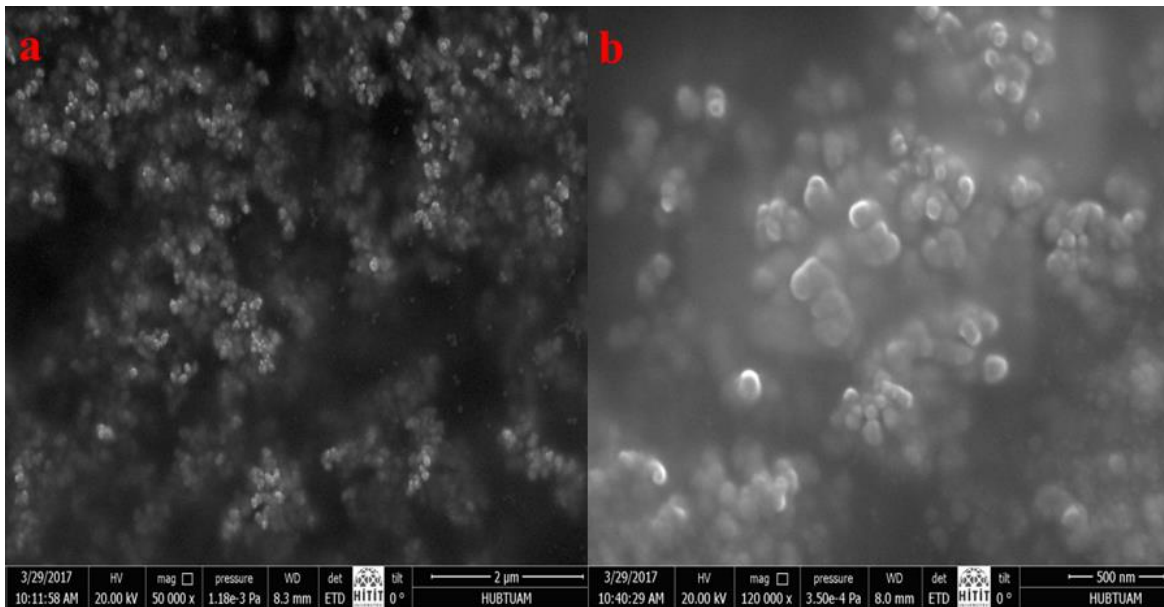
çapları ve yüzeydeki yük potansiyeli zeta potansiyel analiz cihazıyla (Zeta Sizer-Nano serisi Malvern Instruments) ile belirlendi. Fast Green FCF çözeltilerinin absorbans ölçümleri 635 nm'de UV-Vis Spektrofotometre (Genesys 10S, Thermo USA) ile yapıldı.

## 4. Bulgular

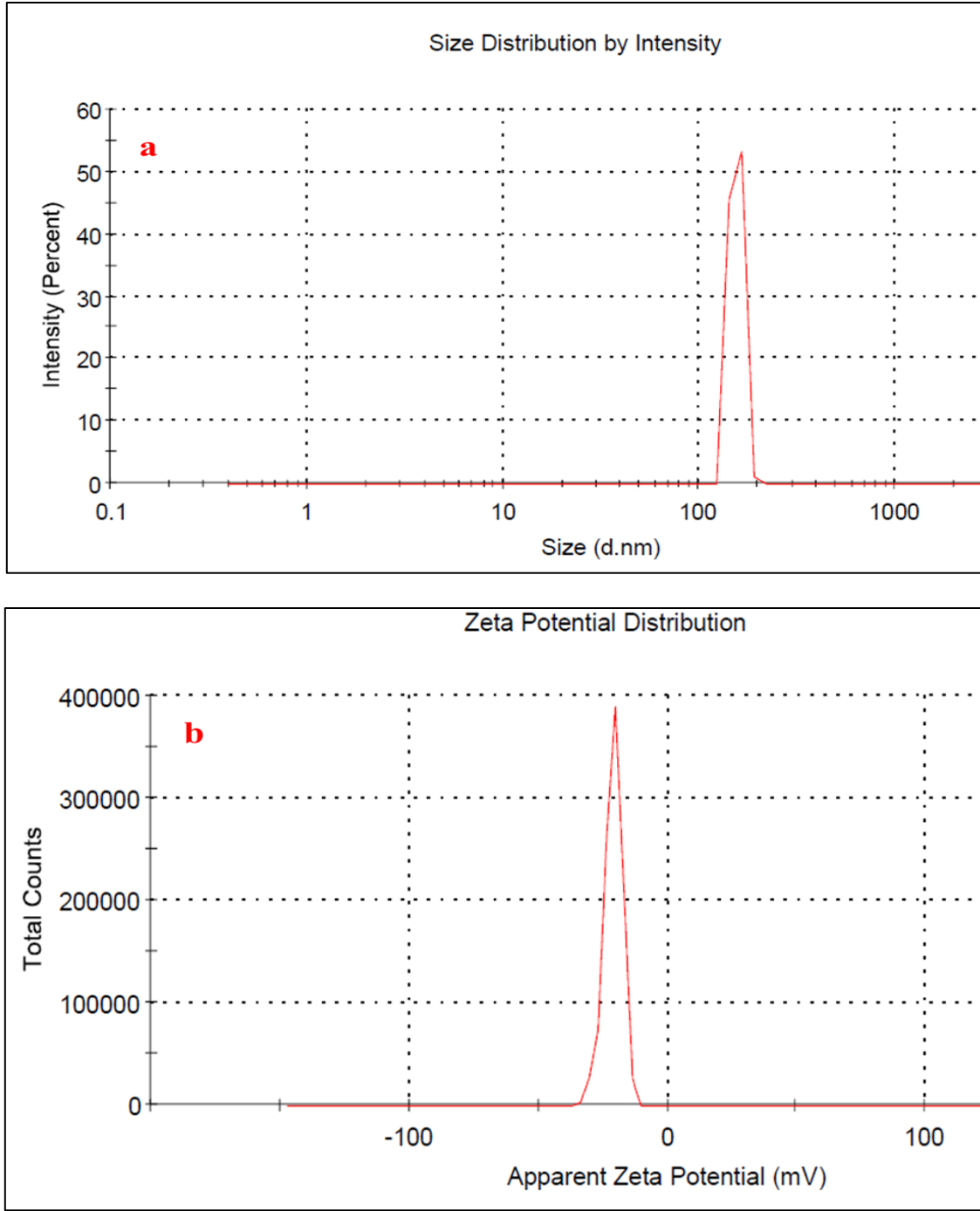
### 4.1. Boya Enkapsüle Olmuş Kitosan Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller, iyonotropik jelleşme ile kitosan molekülündeki amino grupları ve Na-TPP moleküllerindeki fosfat grupları arasındaki elektrostatik etkileşim ve moleküller arası çapraz bağlanma ile elde edilmiştir. Şekil 1. a ve b, farklı büyütme oranlarında boya enkapsüle olmuş kitosan nanopartiküllerin SEM fotoğraflarını göstermektedir. SEM görüntülerinden partiküllerin boyutunun yaklaşık 100 nm civarında olduğu belirlenmiştir.

Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin yüzey yükleri ve hidrodinamik çapları zeta analizleri ile belirlendi (Şekil 2. a ve b). Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin hidrodinamik çapları 200 nm, partiküllerin yüzey yükleri ise -21,0 mV olarak belirlenmiştir. Alver vd. (2017) enkapsülasyon yolu ile kongo kırmızısının uzaklaştırılması çalışmalarında boya hapsolmemiş kitosan nanopartiküllerin belirlerken yüzey yüklerini ise +16mV olarak belirlediklerini rapor etmişlerdir.



Şekil 1. (a), (b) Boya enkapsüle edilmiş kitosan nanopartiküllerin farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları

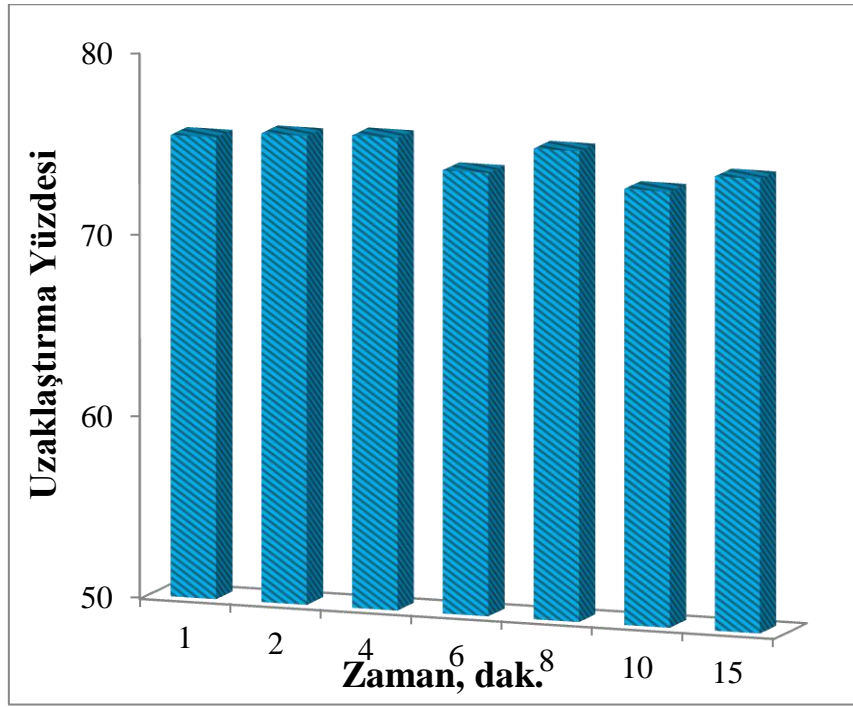


**Şekil 2. (a)** Fast Green FCF hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin zeta boyut dağılım grafiği. **(b)** Fast Green FCF hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin zeta potansiyel grafiği

#### 4.2. Karıştırma Zamanı Etkisi

Kitosan nanopartikül oluşumu ile eşzamanlı olarak ortamda bulunan Fast Green FCF boyasının uzaklaştırılma etkinliğine karıştırma süresinin etkisini belirlemek için çözelti ortamına Na-TPP eklendikten sonra çözelti 1-15 dakika arası

manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırıldı (Şekil 3). Na-TPP çözeltisi eklendikten bir dakika sonra Fast Green FCF ortamdan %75,4 oranında uzaklaştırıldı. Belirlenen süreler içerisinde uzaklaştırma yüzdelerinin 74-76 aralığında değiştiği görüldü.



**Şekil 3.** Karıştırma süresinin uzaklaştırma yüzdesine etkisi (Çözelti pH:6; karıştırma hızı: 300 rpm; boya derişimi ve hacmi:250mg/L, 50mL; kitosan çözeltisi:1mL, %1; Na-TPP çözeltisi: 1mL, %1)

#### 4.3. pH Etkisi

Boya çözeltisinin pH değerinin uzaklaştırma yüzdesine etkisini incelemek amacı ile diğer parametreler sabit tutularak pH 2-9 aralığında çalışmalar gerçekleştirildi. Boya çözeltilerinin pH ayarlamaları HCl ve NaOH yardımı ile yapıldı. Kitosanın yüksek pH değerlerinde jel oluşturma özelliğinden dolayı daha yüksek pH değerlerinde ise çalışılmadı. Çalışılan pH aralığında uzaklaştırma yüzdesinde önemli bir değişim görülmedi. Boya çözeltisinin doğal pH değeri olan 6'da uzaklaştırma yüzdesi 76,3 olarak belirlendi.

#### 4.4. Karıştırma Hızı Etkisi

Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin oluşumuna ve boyanın uzaklaştırma etkinliğine, karıştırma hızının etkisini belirlemek amacıyla, çözelti Na-TPP eklendikten sonra 200-900 rpm aralığında farklı hızlarda karıştırıldı. (Şekil 4). Şekilden de görüldüğü gibi 200-600 rpm karıştırma hızlarında uzaklaştırma yüzdesinde önemli bir değişim görülmemiştir. Uzaklaştırma yüzdesi % 75 ile %76,3 aralığında değişim göstermiştir. Ancak, 600 rpm karıştırma hızından sonra uzaklaştırma etkinliğinde azalma olmaya başlamıştır. En yüksek karıştırma hızı olan, 900

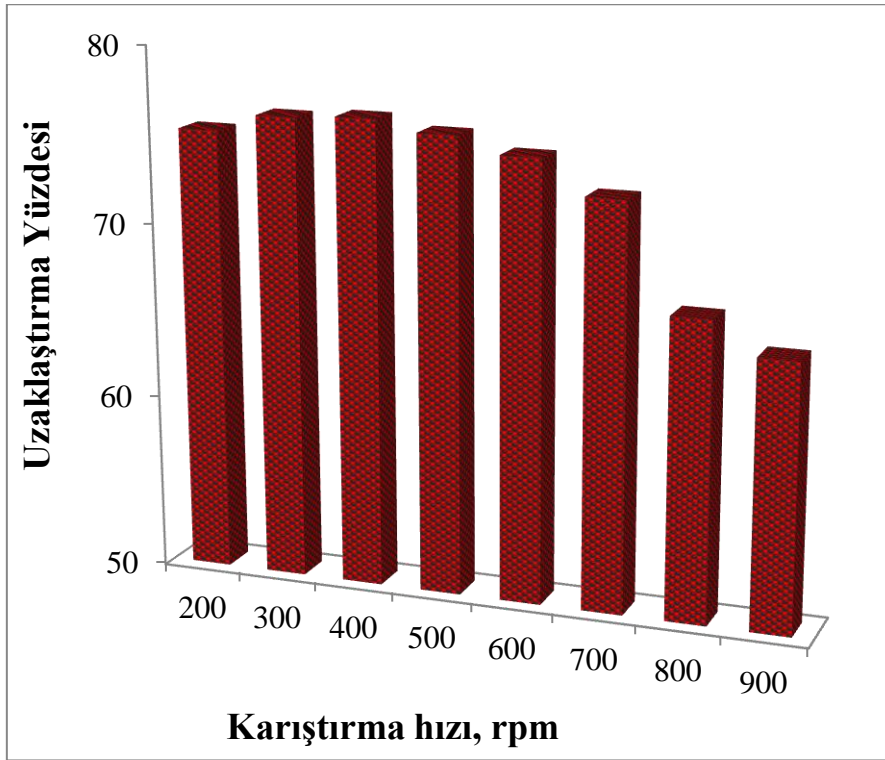
rpm'de boya uzaklaştırma etkinliğinde yaklaşık %15'lik azalma olduğu görülmüştür.

#### 4.5. Na-TPP Derişiminin Etkisi

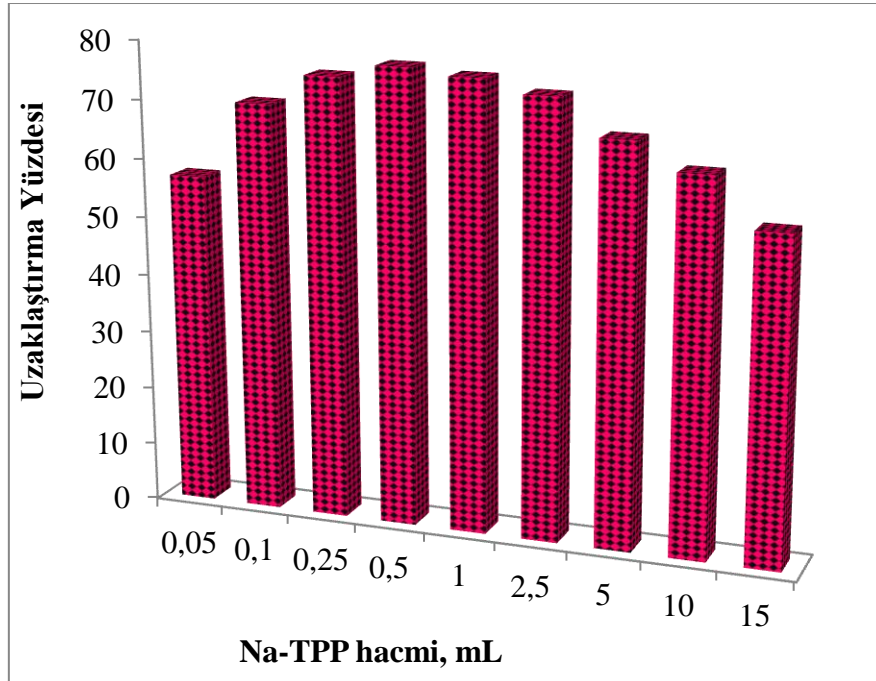
Na-TPP derişiminin Fast Green FCF'nin nanopartikül içerisine hapsolmesine etkisi çözelti ortamına %1'lik Na-TPP'den 0,05-15 mL aralığında eklenerek araştırıldı (Şekil 5). Düşük Na-TPP derişimlerinde, uzaklaştırma etkinliğinde artış gözlenirken, 0,25-2,5 mL hacimdeki Na-TPP eklenmesi ile uzaklaştırma yüzdesinin çok değişmediği belirlendi. Bu noktadan sonraki Na-TPP eklemelerinde, uzaklaştırma veriminin azaldığı belirlenmiştir.

#### 4.6. NaCl Etkisi

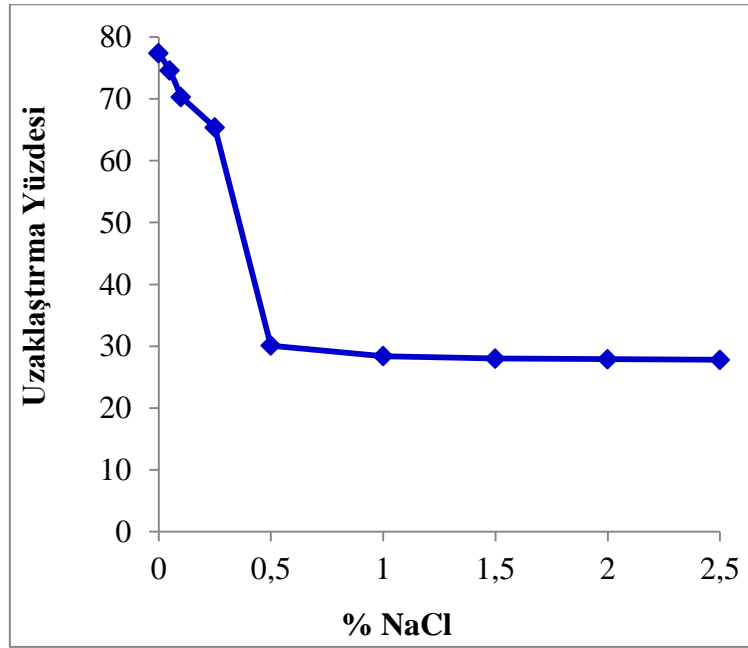
Kitosan nanopartikül içerisine hapsedilerek Fast Green FCF'nin sulu ortamlarda uzaklaştırılmasına çözelti ortamındaki tuzun (NaCl) etkisini incelemek amacı ile ortama değişik oranlarda (% 0-2,5) tuz ilave edildi. Ortamdaki tuzun uzaklaştırma yüzdesine etkisi Şekil 6'da verildi. Şekilden de görüldüğü gibi ortamda tuz bulunması uzaklaştırma etkinliğini azaltmaktadır. % 0,25 den daha fazla tuz derişimlerinde uzaklaştırma verimi önemli oranda azalmaktadır.



Şekil 4. Karıştırma hızının uzaklaştırma yüzdesine etkisi (Çözelti pH:6; karıştırma zamanı: 1 dak.; boya derişimi ve hacmi:250mg/L, 50mL; kitosan çözeltisi:1mL, %1; Na-TPP çözeltisi: 1mL, %1)



Şekil 5. Na-TPP derişiminin uzaklaştırma yüzdesine etkisi (Çözelti pH:6; karıştırma zamanı: 1 dak.; karıştırma hızı: 400 rpm; boya derişimi ve hacmi:250mg/L, 50mL; kitosan çözeltisi:1mL)

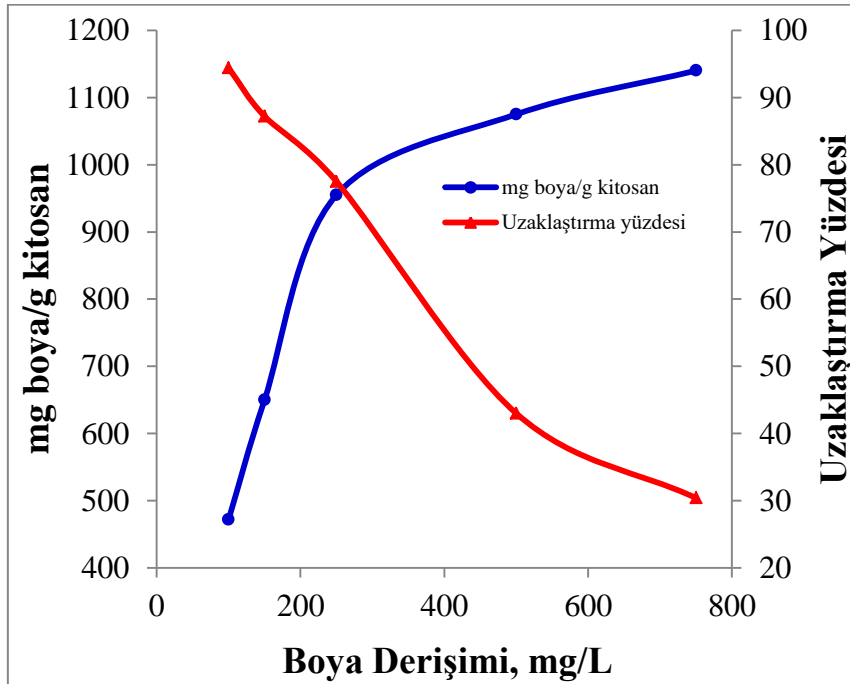


**Şekil 6.** NaCl derişiminin uzaklaştırma yüzdesine etkisi (Çözelti pH:6; karıştırma zamanı: 1 dak.; karıştırma hızı: 400 rpm; boya derişimi ve hacmi:250mg/L, 50mL; kitosan çözeltisi:1mL)

#### 4.7. Boya Derişiminin Etkisi

Çözeltideki boyanın derişiminin uzaklaştırma yüzdesine etkisini incelemek amacı ile belirlenen optimum şartlarda 100-750 mg/L boya derişiminde çözeltiler kullanılarak çalışmalar yapıldı (Şekil 7). Boya derişimi arttıkça uzaklaştırma yüzdesinde azalma görülürken

uzaklaştırılan boya miktarında ise artış olmuştur. 100 mg/L derişimdeki boya çözeltisi % 94,4 oranında uzaklaştırılırken boya derişimi 750 mg/L'ye çıkarıldığında uzaklaştırma yüzdesi %30,4 azalmıştır. Boyanın maksimum uzaklaştırma miktarı 1140 mg boya/g olarak belirlenmiştir.

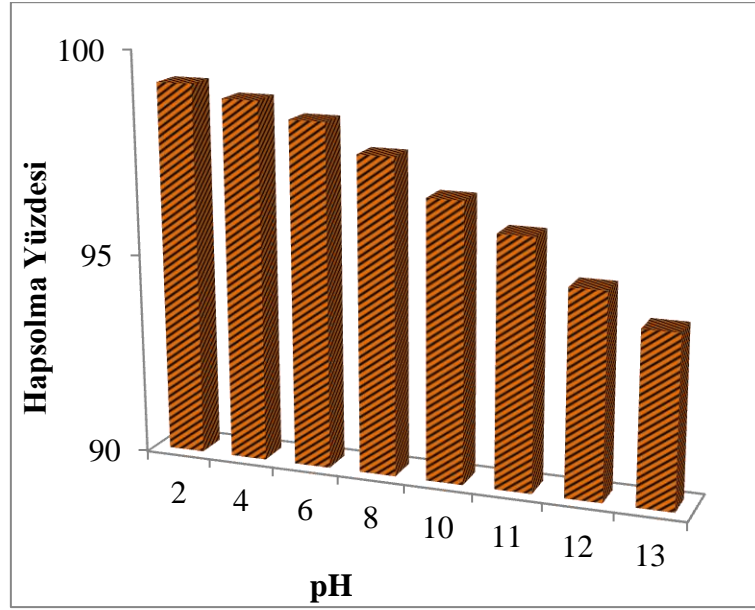


**Şekil 7.** Boya derişiminin uzaklaştırma yüzdesine etkisi (Çözelti pH:6; karıştırma zamanı: 1 dak.; karıştırma hızı: 400 rpm; boya hacmi: 50mL; kitosan çözeltisi:1mL)

#### 4.8 Kitosan Nanopartiküller İçinde Boyanın Depolanma Etkinliği

Şekil 8’de kitosan nanopartiküller içine hapsedilen boyanın nanopartikül içinde farklı pH’larda hapsolme etkinliği görülmektedir. Çözelti ortamından uzaklaştırılıp kurutulan boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller farklı pH’lardaki 50 mL çözeltiye konuldu ve her bir örnekten 96 saat boyunca belirli zaman

aralıklarında alınan ölçümler ile çözeltiye geçen boya konsantrasyonu hesaplandı. İlk 24 saat sonunda yapılan ölçümlerden sonra nanopartiküllerden boya salınımı olmadığı belirlenmiştir. 96 saat sonunda geniş bir pH aralığında (2-10) kitosan nanopartikül içerisinde boyanın % 97-99 oranında hapsediği belirlenirken yüksek pH değerlerinde ise (11-13) bu oran % 94-96 arasındadır.



Şekil 8. Kitosan nanopartikül içerisinde Fast Green FCF’nin hapsolme etkinliği

#### 5. Tartışma ve Sonuçlar

SEM fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 1.a,b) partiküllerin küresel, nano boyutta ve partikül çaplarının yaklaşık 100 nm civarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca partiküllerin aglomere olma eğiliminde oldukları da görülmektedir.

Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin zeta boyut dağılım grafiğine bakarak (Şekil 2.a) partikül dağılım aralığının nispeten dar olduğu söylenebilir. Kitosan ve Na-TPP seyreltik asetik asit içeren ortamda karıştırıldığında kendiliğinden pozitif yüzey yüküne sahip nano yapılar oluştururlar (Mudhakir vd., 2014; Alver vd., 2017). Fast Green FCF hapsedilmiş kitosan nanopartiküllerin ise partikül yüzeyinde ve içerisindeki negatif yüklü boya moleküllerinden dolayı negatif zeta potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 2.b).

Fast Green FCF boyasının kitosan nanopartikül içerisine hapsedilerek uzaklaştırılmasında karıştırma süresinin önemli bir etkisinin olmadığı

görülmüştür (Şekil 3). 1 dakika karıştırma süresinde boyanın %75,4’ü başarılı bir şekilde uzaklaştırılmıştır. Boya uzaklaştırılmasında karıştırma süresinin herhangi bir etkisinin olmaması Na-TPP eklendikten sonra nanopartikül oluşumu ve boyanın hapsolmesinin çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bundan sonraki çalışmalar için 1 dakika optimum süre olarak belirlenmiştir.

pH’nın etkisi incelendiğinde geniş bir pH aralığında (2-9) boya çözeltisinin pH değerinin uzaklaştırma yüzdesine önemli bir etkisinin olmadığı belirlendi. Bu durum, kitosan ile boya molekülleri arasında iyon değişimi gibi güçlü etkileşimlerin varlığı ile açıklanabilir. pH’nın uzaklaştırma etkinliğine önemli bir etkisinin olmamasından dolayı bundan sonraki çalışmalara çözeltinin doğal pH değeri olan 6 ile çalışmalara devam edilmiştir.

Fast Green FCF boyasının kitosan nanopartikül içerisine hapsedilerek uzaklaştırılmasında karıştırma hızının etkisi incelendiğinde (Şekil 4)

200-600 rpm karıştırma hızlarında uzaklaştırma yüzdelinde önemli bir değişim gözlenmezken 600 rpm karıştırma hızından sonra uzaklaştırma etkinliğinde azalma olmaya başlamıştır. Bu azalmanın yüksek karıştırma hızlarında çözelti ortamında oluşan vorteks etkisi sebebiyle, boya moleküllerinin kitosan nanopartikül içerisine hapsolacak zamanı bulamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmalarda 400 rpm optimum karıştırma hızı olarak belirlenmiştir.

Ortama eklenen Na-TPP derişimin boya uzaklaştırma etkinliğine etkisi incelendiğinde (Şekil 5) düşük TPP derişimlerinde uzaklaştırma veriminin düşük olması kitosanın tamamının çapraz bağlanamamasından dolayı olduğu düşünülürken, yüksek TPP derişimlerdeki azalma ise, çözelti ortamında oluşan aşırı negatif yükün boya moleküllerinin kitosan içerisine hapsolmasını engellemesi ile açıklanabilir. Sonraki çalışmalar için Na-TPP hacmi 0,5 mL olarak belirlendi.

Çözelti ortamındaki tuz (NaCl) boyanın nanopartikül içerisine hapsedilerek uzaklaştırılma etkinliğini azaltmaktadır (Şekil 6). Bu azalmanın

Cl<sup>-</sup> iyonlarının derişimi arttıkça ortamda artan negatif yük yoğunluğunun boya moleküllerinin kitosan içerisine hapsolmasını engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Fast Green FCF'nin kitosan nanopartikül içerisine hapsolma etkinliği incelendiğinde boyanın geniş bir pH aralığında kitosan nanopartiküller içerinde güvenli bir şekilde depolanabileceği belirlenmiştir. Ancak pH değeri arttıkça nanopartikülden uzaklaşan boya miktarında artış olduğu belirlenmiştir. Bazik çözeltilerde kitosandaki pozitif yüklü amino gruplarının deprotonizasyonu sonucunda kitosan ile boya molekülleri arasındaki elektrostatik etkileşimin zayıflar (Chiou ve Li, 2003). Bu nedenle yüksek pH değerlerindeki sızmanın, nanopartikül yüzeyine adsorbe olan boya moleküllerinin çözelti ortamına desorpsiyonu sonucu gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu sonuçlar kitosan nanopartikülün toksik boyaların uzaklaştırılmasında kullanılmasının yanı sıra onların güvenli bir şekilde depolanıp yağmur suları ile taşınmasına engel olabileceğini gösterdiği söylenebilir.

**Tablo 1.** Literatürde Fast Green FCF boyasının uzaklaştırma etkinlikleri

	Yöntem	Materyal	Süre	pH	Uzaklaştırılan Boya Miktarı	Kaynak
1	Adsorpsiyon	Fıstık kabuğu	36 saat	2	15,60 mg/g	Gong vd., 2005
2	Adsorpsiyon	Montmorilente	10 dakika	-	1,0x10 <sup>-3</sup> M (%97'si)	Tahir vd., 2010
3	Adsorpsiyon	Kül	4 saat	5	6,2x10 <sup>-5</sup> mol/g	Gupta vd., 2005
4	Adsorpsiyon	Aktif karbon	120 dakika	7	51,02 mg/g	Ramalakshmi vd., 2012
5	Adsorpsiyon	Biyo kütle	60 dakika	7	35,59 mg/g	Ramalakshmi vd., 2012
6	Adsorpsiyon	Kırmızı çamur	7 saat	7	8,77x10 <sup>-6</sup> mol/g	Gupta vd., 2004
7	Adsorpsiyon	Yaprak tozu	10 dakika	-	1,8 X 10 <sup>-4</sup> M(%94'ü)	Tahir vd., 2008
8	Elektro-fenton degradasyon	-	35 dakika	3	5x10 <sup>-2</sup> M (%100'ü)	Sirés vd., 2008
9	Fenton oksidasyon	-	10 dakika	-	90 mg/l (%8'i)	Yu vd., 2005
10	Fotokatalitik degradasyon	-	10 saat	7,5	1,0x10 <sup>-5</sup> M	Bhati vd., 2010
11	Enkapsülasyon	Kitosan	1 dakika	2-9	1140 mg/g	Bu çalışma

Tablo 1'de literatürde Fast Green FCF boyasının farklı yöntemlerle uzaklaştırma etkinlikleri görülmektedir. Tablo incelendiğinde enkapsülasyon ile Fast Green FCF boyasının

uzaklaştırılmasının deneysel çalışma süresi konusunda oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca uzaklaştırılan boya miktarı etkinliğinin çalışılan pH aralığından da bağımsız

olması ile bu konuda da yöntem önemli avantaja sahiptir. Uzaklaştırılan Fast Green FCF miktarı açısından da incelendiğinde yöntemin oldukça yüksek bir etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak; Boya hapsedilmiş kitosan nanopartiküller kitosan ile Na-TPP arasındaki iyonotropik etkileşim ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir. SEM analizi ile boya hapsedilen kitosan nanopartiküllerin boyutlarının ortalama 100 nm civarında, küresel ve düzgün yapıya olduğu belirlenmiştir. Ayrıca zeta analizi ile nanopartiküllerin negatif yüzey yüküne sahip oldukları belirlenmiştir. Kitosan ile Na-TPP arasındaki etkileşimin oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden dolayı, boya hapsolme etkinliğine karıştırma süresinin, pH'nın ve karıştırma hızının önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Çözelti ortamında yüksek tuz miktarının hapsolme etkinliğini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Optimum koşullarda maksimum hapsolan olan boya miktarı 1140 mg/g kitosan, uzaklaştırma etkinliği ise % 94 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Fast Green FCF'nin geniş bir pH aralığında kitosan nanopartiküller içinde güvenli bir şekilde depolanabileceği belirlenmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: MUH19002.15.002

## 6. Kaynaklar

Abbasi, M., 2017. Synthesis and characterization of magnetic nanocomposite of chitosan/SiO<sub>2</sub>/carbon nanotubes and its application for dyes removal, Journal of Cleaner Production, 145, 105-113.

Agarwal, S., Gupta, V.K., Ghasemi. ve M., Azimi-Amin, J., 2017. Peganum harmala-L Seeds adsorbent for the rapid removal of noxious brilliant green dyes from aqueous phase, Journal of Molecular Liquids, 231, 296-305.

Agarwal, S., Tyagi, I., Gupta, V.K., Mashhadi, S. ve Ghasemi, M., 2016. Kinetics and thermodynamics of Malachite Green dye removal from aqueous phase using iron nanoparticles loaded on ash, Journal of Molecular Liquids, 223, 1340-1347.

Al Nafiey, A., Addad, A., Sieber, B., Chastanet, G., Barras, A., Szunerits, S. ve

Boukherroub, R., 2017. Reduced graphene oxide decorated with Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles (rGO-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanocomposite: A reusable catalyst for highly efficient reduction of 4-nitrophenol, and Cr (VI) and dye removal from aqueous solutions, Chemical Engineering Journal, 322, 375-384.

Aldana, A.A., González, A., Strumia, M.C. ve Martinelli, M., 2012. Preparation and characterization of chitosan/genipin/poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) films for controlled release drugs, Materials Chemistry and Physics, 134(1), 317-324.

Alver, E. ve Metin, A.Ü., 2012. Anionic dye removal from aqueous solutions using modified zeolite: Adsorption kinetics and isotherm studies, Chemical Engineering Journal, 200, 59-67.

Alver, E., Bulut, M., Metin, A.Ü. ve Çiftçi, H., 2017. One step effective removal of Congo Red in chitosan nanoparticles by encapsulation, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 171, 132-138.

Alver, E., Metin, A.Ü. ve Çiftçi, H., 2014. Synthesis and characterization of chitosan/polyvinylpyrrolidone/zeolite composite by solution blending method, Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 24(6), 1048-1054.

Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., Qi, J., Yokoyama, W. ve Zhong, F., 2015. Physicochemical and morphological properties of size-controlled chitosan-tripolyphosphate nanoparticles, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 465, 137-146.

Bhati, I., Punjabi, P.B. ve Ameta, S.C., 2010. Photocatalytic degradation of fast green using nanosized CeCrO<sub>3</sub>, Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 29(2), 195-202.

Chen, C.Y., Chang, J.C. ve Chen, A.H., 2011. Competitive biosorption of azo dyes from aqueous solution on the templated crosslinked chitosan nanoparticles, Journal of Hazardous Materials, 185, 430-441.

Chiou, M.S. ve Li, H.Y., 2003. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads, Chemosphere, 50(8), 1095-1105.



- Crini, G., 2006. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review, Bioresource Technology, 97, 1061–1085.
- De Moura, M.R., Aouada, F.A., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., Krochta, J.M. ve Mattoso, L.H., 2009. Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropylmethylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles, Journal of Food Engineering, 92, 448–453.
- Demir, A. ve Seventekin, N., 2009. Kitin, kitosan ve genel kullanım alanları, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(2), 92-103.
- Geçer, A., Yıldız, N., Kavak, D. ve Çalımlı, A., 2009. Comparison of chitosan apatite composites synthesized by different methods, Polymer Composites, 30(3), 288-295.
- George, M. ve Abraham, T.E., 2006. Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: alginate and chitosan—a review, Journal of Controlled Release, 114, 1–14.
- Gonçalves, J.O., Santos, J.P., Rios, E.C., Crispim, M.M., Dotto, G.L. ve Pinto, L.A.A., 2017. Development of chitosan based hybrid hydrogels for dyes removal from aqueous binary system, Journal of Molecular Liquids, 225, 265-270.
- Gong, R., Ding, Y., Li, M., Yang, C., Liu, H. ve Sun, Y., 2005. Utilization of powdered peanut hull as biosorbent for removal of anionic dyes from aqueous solution, Dyes and Pigments, 64(3), 187-192.
- Gupta, V.K., Ali, I. ve Saini, V.K., 2004. Removal of rhodamine B, fast green, and methylene blue from wastewater using red mud, an aluminum industry waste, Industrial & Engineering Chemistry Research, 43(7), 1740-1747.
- Gupta, V.K., Ali, I., Saini, V.K., Van Gerven, T., Van der Bruggen, B. ve Vandecasteele, C., 2005. Removal of dyes from wastewater using bottom ash. Industrial & Engineering Chemistry Research, 44(10), 3655-3664.
- Hashemian, S. ve Foroghmoqhadam, A., 2014. Effect of copper doping on CoTiO<sub>3</sub> ilmenite type nanoparticles for removal of congo red from aqueous solution, Chemical Engineering Journal, 235, 299-306.
- Huang, R., Liu, Q., Huo, J. ve Yang, B., 2017. Adsorption of methyl orange onto protonated cross-linked chitosan, Arabian Journal of Chemistry, 10(1), 24-32.
- Kumar, A., Paliwal, M., Ameta, R. ve Ameta, S.C., 2008. Oxidation of fast green FCF by the solar photo-Fenton process, Journal of the Iranian Chemical Society, 5(2), 346-351.
- Kumari, H.J., Krishnamoorthy, P., Arumugam, T.K., Radhakrishnan, S. ve Vasudevan, D., 2017. An efficient removal of crystal violet dye from waste water by adsorption onto TLAC/Chitosan composite: A novel low cost adsorbent, International Journal of Biological Macromolecules, 96, 324-333.
- Marrakchi, F., Ahmed, M.J., Khanday, W.A., Asif, M. ve Hameed, B.H., 2017. Mesoporous-activated carbon prepared from chitosan flakes via single-step sodium hydroxide activation for the adsorption of methylene blue, International Journal of Biological Macromolecules, 98, 233-239.
- Metin, A.Ü. ve Alver, E., 2016. Fibrous polymer-grafted chitosan/clay composite beads as a carrier for immobilization of papain and its usability for mercury elimination, Bioprocess and Biosystems Engineering, 39(7), 1137-1149.
- Metin, A.Ü., Çiftçi, H. ve Alver, E., 2013. Efficient removal of acidic dye using low-cost biocomposite beads, Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(31), 10569-10581.
- Mittal, A., Kaur, D. ve Mittal, J., 2009. Batch and bulk removal of a triarylmethane dye, Fast Green FCF, from wastewater by adsorption over waste materials, Journal of Hazardous Materials, 163(2), 568-577.
- Mohammadi, A., Daemi, H. ve Barikani, M., 2014. Fast removal of malachite green dye using novel superparamagnetic sodium alginate-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, International Journal of Biological Macromolecules, 69, 447-455.
- Mudhakir, D., Wibisono, C. ve Rachmawati, H., 2014. Encapsulation of risperidone into chitosan-based nanocarrier via ionic

- binding interaction, Procedia Chemistry, 13, 92-100.
- Pooralhossini, J., Ghaedi, M., Zanjanchi, M.A. ve Asfaram, A., 2017. Ultrasonically assisted removal of Congo red, Phloxine B and Fast green FCF in ternary mixture using novel nanocomposite following their simultaneous analysis by derivative spectrophotometry, Ultrasonics Sonochemistry, 37, 452-463.
- Ramalakshmi, S., Muthuchelian, K. ve Swaminathan, K., 2012. Comparative Studies on Removal of Fast Green Dye from Aqueous Solutions by Activated Carbon Prepared from Gloriosa superba Waste and Altemaria raphani Fungal Biomass, Journal of Environmental Science and Technology, 5(4), 222-231.
- Sirés, I., Guivarch, E., Oturan, N. ve Oturan, M.A., 2008. Efficient removal of triphenylmethane dyes from aqueous medium by in situ electrogenerated Fenton's reagent at carbon-felt cathode, Chemosphere, 72(4), 592-600.
- Subramani, S.E. ve Thinakaran, N., 2017. Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan, Process Safety and Environmental Protection, 106, 1-10.
- Tahir, H., Hamed, U., Jahanzeb, Q. ve Sultan, M., 2008. Removal of fast green dye (CI 42053) from an aqueous solution using Azadirachta indica leaf powder as a lowcost adsorbent, African Journal of Biotechnology, 7(21), 3906-3911.
- Tahir, H., Hamed, U., Sultan, M. ve Jahanzeb, Q., 2010. Batch adsorption technique for the removal of malachite green and fast green dyes by using montmorillonite clay as adsorbent, African Journal of Biotechnology, 9(48), 8206-8214.
- Tirtom, V.N., Diñçer, A., Becerik, S., Aydemir, T. ve Çelik, A., 2012. Comparative adsorption of Ni (II) and Cd (II) ions on epichlorohydrin crosslinked chitosan–clay composite beads in aqueous solution, Chemical Engineering Journal, 197, 379-386.
- Tsuji, S., Yoshii, K. ve Tonogai, Y., 2006. Identification of isomers and subsidiary colors in commercial Fast Green FCF (FD&C Green No. 3, Food Green No. 3) by liquid chromatography–mass spectrometry and comparison between amounts of the subsidiary colors by high-performance liquid chromatography and thin-layer chromatography-spectrophotometry, Journal of Chromatography A, 1101(1), 214-221.
- Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Abdullah, A.Z., Ibrahim, M.H., Tan, K.B., Gholami, Z. ve Amouzgar, P., 2014. Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review, Carbohydrate Polymers, 113, 115-130.
- Yu, F.Y., Li, C.W. ve Kang, S.F. 2005. Color, dye and DOC removal, and acid generation during Fenton oxidation of dyes, Environmental Technology, 26(5), 537-544.

## Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği

*Estimation of Daily Streamflow Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)-A Case Study of Haldizen Stream*

**Sinan NACAR<sup>\*1,a</sup>, Murat KANKAL<sup>1,b</sup>, M. Ali HINIS<sup>2,c</sup>**

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

• Geliş tarihi / Received: 09.05.2017

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 04.10.2017

• Kabul tarihi / Accepted: 06.10.2017

### Öz

Su yapılarının tasarımında ve işletmesinde günlük akarsu akım değerleri büyük öneme sahiptir. İleriye yönelik kısa süreli akım tahmini yapabilen bir metodun geliştirilmesi, işletmede bulunan su yapılarının kontrolünün sağlanması, hidroelektrik üretimi, çevre koruması ve taşkın kontrolünde üreticiye, kullanıcıya ve bölge halkına uygun bir yönetim imkânı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, Haldizen Deresi akım değerleri Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) kullanılarak tahmin edilmiş ve sonuçlar klasik regresyon analizi (KRA) ile karşılaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan Haldizen Deresi Şerah Akım Gözlem İstasyonunun 1998-2009 yılları arasında günlük olarak ölçülmüş olan akım verileri kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma ile ÇDURE yönteminin tahmin değerlerinin KRA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği ve yöntemin akım değerleri tahmininde kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın akarsu üzerindeki enerji planlamasında ve ayrıca bölgede yapılması planlanan su koruma yapılarının tasarımında da faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** ÇDURE, Günlük Akım Değerleri Tahmini, Haldizen Deresi

### Abstract

The daily streamflow values have a great influence on the design and operation of water structures. Development of a method capable of predicting future short-time current flow providing control of water structures in operation, hydroelectricity generation, environmental protection and flood control can provide appropriate management for producers, users and the people of the region. In this study, the Haldizen Stream streamflow values were estimated using Multivariable Adaptive Regression Splines (MARS) and compared with the result of Classical Regression Analysis (CRA). For this purpose, daily flow data measured between 1998 and 2009 of the Haldizen Stream Şerah Stream Observation Station located in the Eastern Black Sea Basin were used. With this study, it is concluded that the result of MARS method give a better than those of KRA method and can be used in estimating flow values. This study is thought to be useful in energy planning on the river and also in the design of water conservation plans planned to be made in the region.

**Keywords:** MARS, Daily Flow Estimation, Haldizen Stream

\*a Sinan NACAR; sinannacar@hotmail.com; Tel: (0554) 232 16 93; orcid.org/0000-0003-2497-5032

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0897-4742

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-1870-3535

## 1. Giriş

Gelecekteki belli bir tarihte görülecek akımın (debi, seviye, akış hacmi) tahmini, taşkın uyarılarının yapılması, taşkın kontrolü maksatlı haznelerin işletilmesi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi, kurak dönemlerde hidroelektrik üretiminin, şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın planlanması açısından önem taşımaktadır (Alp ve Cıgızoğlu, 2010). Ayrıca günümüzde enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı bir gerçektir. Fosil kaynaklardan elde edilen enerjinin oluşan talebi karşılamakta zorlandığı ve çevreye verilen zarar düşünülecek olduğunda, akarsu üzerinde inşa edilen ve enerji üretiminde büyük rolü olan su yapılarının uygun ve maksimum enerji elde edilecek yerlerde inşa edilmelerinin önemi de açıkça ortaya çıkmaktadır (Nacar, 2014). Tüm bu tespitler ileriye yönelik akım değerlerinin önceden bilinmesinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, hidrolik yapıların tasarım ve işletilmesinde, debi tahminlerinde ve havzalarda yerleşke kurmaktan taşkın tahliyesine kadar uzanan ilgi alanlarında tahmin modelleri kullanmak zorunlu hale gelmiştir (Yurtoglu, 2005). Bu çalışmanın amacı; çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ve klasik regresyon analizi (KRA) yöntemleri ile, geçmiş yıllara ait günlük akım değerleri kullanılarak ileriye yönelik akım değeri tahmininde bulunmaktır. Böylelikle yukarıda bahsedilen hususlarda yöneticilere ve işletmecilere ön bilgi sağlanmış olacaktır. Literatürde debi değerlerinin önceden belirlenebilmesine yönelik ülkemizde bulunan pek çok akarsu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazılarına kısaca yer verilmiştir. Turan (2007), çalışmada akarsuların akım tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanmıştır. Bu çalışmada geçmiş akımlardan ve memba akım ölçüm değerlerinden nehir akımlarının tahminini amaçlamıştır. Okkan ve Mollamahmutoğlu (2010), çalışmalarında güvenilir akım tahminlerinin ve akım modellemelerinin yapılmasının su kaynakları planlaması ve tasarımındaki önemini vurgulamış ve Çoruh Nehri'ne ait günlük akım değerleri ile YSA kullanarak bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Can (2012), YSA yöntemini kullanarak çeşitli alternatif durumlar için su yapılarının işlevsel, emniyetli ve ekonomik planlanması için gereken belirli bir zaman sürecine ait akım değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. İleriye yönelik akım değerlerinin tahmini çalışmaları sadece ülkemiz akarsularında değil, aynı zamanda dünyanın farklı bölgelerinde de

birçok akarsu üzerinde araştırmacılar tarafından incelenen bir konu olmuştur. Dawson ve Wilby (2001), İngiltere' de bulunan Thames ve Mole nehirlerinin akım tahminini yapmak amacıyla YSA metodunu kullanmışlardır. Sattari vd. (2012), YSA metodunu farklı model yapılarıyla kullanarak, yağış akış ilişkisini iki aşamalı olarak ileriye yönelik tahmin etmeye çalışmışlardır. Latt ve Wittenberg (2014), YSA ve çoklu lineer regresyon yöntemleri ile Chindwin nehrine ait 1990-2011 yıllarının taşkın dönemlerine ait verileri kullanarak ileriye yönelik tahminde bulunmuşlardır. Sharda vd. (2008), çalışmalarında üç Orta-Himalaya mikro havzasında akışı tahmin etmek için ÇDURE tekniğini kullanmışlardır. Yine bir başka çalışmada Adamowski vd. (2012) Himalayalar'daki debi tahmini için yeterli verinin bulunmadığı Sainji dağlık havzasında akış tahmin uygulamaları için, ÇDURE, dalgacık dönüşümü yapay sinir ağı, YSA yöntemlerini kullanmış ve sonuçlarını kıyaslamışlardır. Bu çalışmaların yanı sıra birçok araştırmacı akarsu akım değerlerinin önceden belirlenmesinin önemini vurgulamış, farklı veri grupları ve yöntemler kullanarak bir çok çalışma gerçekleştirmiştir (Golob vd., 1998; Dibike ve Solomatine, 2001; Komornik ve Komornikova, 2006; Wang ve Chau, 2009; Okkan ve Serbes, 2012).

Literatür ile ilgili yapılan çalışmadan görüldüğü üzere, akım değerlerinin tahmini ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunda, başta YSA olmak üzere yapay zekâ tekniklerinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada ise farklı bir yöntem olan ÇDURE'nin akım değerleri tahminindeki başarısının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan ve parametrik olmayan bir regresyon yöntemi olan ÇDURE farklı mühendislik problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılmıştır (Attoh-Okine vd., 2003; Jin vd., 2001; Litinetski ve Abramzon, 1998). Bunun yanında ÇDURE yöntemi akım değerlerinin tahmini çalışmalarında ülkemiz havzalarından birinde ilk kez kullanılacaktır. ÇDURE yöntemi ile elde edilen tahmin değerlerinin doğruluğu KRA yöntemi sonuçları ile kıyaslama yapılarak değerlendirilmiştir.

## 2. Yöntem

### 2.1. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE)

ÇDURE 1991 yılında Jerome Friedman tarafından geliştirilmiştir (Özfalci, 2008). ÇDURE bağımlı

ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan ve parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır. Bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli kurar (Toprak, 2011).

Genel ÇDURE modeli (1) nolu eşitlikteki gibi tanımlanabilir (Özfacı, 2008).

$$Y = \beta_0 + \sum_{k=1}^K a_k \beta_k(X_t) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Burada;

k: düğüm sayısını,

K: temel fonksiyon sayısını,

X: bağımsız değişkeni,

$a_k$ : k. Temel fonksiyonun kat sayısı,

$\beta_0$ : modeldeki sabit terim,

$\beta_k(x_t)$ : t. Bağımsız değişken için k. Temel fonksiyon

Temel fonksiyon ise aşağıdaki (2) gibi tanımlanır.

$$B_m(x) = \prod_{t=1}^{L_m} [S_{1,m}(x_{v(1,m)} - k_{1,m})] \quad (2)$$

Burada;

$L_m$ : etkileşim derecesini

$S_{1,m} \in [\pm 1]$

$k_{1,m}$ : düğüm değerini

$x_{v(1,m)}$ : bağımsız değişken değerini

$\varepsilon$ : hata terimini göstermektedir.

ÇDURE yönteminde istenen model elde edilene kadar tekrarlanan iki adımlı bir süreç vardır. Bu adımların ilkinde mümkün olan tüm temel fonksiyonlar oluşturulur. Çok büyük bir model bulununcaya kadar yani modelin karmaşıklığı maksimum seviyeye ulaşıncaya kadar eklenen temel fonksiyonlarla model geliştirilir. İkinci adımda oluşturulan maksimum model budanarak yani önemli bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin karşılıklı etkileşimleri belirlenerek, hata kareler toplamı minimum olan en uygun model oluşturulur. Budama algoritması en yaygın olarak genelleştirilmiş çapraz geçerlilik (GCV) tekniği ile yapılır. GCV hem hata terimini hem de

model karmaşasını hesaba katar (Ünal, 2009; Uzlu, 2016).

## 2.2. Klasik Regresyon Analizi (KRA)

Mühendislik problemlerinin birçoğunda iki ya da daha çok sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin istatistik bakımdan birbirinden bağımsız olmadığını ve dolayısıyla değişkenler arasında bir ilişkinin olduğu görülür. Bahsi geçen bu ilişkiler fonksiyonel değildir. Değişkenlerden biri bir değer aldığı anda, diğer değişken buna karşılık her zaman aynı değeri almaz. Değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bu bağıntının ortaya çıkarılması büyük önem taşır. Bu bağıntıyı gösteren matematiksel ifadeye regresyon denklemi denir. (Bayazıt ve Yeğen, 2005). Bir rastgele değişkenin değerini bir veya daha fazla sayıda rastgele değişkenlerin değerlerine bağlı olarak en iyi şekilde tahmin etmeye yarayan regresyon denkleminin belirlenmesine de regresyon analizi denir (Bayazıt, 1981). Regresyon analizinin amacı, göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır (Şentürk, 2008).

KRA'da kullanılacak olan regresyon fonksiyonlarını belirleyebilmek için bir ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda en iyi sonuçların elde edildiği ve sıklıkla kullanılan çoklu lineer, hiperbolik ve çoklu eksponansiyel fonksiyonları seçilmiştir (Uzlu vd., 2014; Bayram vd., 2012; Bayram vd., 2015; Ghiaei vd., 2016). KRA için kurulan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$y_{lineer} = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n \quad (3)$$

$$y_{hiperbolik} = w_0x_1^{w_1}x_2^{w_2}x_3^{w_3}x_4^{w_4} \dots x_n^{w_n} \quad (4)$$

$$y_{expansiyel} = w_0 + \exp(w_1 + w_2x_1 + w_3x_2 + w_4x_3 + w_5x_4 + \dots + w_{n+1}x_n) \quad (5)$$

## 3. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Doğu Karadeniz Havzası; batıda Ordu il sınırı, doğuda Gürcistan sınırı, güneyde ise Doğu Karadeniz dağ silsilesi ve kuzeyde Karadeniz ile sınırlanan Türkiye'nin kuzeydoğu bölgesini oluşturur. Doğu Karadeniz Havzası, Türkiye'deki 26 akarsu havzasından birisidir. Havza; Melet Çayı, Harşit Çayı, Kara dere, Solaklı Deresi,

Fırtına deresi gibi birbirine paralel olarak uzanan akarsuların alt havzalarından oluşur (Nacar, 2014). Türkiye'nin yıllık ortalama yağış miktarı 643mm iken Doğu Karadeniz Havzası her yıl ortalama olarak yaklaşık 1200mm yağış almaktadır (Uzlu, 2011).

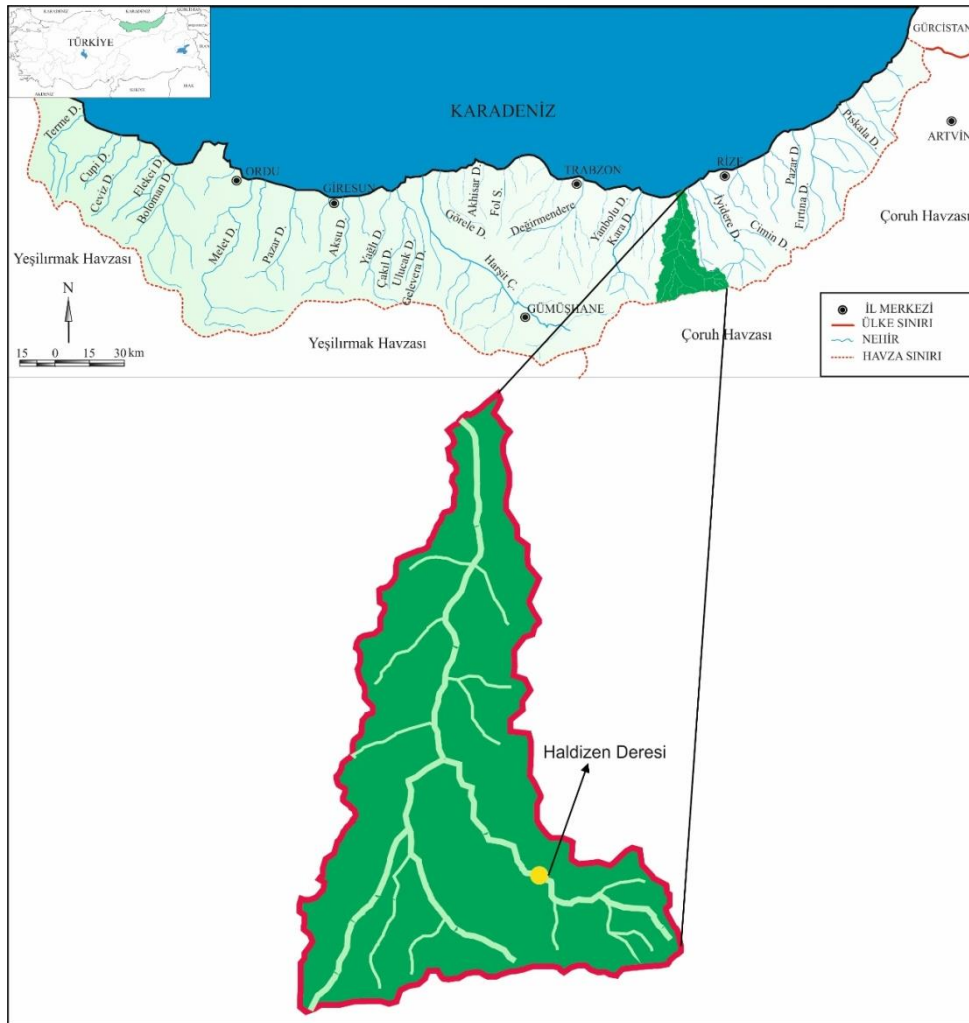
Çalışma bölgesi olarak Doğu Karadeniz Havzası'nda bulunan Haldizen Deresi seçilmiştir. Doğu Karadeniz Havzası Türkiye'nin en fazla yağış alan havzası olması ve dağlık bir yapıya sahip olması sebebiyle önemli miktarda hidroelektrik potansiyeline sahiptir. Bölgede EİE ve DSİ tarafından yapılan, inşası devam eden ve yapılması planlanan 292 Hidroelektrik Santral (HES) projesi bulunmaktadır. Bölgede bulunan HES'lerden ve barajlardan üretilen elektrik 1216,97 GWs/yıl olarak Türkiye'nin 129 500

GWs/yıl olan yıllık hidroelektrik üretiminin %0,94'lük kısmını oluşturmaktadır (Uzlu, 2011). Çalışmada verileri kullanılan Haldizen Deresi, Trabzon il sınırları içerisindeki Solaklı havzasının yan kollarından biridir. Şekil 3.1'de Solaklı Deresinin anakol ve yan kolları verilmiştir. Solaklı vadisinin sahip olduğu engebeli arazi akarsuların düşüm yüksekliklerini arttırmış ve bu sayede havzanın hidroelektrik potansiyelini de önemli ölçüde etkilemiştir (Algancı vd., 2010).

Haldizen deresi üzerinde bulunan DSİ'ye ait Şerah Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGİ) 1998-2009 yılları arasındaki günlük akım değerleri ileriye yönelik tahmin modellerinde kullanılmıştır. Haldizen Deresi'nin akım değerlerinin ölçüldüğü Şerah AGİ'ye ait bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Haldizen Şerah AGİ bilgileri.

İst. No	Akarsu Adı	İstasyon Adı	İşletme	Kot (m)	Yağış Alanı (km <sup>2</sup> )	Açılış	Durumu
22.07	Haldizen	Şerah	DSİ	1114	153,5	1965	Aktif



**Şekil 3.1.** Solaklı Deresi anakol ve yankolları.

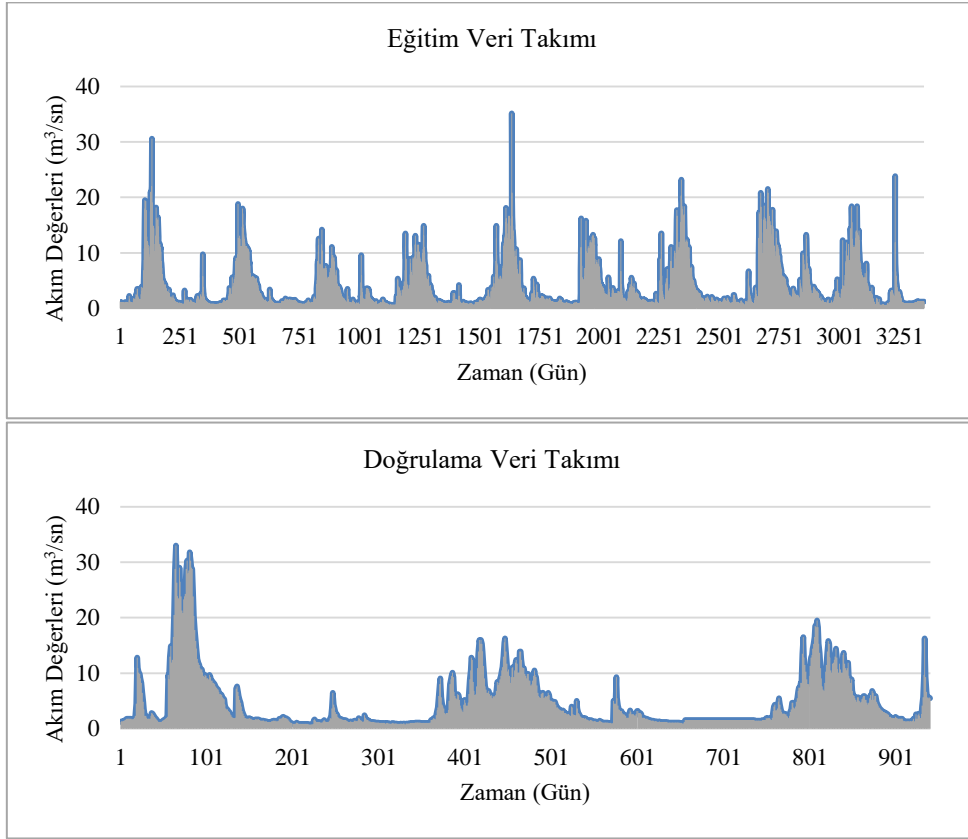
#### 4. Yapılan Çalışmalar

Çalışmada Haldizen Deresi üzerinde bulunan Şerah AGİ'ye ait 4291 adet günlük ortalama akım verisi kullanılarak ileriye yönelik akım tahmininde bulunulmuştur. Kullanılan 1998-2009 yılları arası 4291 adet verinin ilk 3351'i (%78) eğitim, sonraki 940'i (%22) doğrulama için kullanılmıştır. Verilerin bu oranlarda bölünmesinin sebebi doğrulama veri takımı içerisinde maksimum akım değerlerinin bulunmasının istenmesidir. Böylelikle kurulan modelin maksimum akım değerlerini tahmin etmedeki doğruluğu da değerlendirilmiş olacağı düşünülmüştür. Kullanılan eğitim ve doğrulama veri takımına ait zaman serisi Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri takımına ait istatistiksel analiz Tablo 3.2'de sunulmuştur.

**Tablo 3.2.** Eğitim ve doğrulama veri takımına ait istatistiksel analiz

İstatistik Değerler	Eğitim	Doğrulama
Ortalama (m <sup>3</sup> /sn)	3,81	4,62
Standart Sapma (m <sup>3</sup> /sn)	4,10	5,21
Basıklık	3,85	6,93
Çarpıklık	1,89	2,39
En Büyük (m <sup>3</sup> /sn)	35,10	33,00
En Küçük (m <sup>3</sup> /sn)	0,42	0,78
Veri Adedi	3351	940
Veri Yüzdesi (%)	78	22



**Şekil 3.2.** Haldizen Deresi Şerah AGİ 1998-2009 günlük ortalama akım değerlerine ait eğitim ve doğrulama veri gruplarının zaman serileri.

Tablodan görüleceği üzere standart sapma ortalama değerlerin üzerindedir. Ayrıca çarpıklık katsayısının pozitif olması dağılımın sağa çarpık olduğunu göstermektedir. Bu durum verilerin simetrik olarak dağılmadığını ve tahmini zor olan bir veri grubu seçildiğini göstermektedir.

Çalışmada günlük akım değerleri birer gün ötelenerek değişkenler oluşturulmuştur. Bu

yöntemle üç farklı model kurulmuş ve her model için bir gün sonrası akım değerleri tahmini yapılmıştır. Modellerde değişken sayısı olarak en fazla üç değişken belirlenmiştir. Bunun sebebi değişken sayısının artmasına bağlı olarak korelasyonun azalmasıdır (Tablo 3.3). Bu çalışmada korelasyon değerinin %90 altında bulunan değişkenler dikkate alınmamıştır.

**Tablo 3.3.** Değişkenler arasındaki korelasyon değişimi.

Korelasyon	Q <sub>t-1</sub>	Q <sub>t-2</sub>	Q <sub>t-3</sub>	Q <sub>t-4</sub>	Q <sub>t-5</sub>	Q <sub>t-6</sub>	Q <sub>t-7</sub>
Q <sub>(t)</sub>	0,96	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81

Çalışmada kullanılan modeller aşağıdaki gibidir;

$$\text{Model 1: } Q_t = f(Q_{(t-1)})$$

$$\text{Model 2: } Q_t = f(Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)})$$

$$\text{Model 3: } Q_t = f(Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}, Q_{(t-3)})$$

ÇDURE ve KRA için kurulan modellerden de anlaşılacağı üzere bir gün sonrası akım değerleri çeşitli girdi senaryolarına göre tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda denklemleri verilen, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını bulabilmemizi sağlayan, korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK), ortalama mutlak hata (OMH) ve rölatif hata (RH) kriterlerine göre değerlendirilmiş ve en doğru sonucu veren model belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kriterlerde G ölçüm değerleri T ise tahmin edilen değerleri ve N veri adedini temsil etmektedir.

$$R = \frac{\sum GT - \frac{\sum G \sum T}{N}}{\sqrt{(\sum G^2 - \frac{(\sum G)^2}{N})(\sum T^2 - \frac{(\sum T)^2}{N})}} \quad (6)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G - T)^2} \quad (7)$$

$$OMH = \frac{\sum |G - T|}{N} \quad (8)$$

$$RH = \frac{(G - T)}{G} \frac{100}{N} \quad (9)$$

Çalışmada kullanılan farklı tipteki eşitliklere ait doğrulama takımı için elde edilen OKHK ve  $R^2$  değerleri Tablo 3.4’de sunulmuştur. Değerler çalışmada kullanılan 3 farklı model için ayrı ayrı hesaplanmıştır ve her bir eşitlik tipi için elde edilen en iyi model tabloda koyu olarak gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde, KRA için kullanılan denklemlerde tek girdi değişkeninin  $Q_{(t-1)}$  kullanıldığı Model-1’in daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. ÇDURE yönteminde ise tüm bağımsız değişkenlerin kullanıldığı Model 3’ün diğer modellere göre daha düşük hata değeri verdiği görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, OKHK ve  $R^2$  değerleri tüm eşitlik ve model tipleri için birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanında en iyi modelin 1.11’lik OKHK ve 0.956’lık  $R^2$  değeri ile ÇDURE yönteminin kullanıldığı Model-3 olduğu ortaya çıkmıştır. En düşük OMH ve RH değerleri de ÇDURE yöntemi ile elde edilmiştir. KRA’da en iyi modeller için elde edilen eşitlikler aşağıda verilmiştir. Eşitlik\_10 KRA-Lineer, Eşitlik\_11 KRA-Hiperbolik, Eşitlik\_12 ise KRA-Ekponansiyel yöntemlerine ait en az hata veren denklemlerdir.

$$Q_{(t)} = 0,16108 + 0,957757 Q_{(t-1)} \quad (10)$$

$$Q_{(t)} = 1,1289 Q_{(t-1)}^{0,93834684} \quad (11)$$

$$Q_{(t)} = -302,1458452 + \exp(5,711661857 + 0,00308745 * Q_{(t-1)}) \quad (12)$$

**Tablo 3.4.** Doğrulama takımı için modellerin değerlendirilmesi

Eşitlik tipi	Model	OKHK	$R^2$	RH	OMH
KRA-Lineer	Model-1	1,1157	0,955	11,2587	0,5456
	Model-2	1,1202	0,954	11,2663	0,5482
	Model-3	1,1256	0,954	11,1874	0,5536
KRA-Hiperbolik	Model-1	1,1391	0,954	13,0536	0,5821
	Model-2	1,1519	0,953	12,6280	0,5851
	Model-3	1,1549	0,952	12,4741	0,5871
KRA-Ekponansiyel	Model-1	1,1189	0,954	12,5010	0,5621
	Model-2	1,1284	0,953	12,0958	0,5622
	Model-3	1,1315	0,953	11,8682	0,5658
ÇDURE	Model-1	1,1494	0,953	9,6947	0,5500
	Model-2	1,1208	0,954	10,2669	0,5376
	<b>Model-3</b>	<b>1,1088</b>	<b>0,956</b>	<b>8,9970</b>	<b>0,5101</b>



ÇDURE yöntemi daha önce belirtildiği gibi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan ve parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır. ÇDURE yöntemindeki en iyi model olan Model-3 için elde edilen temel fonksiyonlar Tablo 3.5’de verilmiştir. Yöntemde analiz yapılırken en büyük temel fonksiyon adedi 30 olarak belirlenmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi oluşturulan tüm temel fonksiyonlar modelde kullanılmamaktadır.

**Tablo 3.5.** Model-3 için ÇDURE yöntemindeki temel fonksiyonlar.

Temel Fonksiyon No	Temel Fonksiyonlar
BF1	$\max(0, Q_{(t-1)} - 6.3)$
BF2	$\max(0, 6.3 - Q_{(t-1)})$
BF3	$\max(0, Q_{(t-2)} - 2.89) * BF2$
BF7	$\max(0, Q_{(t-1)} - 1.93)$
BF9	$\max(0, Q_{(t-2)} - 7.5) * BF7$
BF10	$\max(0, 7.5 - Q_{(t-2)}) * BF7$
BF12	$\max(0, 6.3 - Q_{(t-2)})$
BF14	$\max(0, Q_{(t-3)} - 0.42) * BF7$
BF21	$\max(0, Q_{(t-2)} - 1.93)$
BF23	$\max(0, Q_{(t-1)} - 7.5) * BF21$
BF25	$\max(0, Q_{(t-1)} - 2.8) * BF12$
BF27	$\max(0, Q_{(t-2)} - 1.77) * BF2$

Bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli Model-3 için kurulmuş ve Eşitlik\_13’te verilmiştir. Bu eşitlik tüm analizler sonucunda en az hata değerini veren eşitlik olarak ortaya çıkmıştır.

$$Q_{(t)} = 6,33514 + 0,578065 * BF1 - 1,46101 * BF2 + 0,2246 * BF3 + 1,49744 * BF7 + 0,220018 * BF9 - 0,176797 * BF10 + 0,46044 * BF12 + 0,00629391 * BF14 - 1,34343 * BF21 - 0,22348 * BF23 - 0,215597 * BF25 + 0,183032 * BF27$$

(13)

Eşitlik.13 kullanılarak doğrulama takımı için elde edilen tahmin değerleri ile ölçüm değerleri Şekil 3.3’de zaman serisi olarak karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde, veri adedinin çok olması nedeniyle ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farkların tam olarak görünmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Bu yüzden ayrı bir seri olarak hata

değerleri de şekle eklenmiştir. Şekil incelendiğinde ölçüm ve tahmin değerleri arasında genel bir uyumun olduğu gözlenmektedir. Hata miktarlarına bakıldığında, en büyük hatanın  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ’yi geçmediği ve genel olarak da  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ’nin altında olduğu görülmektedir.

Verilerdeki hata miktarının debi değerlerinin hangi aralığında daha fazla ya da az olduğunu gözlemlemek için tahmin ve ölçüm değerleri arasında saçılım grafiği çizilmiş ve Şekil 3.4’de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, yöntemin küçük debi değerlerini tahmin etmede daha başarılı olduğu gözlenmektedir. Özellikle  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ’nin üzerindeki debi değerleri tahmininde hata değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır.

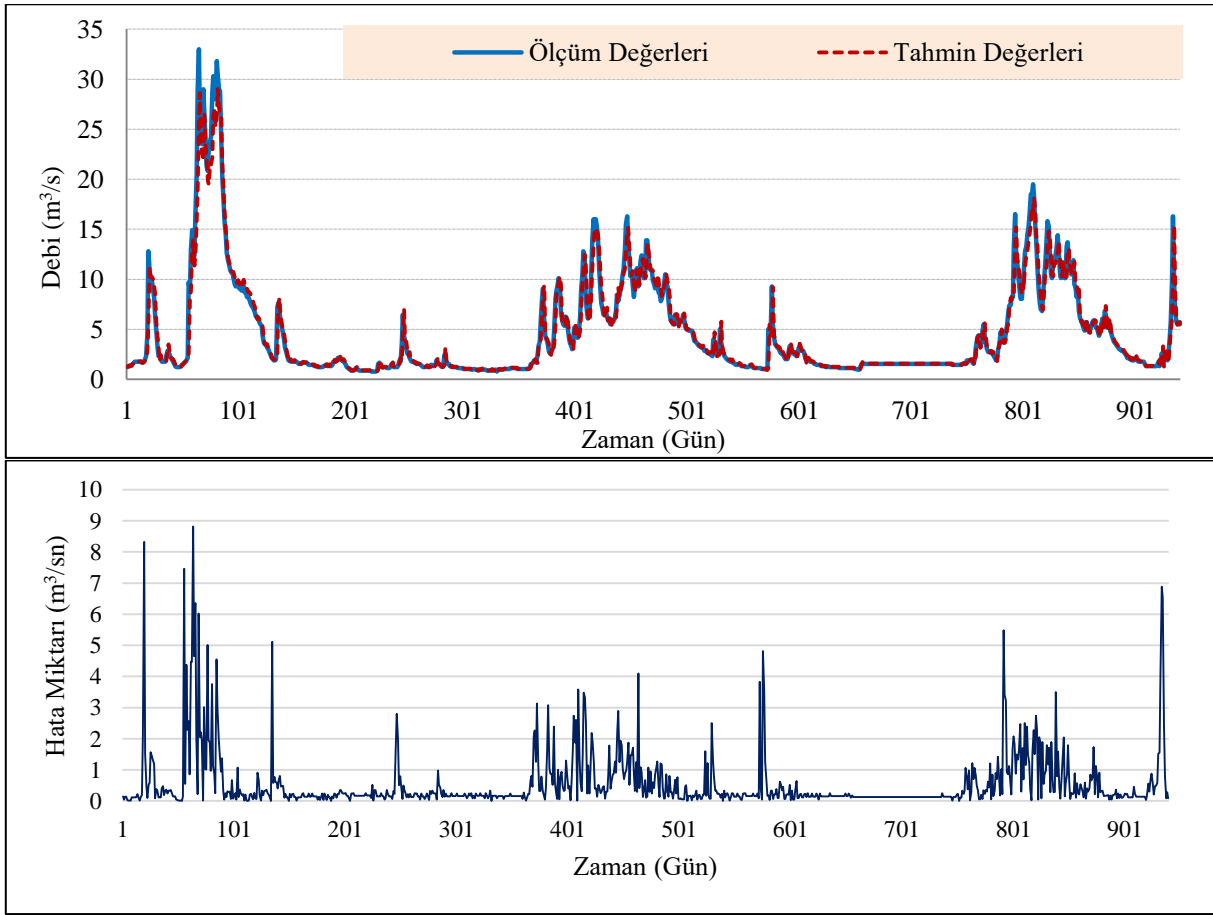
Tüm yöntem ve modeller arasında en iyi sonuç ÇDURE yöntemindeki Model-3’ten elde edilmiştir. Model-3’te toplamda üç bağımsız değişken kullanılmıştır. Bu bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki göreceli etki oranları Tablo 3.6’da verilmiştir. Tablodan model üzerindeki en büyük etkinin  $Q_{(t-1)}$ ’de olduğu ve bunu sırasıyla  $Q_{(t-2)}$  ve  $Q_{(t-3)}$ ’ün takip ettiği görülmektedir. Özellikle  $Q_{(t-3)}$ ’ün etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu şekilde, daha önce elde edilen bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerlerine uyumlu bir sonuç ortaya çıkmıştır.

**Tablo 3.6.** Her bir bağımsız değişkenin göreceli etki oranı

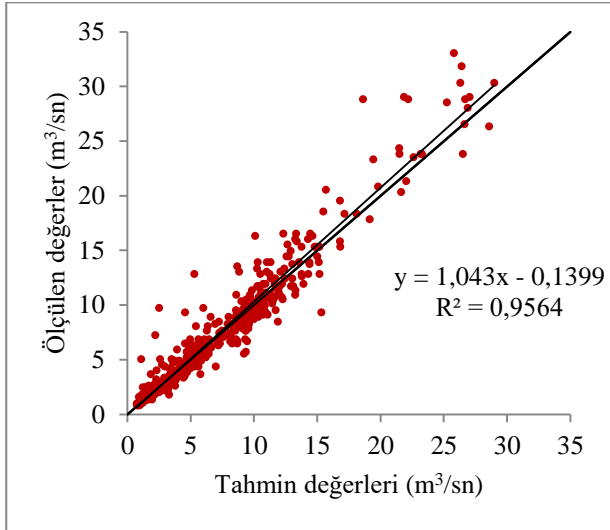
Değişken	Göreceli etki oranı %
$Q_{(t-1)}$	100,00
$Q_{(t-2)}$	25,76
$Q_{(t-3)}$	5,46

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada günlük akım verilerinin tahmini için ÇDURE yöntemi kullanılabilirliği araştırılmış ve yöntemin doğruluğu KRA ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesi olarak önemli bir su potansiyeline sahip Doğu Karadeniz Havzası’nda bulunan Haldizen Deresi seçilmiştir. Haldizen Deresi üzerinde bulunan AGİ ile 1998 ile 2009 yılları için ölçülmüş olan günlük akım verilerinin % 78’lik kısmı modellerin eğitimi için, geri kalan kısmı ise modelleri doğrulamak için kullanılmıştır.



**Şekil 3.3** En iyi ÇDURE modeli için doğrulama takımında ölçüm-tahmin değerlerinin karşılaştırılması ve hata miktarı



**Şekil 3.4.** En iyi ÇDURE modeli (Model-3) için ölçüm ve tahmin değerlerinin saçılım grafiği.

Model sonuçları değerlendirildiğinde bir gün sonrası akım değerlerinin tahmininde en iyi sonuçların ÇDURE'den elde edildiği görülmüştür. İleriye yönelik akım tahmini için kurulan

modellerden Model 3 ÇDURE'de, Model 1 ise KRA'da bütün fonksiyonlarda en düşük hata değerini vermiştir. ÇDURE yöntemi ile elde edilen göreceli etki oranlarına bakıldığında en büyük etkinin %100 lük bir değer ile  $Q_{(t-1)}$ 'e ait olduğu görülmüştür.  $Q_{(t-3)}$  için bu değer %5 seviyelerine düşmüştür. Bu durum bağımsız değişken sayısının artırılmasının tahmin sonuçlarının doğruluğunu arttırmayacağını ortaya koymaktadır.

Model sonuçları değerlendirildiğinde yöntemlerin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ve hata değerleri arasındaki farkların büyük olmadığı görülmüştür. Kurak döneme ait akım değerlerinin tahmininde hata oranları oldukça düşük iken yağışlı dönemlerdeki akım değerlerinin tahmininde hata değerlerinin nispeten arttığı görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçların kısa süreli akım tahmini gerektiren su yapılarının tasarımı, planlanması ve işletilmesinde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışma bölgesi olarak seçilen Doğu Karadeniz Havzası almış olduğu yüksek miktarda yağış ve sahip olduğu coğrafi yapı sebebiyle sürekli olarak taşkınlar maruz kalmaktadır. Meydana gelen

taşkınlar da can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bunun yanında bölgenin hidroelektrik potansiyeli oldukça yüksektir. Günlük akarsu akım değerlerinin önceden belirlenebilmesi kurulmuş olan ve kurulacak olan HES'lerin işletilmesi ve planlanması açısından oldukça önemlidir. Kısa süreli akım tahminlerinin yapılması hem HES'lerin planlanması, inşası ve işletmesinde hem de taşkın olaylarının önüne geçilmesi ve meydana gelen can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi çalışmalarında yürütücülere yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- Adamowski, J., Chan, H. F., Prasher, S. O., Sharda, V. N., 2012. Comparison of multivariate adaptive regression splines with coupled wavelet transform artificial neural networks for runoff forecasting in Himalayan micro-watersheds with limited data. Journal of Hydroinformatics, 14(3), 731-744.
- Algancı, U., Coşkun, H. G., Eriş, E., Ağırlioğlu, N., Cıgızoğlu, K., Yılmaz, L., Toprak, Z. F., 2010. Akım ölçümleri olmayan akarsu havzalarında hidroelektrik potansiyelin belirlenmesine yönelik uzaktan algılama ve CBS ile hidrolojik modelleme, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 101-102.
- Alp, M., ve Cıgızoğlu, H. K., 2010. Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi. İTÜdergisi/d, 3(1).
- Attoh-Okine, N. O., Mensah, S., Nawaiseh, M., 2003. A new technique for using multivariate adaptive regression splines (MARS) in pavement roughness prediction. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport (Vol. 156, No. 1, pp. 51-55).
- Bayram, A., Kankal, M., Önsoy, H. (2012). Estimation of suspended sediment concentration from turbidity measurements using artificial neural networks. Environmental monitoring and assessment, 184(7), 4355-4365.
- Bayram, A., Uzlu, E., Kankal, M., Dede, T. (2015). Modeling stream dissolved oxygen concentration using teaching-learning based optimization algorithm. Environmental Earth Sciences, 73(10), 6565-6576.
- Bayazıt, M., 1981. Hidrolojide istatistik yöntemler, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Bayazıt, M., Yeğen Oğuz, B., 2005. Mühendisler için istatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Can, M., 2012. Yapay sinir ağları ile akım tahmini: Mahmudiye Göleti örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dawson C. W., Wilby R.L., 2001. Hydrological modelling using artificial neural networks, Progress in Physical Geography, 25, 1, 80-108.
- Dibike, Y.B., Solomatine, D.P., 2001. River flow forecasting using artificial neural networks, Physics Chemical Earth, 26, 1, 1-7.
- Friedman, J. H., 1991. Multivariate adaptive regression splines. The annals of statistics, 1-67.
- Ghiaei, F., Kankal, M., Anilan, T., & Yuksek, O. (2016). Regional intensity-duration-frequency analysis in the Eastern Black Sea Basin, Turkey, by using L-moments and regression analysis. Theoretical and Applied Climatology, 1-13.
- Golob R., Stokelj T., Grgic D., 1998. Neural network- based inflow forecasting. Control Engineering Practice, 6, 593-600.
- Jin, R., Chen, W., Simpson, T. W., 2001. Comparative studies of metamodelling techniques under multiple modelling criteria. Structural and multidisciplinary optimization, 23(1), 1-13.
- Komornik, j., Komornikova, M., Mesiar, R., Szökeova, D., Szolgay, J., 2006. Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series, Physics and Chemistry of The Earth 31, 1127-1145.
- Latt, Z. Z., and Wittenberg, H., 2014. Improving flood forecasting in a developing country: a comparative study of stepwise multiple linear regression and artificial neural network. Water resources management, 28(8), 2109-2128.

- Litinetski, V. V., Abramzon, B. M., 1998. MARS-A multistart adaptive random search method for global constrained optimization in engineering applications. Engineering optimization, 30(2), 125-154.
- Nacar, S., 2014. Farklı Yapay Zeka Yöntemleriyle günlük akarsu akım değerlerinin tahmini-Haldizen Deresi örneği, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray
- Okkan, U., Mollamahmutoğlu, A., 2010. Çoruh nehri günlük akımlarının yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14, 3, 251-261.
- Okkan, U., Serbes, Z. A., 2012. Rainfall-runoff modeling using least squares support vector machines. Environmetrics, 23(6), 549-564.
- Özfallı, Y., 2008. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Kesitleri: Mars, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sattari, M. T., Apaydin, H., & Ozturk, F. (2012). Flow estimations for the Sohu Stream using artificial neural networks. Environmental Earth Sciences, 66(7), 2031-2045.
- Sharda, V. N., Prasher, S. O., Patel, R. M., Ojasvi, P. R., Prakash, C., 2008. Performance of Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) in predicting runoff in mid-Himalayan micro-watersheds with limited data/Performances de régressions par splines multiples et adaptives (MARS) pour la prévision d'écoulement au sein de micro-bassins versants Himalayens d'altitudes intermédiaires avec peu de données. Hydrological sciences journal, 53(6), 1165-1175.
- Şentürk, K., 2008. Akım Gözlem İstasyonu Olmayan Havzalarda su potansiyelinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toprak, S., 2011. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri ve konik programlama ile zaman serilerinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Turan, M.E., 2007. Akarsu akımlarının tahmininde yapay zeka tekniklerinin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa
- Uzlu, E., Kömürcü, M. İ., Kankal, M., Dede, T., Öztürk, H. T. (2014). Prediction of berm geometry using a set of laboratory tests combined with teaching-learning-based optimization and artificial bee colony algorithms. Applied Ocean Research, 48, 103-113.
- Uzlu, E., 2016. Kıyıya dik katı madde hareketi sonucu oluşan yığılma profilinin fiziksel modelle incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Uzlu, E., Akpınar, A., Kömürcü, M.İ., 2011. Restructuring of Turkey's electricity market and the share of hydropower energy: The case of the Eastern Black Sea Basin, Renewable Energy 36, 676-688.
- Ünal, B., 2009. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon uzanımları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wang, W., Chau, K., Cheng, C., Qiu, L., 2009. A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series, Journal of Hydrology, 374, 294-306.
- Yurtoğlu, H., 2005. Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellemesi: Bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.

## Somaliland Bölgesi (Somali) Yağışlarının Trend Analizi

### *Trend Analysis of Somaliland Region Precipitation, Somalia*

Kemal SAPLIOĞLU\*<sup>a</sup>, Abdishakur Osman DAHİR<sup>b</sup>, Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM<sup>c</sup>

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

• Geliş tarihi / Received: 26.04.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.10.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 24.10.2017

#### Öz

Gerek artan nüfus gerekse sanayide hızlı ilerleme suya olan ihtiyacı son derece önemli hale getirmiştir. Bu yüzden eldeki su kaynaklarının optimum kullanılması ve yeni su kaynaklarının ortaya çıkarılması gerekliliği, planlama çalışmalarının en önemli konularından biri haline gelmiştir. Ancak çeşitli şartlardan dolayı oluşan ve varlığı pek çok bilim adamı tarafından dile getirilen küresel iklim değişikliği bu planlamanın yapılmasını zorlaştıran etmenlerdendir. Bu yüzden iklim değişikliği ve iklim değişikliklerinin mevcut su kaynaklarını etkileyip etkilemediği sorusu irdelenmeli ve kaynakların gelecekteki durumlarını nasıl etkileyeceği araştırılmalıdır. Bu çalışmada iklim değişikliğinden en çok etkilenen bölgelerden birisi olan ve Afrika'da bulunan Somali'nin Kuzeyindeki Somaliland bölgesindeki aylık ve yıllık yağış verilerinin trendleri irdelenmiştir. Bu irdelemede Mann-Kendall trend analizi, Şen grafik testi, Şen grafik testini baz alan ve Saplıoğlu tarafından teklif edilen istatistiksel method kullanılmıştır. Çalışmada bölgenin trendinin araştırılmasının yanı sıra trend testlerinin benzerlikleri ve farklılıkları da irdelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İklim değişikliği, Mann-Kendall, Saplıoğlu grafik testi, Somaliland, Şen grafik testi, Trend analizi

#### Abstract

*Both the population increase and the rapid advance in the industry have made the need for water very important. Hence the optimum usage of available water resources and the necessity for uncovering new water resources have become the most important issues of planning exercises. But, the global climate change which is occurred because of various conditions and expressed by many scientists is one of the factors that makes this planning difficult. So the climate change and the question of whether climate change affect the available water springs or not must be inquired and also how it affects the water availability of the springs in the future must be investigated. In this study, monthly and annual rain fall data was examined in the region of Somaliland where is placing on the Northern part of Somalia in Africa's one of the most affected regions. In this study, Mann-Kendall trend analysis, Sen's graphic test and the statistical method based on Sen's graphic test that is proposed by Saplioglu are used. In the study, the trend of the region was investigated and trend tests compared.*

**Keywords:** Climate change, Mann-Kendall, Saplioglu graphic test, Somaliland, Sen's graphical test, Trend analysis

\*<sup>a</sup> Kemal SAPLIOĞLU, kemalsaplioglu@sdu.edu.tr; Tel: (0246) 211 12 13; orcid.org/0000-0003-0016-8690

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-4965-8546

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-1102-1718

## 1. Giriş

Son yıllarda iklim değişikliği ile ilgili bölgesel ve global ölçekli pek çok çalışma (Şen Z., 2014; Baria ve arkadaşları 2016) yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunda ise iklim değişikliğine yönelik önemli bulgular elde edilmiştir. Ancak elde edilen bu bilgilerin gerçeği yansıtıp yansıtmadığının iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Bir bölgede iklim değişikliğinden söz edilebilmesi için on yıllar veya daha uzun süreli bir periyotta iklim ortalamalarında büyük farklılıklar olması gerekmektedir (Gocic & Trajkovic, 2013). Global ölçekli bir iklim değişikliğinden söz edebilmek içinse bölgelerin birbirini etkilemesi gerekmektedir (Trajkovic & Kolakovic, 2009).

Küresel bazda iklim değişimi çalışmalarının genellikle yağış (Nair ve arkadaşları 2014), sıcaklık ve akarsu debileri (Kumarve arkadaşları 2009) üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmaların bir kısmında ciddi oranda artış ve azalışlar mevcuttur. (Gregory, 1956) tarafından yapılan çalışmada İngiltere'deki yıllık yağış trendlerindeki değişimleri, (Suzuki, 1968) tarafından yapılan çalışmada ise Japonya'daki yağış trendlerindeki değişimler çalışılmıştır. Yang ve Lu (2015) yaptıkları çalışmada çalışmamızda kullandığımız gibi Çinin kurak bir bölgesinde Mann-Kendall test istatistiğini uygulamışlardır. Jagannathan ve Parthasarathy (1973)(Jagannathan & Parthasarathy, 1973) ve Parthasarathy ve Dhar, (1974)(Parthasarathy & Dhar, 1974) tarafından Hindistan'daki yağış verilerinden trend değişimi analiz edilmiştir. Ayrıca Goswami ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada Hindistan'daki yağışların %80'ini oluşturan muson yağmurlarının trend değişimini irdelenmişlerdir. Singh ve arkadaşları (2008) Hindistan'ın orta ve kuzey batı kesimlerindeki yağış verilerinin mevsimsel ve yıllık bazda trend değişimlerini incelemişlerdir. (Nasrallah & Balling, 1995), 1950 ve 1990 yılları arasındaki 41 yıllık sıcaklık verilerini kullanarak Kuveyt için trend analizi yapmış ve  $0.07^{\circ}\text{C}$  sıcaklık artışı bulmuştur. Chen ve arkadaşları (2007) Çin'deki Hanjiang havzasında yaptıkları çalışmada %95 güven derecesine göre herhangi bir sıcaklık trendi tespit edememişler ancak yapılan çalışmalarda havzanın bazı kesimlerinde sıcaklık artışı gözlemlemişlerdir. Danjiangkou rezervuarında bu artışın  $1^{\circ}\text{C}$ - $2^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. ElNesr (2010), Suudi Arabistan krallığındaki 29 istasyona ait yıllık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerini kullanarak trend analizi yapmışlardır.

Bu çalışmada kış aylarında (Kasım-Ocak) negatif trend olduğunu belirlemiştir.

Trend analizi çalışmalarında en çok kullanılan yöntem Mann-Kendall yöntemi olup Şen testi, Şen'in grafiksel metodu, Spearman's testi ve Regresyon analizleri karşımıza çıkmaktadır. Mann-Kendall testi hidrometeorolojik verilerin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Yue ve arkadaşları 2002). Mann-Kendall testinde elde edilen değerlerin belirli limit değerlerinin dışına çıkması durumunda pozitif veya negatif yönde trend varlığından söz edilebilir (Bayazıt & Önöz, 2007). Wang ve arkadaşları (2004) Batı Çin'de yağış verileri üzerine Mann-Kendall testi uygulamışlar ve yağışlarda önemli ölçüde büyük artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. (Partal & Kahya, 2006), Türkiye'de yaptıkları çalışmada 96 yağış ölçüm istasyonu üzerinde incelemeler yapmışlar ve 14 noktada Ocak ayında önemli derecede azalış trendi bulmuşlardır. Satyamury ve arkadaşları (2010), Amazon havzası üzerinde bulunan 18 farklı istasyondan aldıkları yağış verilerinin trendini Mann-Kendall trend testi ile incelemişlerdir. Bu çalışmada 6 istasyonun verilerinde ciddi şekilde bir artış trendi olduğunu tespit etmişlerdir. (Tabari, Somoe, & Zadeh, 2011) iklim değişimi üzerine yaptıkları çalışmada İran'ın güneybatı kısmına ait 13 istasyonu çalışmışlardır. 1966-2005 yılları arasındaki verilerle çalıştıkları bu çalışmada 1970'lerden başlayan ortalama  $0.412^{\circ}\text{C}$  lik bir artış trendi elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan Mann-Kendall, Mann-Whitney ve Mann-Kendall sıralama testlerinin üçü de bulunan sonuçları destekler niteliktedir. (Karmesha, 2012) Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzeydoğusunda bulunan 9 eyalette 1900-2011 yılları arasındaki veriler ile yaptığı çalışmada, yağış ve sıcaklık trendlerini tespit etmeye çalışmıştır. Bu çalışmalarda hem sıcaklık değerlerinde hem de yağış değerlerinde istatistiksel öneme sahip artış trendleri tespit etmiştir. (Gocic & Trajkovic, 2013) Sırbistan'da yağış verileri üzerine yaptıkları çalışmada Mann-Kendall ve Spearman's testlerinde %95 önem derecesine sahip artış ve azalış trendleri tespit etmişlerdir. (Mohamed & Saavaenije, 2014) Nil nehri çevresinde bulunan Sudd havzasında hem yerel hem de bölgesel bazda genel trend değişimlerini tespit edebilmek için Mann-Kendall test istatistiğini kullanmışlardır. Bu çalışmada 1900-2000 yılları arasında bulunan 100 yıllık veriler kullanılmıştır. Bu havzada yaptıkları çalışmada bulunan en çarpıcı sonuçlar 1960 yılı ve sonrasında Victoria gölünde meydana gelen trend artışının yanı sıra maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde meydana gelen  $0,6$  ve  $1,5^{\circ}\text{C}$

lik artış miktarlarıdır. (Ageena, Macdonald, & Morse, 2014) Libya'da 1945-2009 yılları arasında yaptıkları ve Mann-Kendall test istatistiğini kullandıkları çalışmada sıcaklık değerlerinde önemli ölçüde negatif trend olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ise Afrika'da yer alan Somali'nin üç ana bölgesinden biri olan ve Somali'nin kuzeyinde bulunan istasyonlardan gerekli veri sayısına sahip 5 istasyondan alınan aylık ve yıllık veriler, hem Mann-Kendall hem de Şen grafik testine göre analiz edilmiştir. Ayrıca bu istasyonların ait olduğu bölgelerdeki yağış değerlerinin 100 yıllık dönemde uğrayabileceği değişim miktarları da hesaplanmıştır. Son olarak Saphoğlu (2015) tarafından önerilmiş olan ve Şen grafik testinin istatistiksel çözümü olan istatistiksel yöntemle de trendler test edilmiştir.

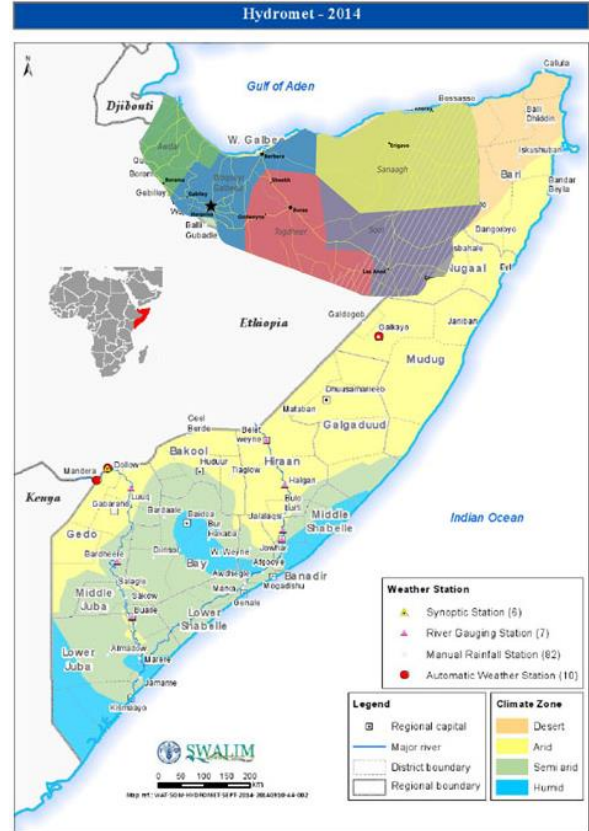
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Materyal

Somali İkesi çalışma bölgesi eyalet olarak 3 bölgeye ayrılmaktadır. Somali'nin kuzeyinde Somaliland bölgesi, kuzey doğusunda Puntland ve güneyinde Güney ve Orta Somali olarak adlandırılan kısım bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler kuzeyinde bulunan Somaliland bölgesine aittir (Şekil 1) (Wikivoyage, 2015).. Çalışmada Somaliland'ın Adwal bölgesine ait Boorama, (9°59'29"-43°17'58") Woogayi bölgesine ait Berbera (10°26'20"- 44°0'37") ve Hergerisa (9°33'46"-44° 4'9"), Togdheer bölgesine ait Boruo (9°31'27"-45°32'13") ve son olarak Sanaag bölgesine ait Erigabo (10°37'5"- 47°22'12") yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır.

Somaliand bölgesinin yıllık ortalama yağış miktarı 267 mm dir. Bölgenin en çok yağış alan kısmı yıllık ortalama 300 mm yağış yüksekliğine sahip olan Togdheer bölümüdür. En az yağış alan kesimi ise 198 mm ortalamasıyla Sool bölgesidir. Bu bölgedeki istasyonlara ait veriler elde edilmiş ve bu verilerin öncelikle sayısının trend analiz yapmak için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bütün istasyonların genel özelliği Somali'de çıkan iç savaşın başlangıç yılı olan 1990'dan sonra veri alınamamış olmasıdır. 1990 yılından sonra belli bir boşluk oluşan bu istasyonların bazıları 1997 yılında tekrar faaliyete geçmiş, bazılarının faaliyete geçme süresi ise 2007 yılını bulmuştur. Somali'nin kuzey kesiminde bulunan bölgeye ait toplam 35 adet istasyon tespit edilmiştir. Ancak bu istasyonlardan

sadece 5 tanesi trend analizi yapılabilecek kadar veriye sahip olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 1. Somaliland bölgesinin alt bölgeleri

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

#### 2.2.1. Mann-Kendall Testi

Parametrik olmayan bir test olan Mann-Kendall test istatistiği sıfır hipotezine dayanan ve zamansal serileri kullanan bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntemde ilk kurulan hipotez trendin olmadığına yönelik olan hipotezdir. Bu istatistiksel yöntemde zaman serileri iki gruba ayrılır (Saphoğlu, 2015). Bu gruplardan birincisi zaman serisinin sondan başa doğru sıralanmış hali, ikincisi ise zaman periyodunun baştan sona doğru sıralanmış halidir. Öncelikle ilk serideki her i'inci terimin i+1-n'inci terim aralığındaki seri elemanları ile kıyaslaması yapılır. Şayet söz konusu terim, kıyaslandığı terimden büyük ise +1 sayı eklenir. Kıyaslama bittikten sonra verilen bütün +1 ler toplanır ve bu toplam P ile gösterilir. Bu aşamada yapılan işlemlerin aynısı ikinci seri için de tekrarlanır buradan elde edilen toplam ise M ile gösterilir. İşlemler bittikten sonra oluşturulan istatistik de S ile gösterilir. S ise Denklem 1'de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$S = P - M \quad (1)$$

Veri sayısının 10'dan fazla olduğu serilerde test istatistiği aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Denklem 2).

$$\mu_s = 0 \text{ ve } \sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (2)$$

Denklem 3 ile elde edilen Z değeri istatistiksel olarak hipotezin reddi veya kabulü için kullanılmaktadır. Şayet  $Z/2$  değeri normal dağılımda  $\alpha$  önem derecesi ile belirlenmiş olan değerden küçük bir değer alırsa bu durumda hipotez kabul edilir ve trendin olmadığı varsayılır. Daha büyük bir değer alması durumunda trend oluştuğu kabulü yapılır. (Yue & Hashino, 2003).

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma_s} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma_s} & s < 0 \end{cases} \quad (3)$$

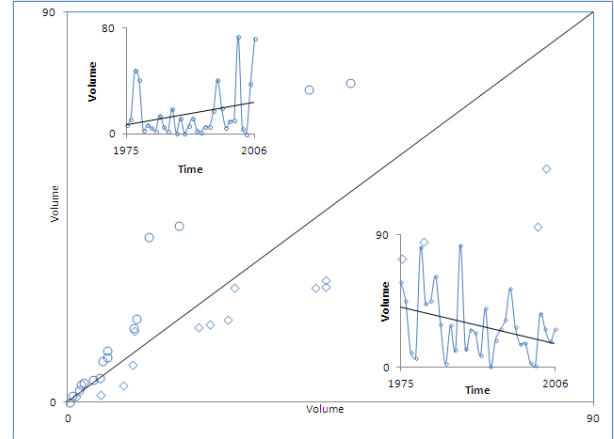
### 2.2.2. Şen Grafik Testi

(Şen Z. , 2012) tarafından kartezyen koordinat sistemini üzerinde 1:1 çizgisine bağlı bir trend analiz metodu ortaya konmuştur. Buradaki 1:1 çizgisi ve bu çizgiye yakın bölgeler trendin olmadığı kısmı ifade etmektedir. 1:1 çizgisinin her iki tarafında da üçgensel alanlar mevcuttur. Bu üçgensel alanlar trendin oluşumu ve yönü ile ilgili bilgiler içerir (Şekil 2). Öncelikle zaman serili veriler sayıları eşit olan iki gruba ayrılır. Bu serilerden birincisi zaman serisini başlangıcından orta noktadaki veriye kadar olan zaman aralığındaki veriler, ikincisi ise orta noktadaki veri ile zaman serisinin son verisi arasındaki verilerdir. Bu verilerin her ikisi de kendi içerisinde büyükten küçüğe sıralanır. Birinci grup veriler x eksenine ikinci grup veriler de y eksenine gelecek şekilde saçılım diyagramları oluşturulur. Son olarak bu saçılım diyagramının tam ortasından 1:1 çizgisi geçirilir. Saçılım diyagramında elde edilen sonuçlar 1:1 çizgisinin altında kalırsa trendin azalma yönünde olduğu, üzerinde ise trendin artış yönünde olduğu kabul edilebilir. (Şen Z. , 2012; Şen Z. , 2014)

### 2.2.3. Şen Testi İstatistiksel Analizi

Bu yöntem Şen'in grafik testinden esinlenerek oluşturulmuş bir yöntemdir. Bu yöntemde de Şen testinde olduğu gibi veriler eşit olarak iki kısma ayrılır ve küçükten büyüğe doğru sıralanır. Daha sonraki aşamada ikinci data setinin birinci

değerinden birinci data setinin birinci değeri çıkartılır.



Şekil 2. Trend artış ve azalışlarının Şen grafik testi ile gösterimi

Sonra ikinci data setinin ikinci değerinden birinci data setinin ikinci değeri çıkartılır. Bu işlem tüm veriler bitinceye kadar devam ettirilir. Bir sonraki aşamada ise elde edilen bütün değerlerin ortalaması tespit edilir (Denklem 4).

$$MX = \sum_{i=1}^n (X_{2i} - X_{1i})/n \quad (4)$$

Burada i indis,  $X_1$  birinci data seti,  $X_2$  ikinci data seti n her bir data setindeki veri sayısı ve MX ise data setleri arasındaki verileri farklarının ortalamasıdır. Birinci data seti verilerin ilk yarısını kapsadığından dolayı, sonuçların eksi çıkması durumunda negatif bir trend, artı çıkması durumunda da pozitif bir trend oluştuğu düşünülür (Saplıoğlu, 2015).

## 3. Araştırma ve Bulgular

Çalışmanın bu kısmında Somaliland'ın Adwal bölgesine ait Boorama, Woogayi bölgesine ait Berbera ve Hergerisa, Togdheer bölgesine ait Boruo ve son olarak Sanaag bölgesine ait Erigabo yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler ile yapılan analizler; tablolar ve çizelgeler şeklinde özetlenmeye çalışılmıştır.

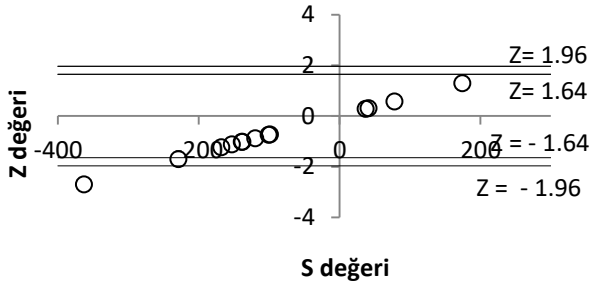
### 3.1. Boorama Bölgesi

Bu bölgedeki aylık ve yıllık verilerin Mann-Kendall test istatistiği ile test edilmiş sonuçlarına bakıldığında sadece Haziran ayında %95 güven aralığında bir trend olduğu görülebilmektedir. (Tablo 2). %90 güven aralığına bakıldığında ise Ocak ve Haziran aylarında negatif bir trendin



olduğu söylenebilir. Ayrıca 8 adet aylık verinin ve yıllık toplam yağış yüksekliği verisinin negatif eğilimli, 4 adet aylık verinin ise pozitif eğilimli olduğu görülmektedir.

Şekil 3’de Boorama bölgesine ait Şen grafik testi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre 7 adet veride azalan trend, 2 adet veride de artan trend bulunmuştur. Ayrıca Şen grafik testine tabi tutulan veriler, Saplıoğlu tarafından önerilen trend testi ile de incelenmiş ve sonuçlar Şen testi ile kıyaslamalı olarak gösterilmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2).



**Şekil 3.** Boorama bölgesi %90 ve %95 güven aralığına göre trendleri

### 3.2. Berbera Bölgesi

Berbera bölgesinin yıllık ve aylık verileri Mann-Kendall test istatistiği ile test edilmiş ve bölgeye ait trendler bulunmuştur. Ayrıca regresyon analizleri yapılarak denklem takımları oluşturulmuş ve yıllık değişim miktarları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 5 incelendiğinde % 95 güven aralığında 4 adet veri setinde azalan bir trend olduğu gözlemlenmektedir. Yine bu grafiğe göre 5 adet veride de %90 güven aralığında azalan bir trend

olduğu tespit edilebilir. % 95 güven aralığına göre Ocak, Şubat ve Mayıs aylarının yanı sıra yıl genelinde de azalan bir trend söz konusudur. Yine bu çizelgeye göre %90 güven aralığında yapılan incelemede bu aylara Aralık ayı da katılmaktadır.

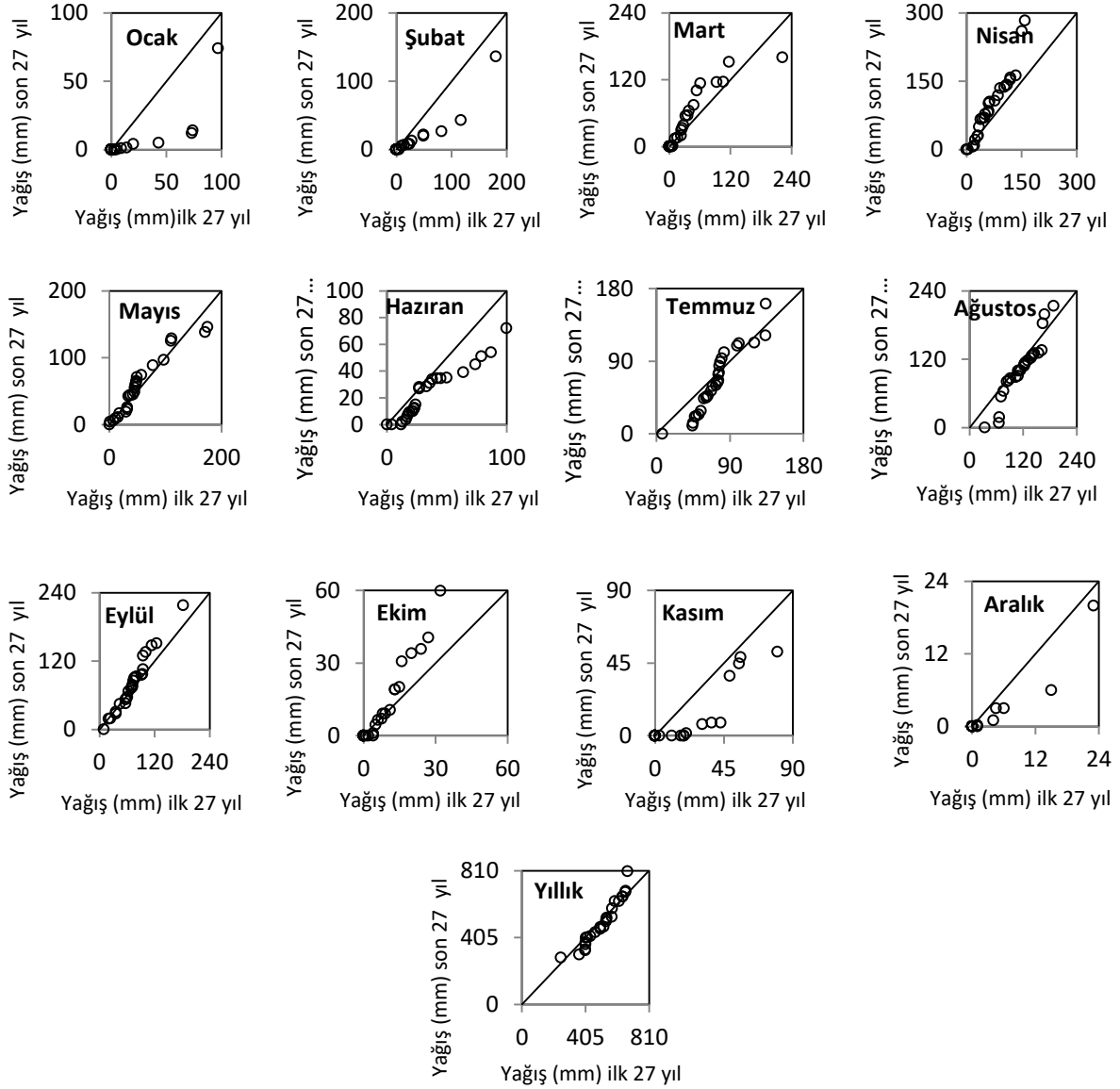
Ayrıca bu grafik ve çizelgelere bakıldığında artan bir trendin veya eğilimin bulunmadığı gözükmektedir. %95 güven aralığında azalış trendine sahip olan yıllık eğiliminde 0.22 mm lik bir azalış söz konusudur.

Şen testine göre 6 farklı ayda ve yıllık bazda trend olduğu ve bu trendlerin bu modeli baz alan test istatistiği ile ispatlandığı görülmektedir (Tablo 4). Ayrıca Şen grafik testi için çizilen grafikler Şekil 6’da gösterilmiştir. Mann-Kendall testinde trendin var olduğu gözükken Ocak, Şubat, Mayıs ve yıllık yağış miktarlarının da bu testlerle desteklendiği görülmektedir. Mann-Kendall test istatistiğine göre trend oluşumu belirlenememiş olan Temmuz ve Ekim aylarında son yıllar itibari ile oldukça düşük yağışlar gözlemlenmiştir. Yağış oranı oldukça az olan bölgede verilerin ilk yarısı itibari ile Temmuz ayında 2.7 mm’lik bir ortalama yağış söz konusu iken ikinci yarısında 0.5 mm’lik bir yağış söz konusudur. Ekim ayında da bu durum verilerin ilk yarısında 1.7 mm iken ikinci yarı verilerde bu oran 0.3 mm ye kadar düştüğü görülmektedir.

Mann-Kendall testi; Şen grafik testi ve Saplıoğlu testleri birlikte incelendiğinde, Mann-Kendall testlerinde daha az sayıda trend bulunduğu görülmektedir. Şen grafik testinde açıkça görülen testlerin bile bazı durumlarda Mann-Kendall testinde bulunamamasının, verilerin homojen olmamasından dolayı olduğu söylenebilir.

**Tablo 1.** Boorama bölgesi Mann-Kendall test istatistiği sonuçları.

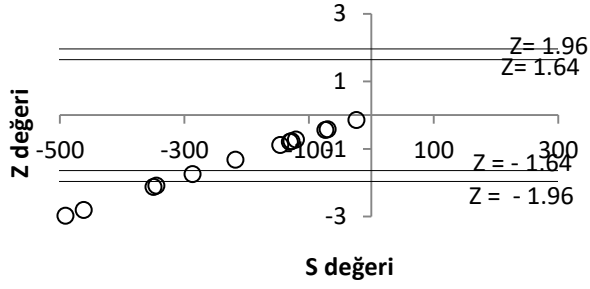
Aylar	Ortalama Yağış (mm)	S	Z	100Yıllık değişim (mm)	Trend Z (0,95)	Trend Z (0,90)
Ocak	8.44	-229	-1,69	-21	↔	↓
Şubat	16.10	-101	-0,75	-12	↔	↔
Mart	39.04	41	0,30	2	↔	↔
Nisan	82.40	174	1,29	38	↔	↔
Mayıs	54.38	37	0,27	4	↔	↔
Haziran	30.57	-363	-2,7	-31	↓	↓
Temmuz	68.43	-139	-1,03	-4	↔	↔
Ağustos	110.30	-168	-1,24	-14	↔	↔
Eylül	76.29	78	0,57	7	↔	↔
Ekim	13.78	-99	-0,73	2	↔	↔
Kasım	12.21	-153	-1,13	-14	↔	↔
Aralık	2.76	-120	-0,88	-1	↔	↔
Yıllık	514,7	-138	-1,02	-51	↔	↔



Şekil 4. Boorama İstasyonu aylık ve yıllık bazda Şen testi sonuçları

Tablo 2. Boorama istasyonu istatistiksel test sonuçları ile Şen testinin karşılaştırılması

Aylar	Veri Sayısı	Toplam Fark	Standart Hata	Hata Ortalaması	Test İstatistiği	%95 (G.A.) test (t test 2,05)	Şen Grafik Testi
Ocak	27	-232,5	17,02	-8,61	-2,63	↓	↓
Şubat	27	-291,4	19,06	-10,79	-2,94	↓	↓
Mart	27	207,7	20,72	7,69	1,93	↔	↔
Nisan	27	747,6	30,01	27,69	4,80	↑	↑
Mayıs	27	86,70	12,91	3,21	1,29	↔	↔
Haziran	27	-322,30	8,95	-11,94	-6,93	↓	↓
Temmuz	27	-223,40	15,71	-8,27	-2,74	↓	↓
Ağustos	27	-348,40	17,94	-12,90	-3,74	↓	↓
Eylül	27	121,30	16,34	4,49	1,43	↔	↔
Ekim	27	140,20	9,09	5,19	2,97	↑	↑
Kasım	27	-233,90	10,91	-8,66	-4,13	↓	↓
Aralık	27	35,20	10,40	1,30	0,65	↔	↓
Yıllık	27	-313,20	48,31	-11,60	-1,25	↔	↔



Ayrıca Mann-Kendall testinde çok büyük olan farklar ile çok küçük olan farklar aynı ağırlığa sahiptir. Ancak Şen testi ve Saplıoğlu testlerinde bu farkların daha çok önem kazandığını görmekteyiz.

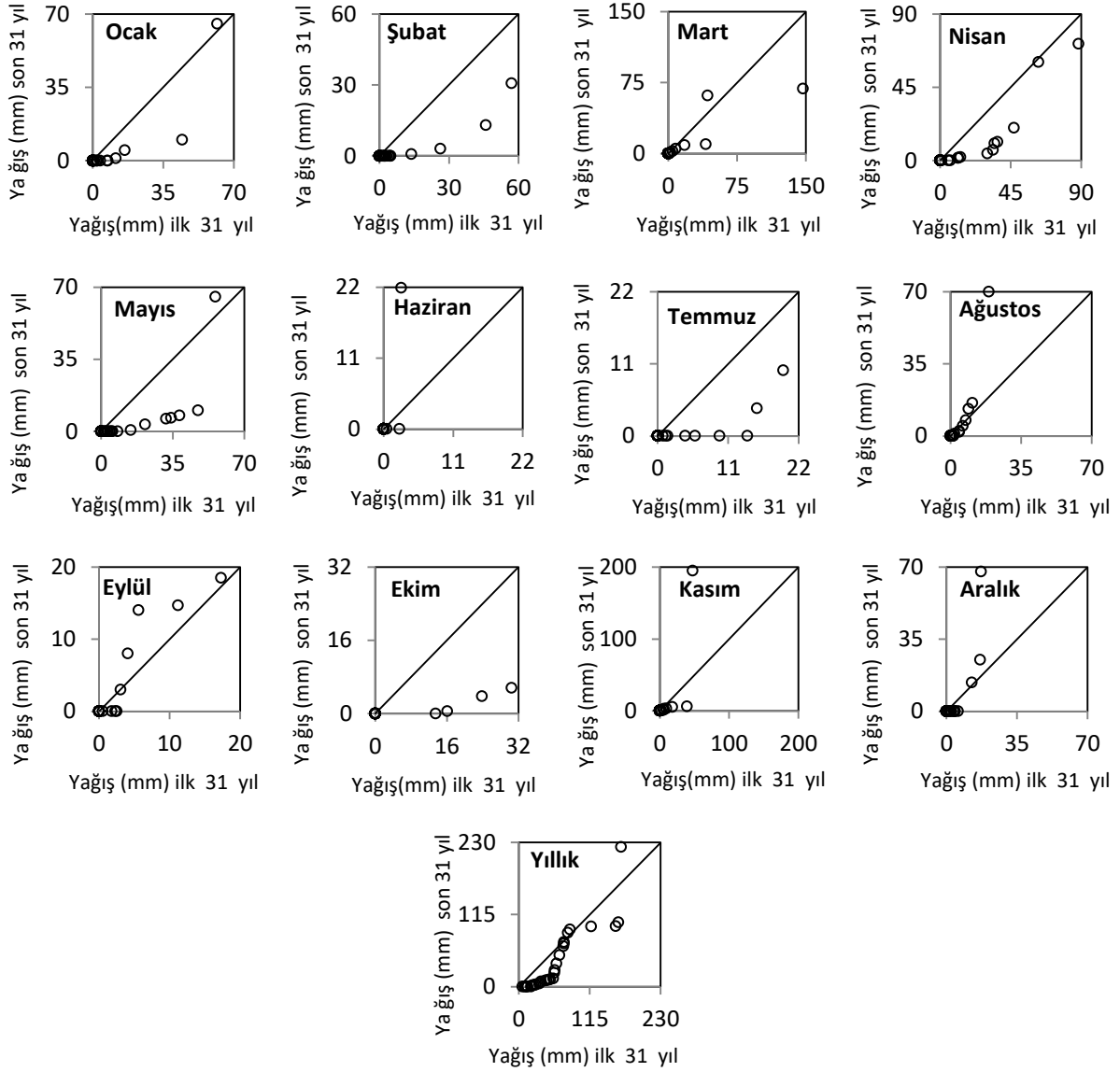
Şekil 5. Berbera bölgesi %90 ve %95 güven aralığına göre trendleri.

Tablo 3. Berbera bölgesi Mann-Kendall test istatistiği sonuçları

Aylar	Ortalama Yağış (mm)	S	Z	100Yıllık değişim (mm)	Trend Z (0,95)	Trend Z (0,90)
Ocak	3.91	-350	-2,12	-4.5	↓	↓
Şubat	3.58	-491	-2,97	-5.6	↓	↓
Mart	6.92	-128	-0,77	-13	↔	↔
Nisan	9.25	-146	-0,88	-5.2	↔	↔
Mayıs	6.10	-345	-2,08	-10.5	↓	↓
Haziran	0.45	-70	-0,42	-0.3	↔	↔
Temmuz	1.40	-218	-1,32	-1.9	↔	↔
Ağustos	3.01	-121	-0,72	5.6	↔	↔
Eylül	1.72	-131	-0,79	-0.8	↔	↔
Ekim	1.51	-74	-0,44	-3.3	↔	↔
Kasım	5.55	-24	-0,14	16	↔	↔
Aralık	2.98	-287	-1,74	1.1	↔	↓
Yıllık	46.36	-462	-2,80	-22	↓	↓

Tablo 4. Berbera istasyonu istatistiksel test sonuçları ile Şen testinin karşılaştırılması

Aylar	Veri Sayısı	Toplam Fark	Standart Hata	Hata Ortalaması	Test İstatistiği	%95 (G.A.) test (z test 1,96)	Şen Grafik Testi
Ocak	31	-79,35	6,61	-2,56	-2,15	↓	↓
Şubat	31	-127,04	8,20	-4,10	-2,78	↓	↓
Mart	31	-109,58	15,18	-3,53	-1,30	↔	↔
Nisan	31	-192,38	9,59	-6,21	-3,60	↓	↓
Mayıs	31	-179,31	10,67	-5,78	-3,02	↓	↓
Haziran	31	16,09	3,42	0,52	0,84	↔	↔
Temmuz	31	-58,28	3,84	-1,88	-2,73	↓	↓
Ağustos	31	46,55	9,15	1,50	0,91	↔	↔
Eylül	31	9,90	1,90	0,32	0,94	↔	↔
Ekim	31	-74,10	6,41	-2,39	-2,08	↓	↓
Kasım	31	80,83	27,18	2,61	0,53	↔	↔
Aralık	31	28,86	9,35	-0,93	0,55	↔	↔
Yıllık	31	-637,31	21,31	-20,57	-5,38	↓	↓

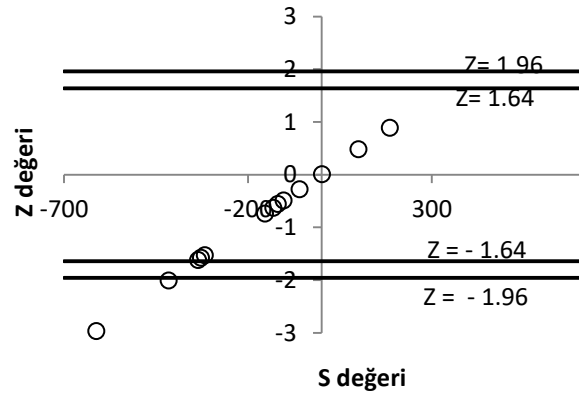


Şekil 6. Berberia İstasyonu aylık ve yıllık bazda Şen testi sonuçları

### 3.3. Hergeisa Bölgesi

Hergeisa bölgesi için Mann–Kendall test istatistiği sonuçlarına göre Haziran ve Ağustos aylarında önemli oranlarda azalışların olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). İstatistiksel sonuçların sadece 2 tanesi %95 güven aralığında olmasına karşın 3 tanesinin de %90 güven aralığına çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 7).

72 yıllık veri setinin ikiye bölünmesiyle elde edilen Şen grafik testi sonuçları ve bu testlerin istatistiksel analizi olan ve Saplıoğlu tarafından önerilen istatistiksel analizin sonuçları Tablo 6'da özetlenmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlara göre grafiksel metotta 4 adet trend gözlemlenmişken istatistiksel analizde 6 adet trend gözükmemektedir.



Şekil 7. Hergeisa Bölgesi %90 ve %95 güven aralığına göre trendleri

**Tablo 5.** Hergeisa Bölgesi Mann-Kendall test istatistiği sonuçları

Aylar	Ortalama Yağış (mm)	S	Z	100Yıllık değişim (mm)	Trend Z (0,95)	Trend Z (0,90)
Ocak	2.69	-335	-1.62	-5.2	↔	↔
Şubat	8.12	-317	-1.53	-9.2	↔	↔
Mart	26.88	-59	-0.28	2.4	↔	↔
Nisan	64.63	101	0.48	14	↔	↔
Mayıs	66.24	-153	-0.74	2.3	↔	↔
Haziran	43.61	-612	-2.97	-36.5	↓	↓
Temmuz	45.72	-118	-0.56	1.2	↔	↔
Ağustos	68.69	-415	-2.01	-24.1	↓	↓
Eylül	59.48	2	0.004	-0.8	↔	↔
Ekim	24.56	186	0.89	29.4	↔	↔
Kasım	9.51	-131	-0.63	-0.6	↔	↔
Aralık	1.93	-327	-1.58	0.5	↔	↔
Yıllık	420.74	-103	-0.49	-26.6	↔	↔

**Tablo 6.** Hergeisa istasyonu istatistiksel test sonuçları ile Şen testinin karşılaştırılması

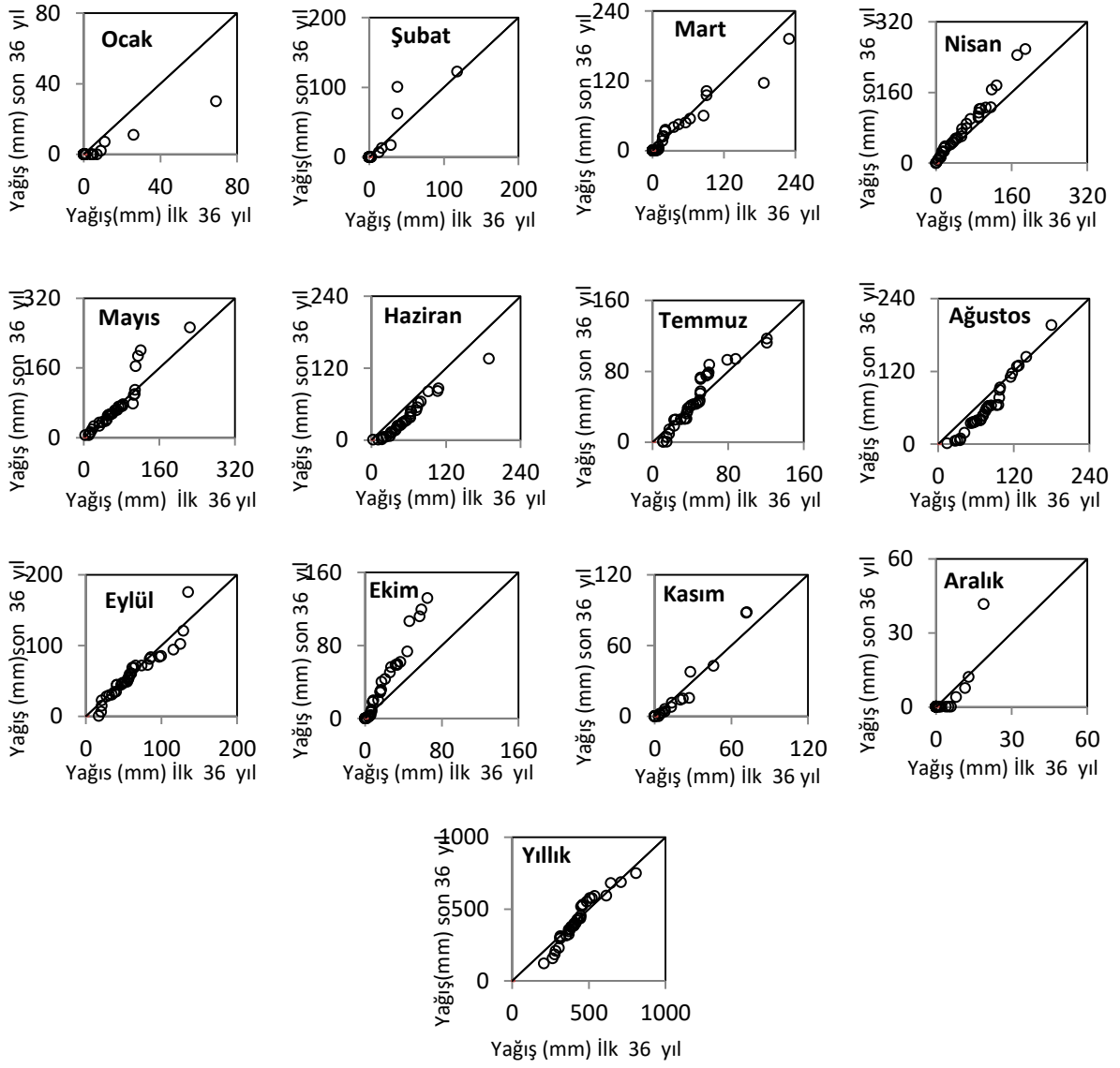
Aylar	Veri Sayısı	Toplam Fark	Standart Hata	Hata Ortalaması	Test İstatistiği	%95 (G.A.) test (z test 1.96)	Şen Grafik Testi
Ocak	36	93.90	6.86	-2.61	-2.28	↓	↓
Şubat	36	59.70	11.34	1.66	0.88	↔	↔
Mart	36	-129.40	14.54	-3.59	-1.48	↔	↔
Nisan	36	640.00	17.01	17.78	6.27	↑	↑
Mayıs	36	54.80	21.49	1.52	0.42	↔	↔
Haziran	36	-731.60	7.30	-20.32	-16.71	↓	↓
Temmuz	36	42.30	10.80	1.18	0.65	↔	↔
Ağustos	36	-633.40	10.71	-17.65	-9.89	↓	↔
Eylül	36	-121.30	10.06	-3.37	-2.01	↓	↔
Ekim	36	519.90	19.47	14.44	4.45	↑	↑
Kasım	36	-13.20	5.04	-0.37	-0.44	↔	↔
Aralık	36	-7.30	4.16	-0.20	-0.29	↔	↔
Yıllık	36	-415.40	46.45	-11.54	-1.49	↔	↔

Şekil 8 incelendiğinde elde edilen trend değerleri Tablo 6'ya işlendiğinde farkların oluştuğu ayların istatistiksel analize göre düşüş trendi görülen Ağustos ve Eylül ayları olduğu görülmüştür. İstatistiksel olarak incelemede trend oluşup grafiksel olarak gözükmemesindeki sebebin, özellikle Ağustos ayında sadece bir yağış verisinin mevsim normallerinin çok üzerinde olmasıdır. Haziran ayında hem Şen testinde hem test istatistiğinde güçlü azalış trendleri tespit edilmiştir. Ayrıca Mann-Kendall ve 100 yıllık eğilim miktarına bakıldığında da Haziran ayının oldukça güçlü bir azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Yağış ortalaması 43.61 mm olan Haziran ayında 100 yıllık periyot sonunda 36.5 mm kadar bir azalış öngörülmektedir. Yıllık bazda meydana gelmesi öngörülen 26.6 mm olan azalıştan daha fazla olan bu değer dikkate alındığında gelecekte Haziran aylarında yağışın hiç yağmayacağı veya çok az yağacağı gibi bir değerlendirmede bulunulabilir.

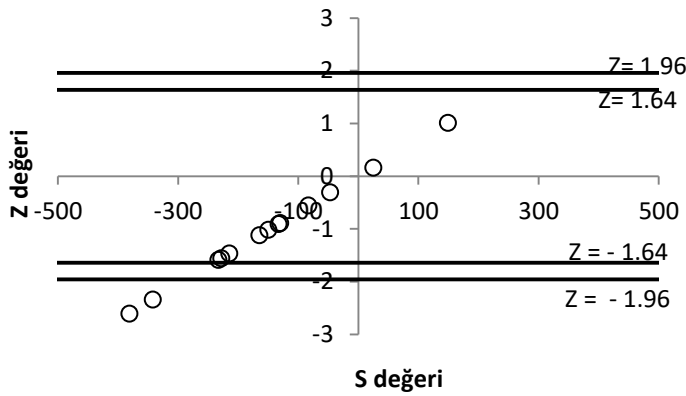
### 3.4. Burao Bölgesi

Burao bölgesine ait 58 yıllık veri incelenerek yapılan çalışmada Mann-Kendall trend testine göre Temmuz ve Ağustos aylarında bu trendlerin çok güçlü olduğu görülmüştür (Tablo 7). 100 yıllık eğilimlere bakıldığında ise gelecekte bu aylarda yağış oluşmama ihtimali çok fazladır. Şekil 9'da görüldüğü gibi % 95 güven aralığında sadece 2 aylık bir dönemde azalma trendi görülse de %90 güven aralığına yakın 2 ay ve yıllık bazda bir azalışın olduğu görülmektedir.

Bölgedeki yağış ölçüm istasyonu incelendiğinde Şen'in grafik testine göre Ocak, Şubat, Temmuz, Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında azalan trend mevcut olduğu Ekim ayında ise artış eğilimi olduğu görülmüştür (Tablo 8). Test istatistiğine bakıldığında ise düşük yağış verisine sahip Ocak, Şubat ve Aralık ayındaki azalış trendleri belirlenememiştir (Şekil 10).



Şekil 1. Hergesa İstasyonu aylık ve yıllık bazda Şen testi sonuçları



Şekil 9. Burao Bölgesi %90 ve %95 güven aralığına göre trendleri

**Tablo 7.** Burao Bölgesi Mann-Kendall test istatistiği sonuçları

Aylar	Ortalama Yağış (mm)	S	Z	100Yıllık değ. (mm)	Trend Z (0,95)	Trend Z (0,90)
Ocak	1.51	-133	-0.91	-3	↔	↔
Şubat	2.37	-130	-0.89	-0.7	↔	↔
Mart	7.78	25	0.16	9.9	↔	↔
Nisan	34.63	-47	-0.31	2.1	↔	↔
Mayıs	54.35	-215	-1.47	-19	↔	↔
Haziran	18.78	-233	-1.59	0.06	↔	↔
Temmuz	8.96	-381	-2.61	-10.5	↓	↓
Ağustos	11.73	-342	-2.34	-7.4	↓	↓
Eylül	24.20	-165	-1.12	-0.6	↔	↔
Ekim	23.63	149	1.01	12.5	↔	↔
Kasım	9.71	-150	-1.02	-10.2	↔	↔
Aralık	1.12	-83	-0.56	-0.6	↔	↔
Yıllık	198.77	-228	-1.56	-30.2	↔	↔

**Tablo 8.** Burao istasyonu istatistiksel test sonuçları ile Şen testinin karşılaştırılması

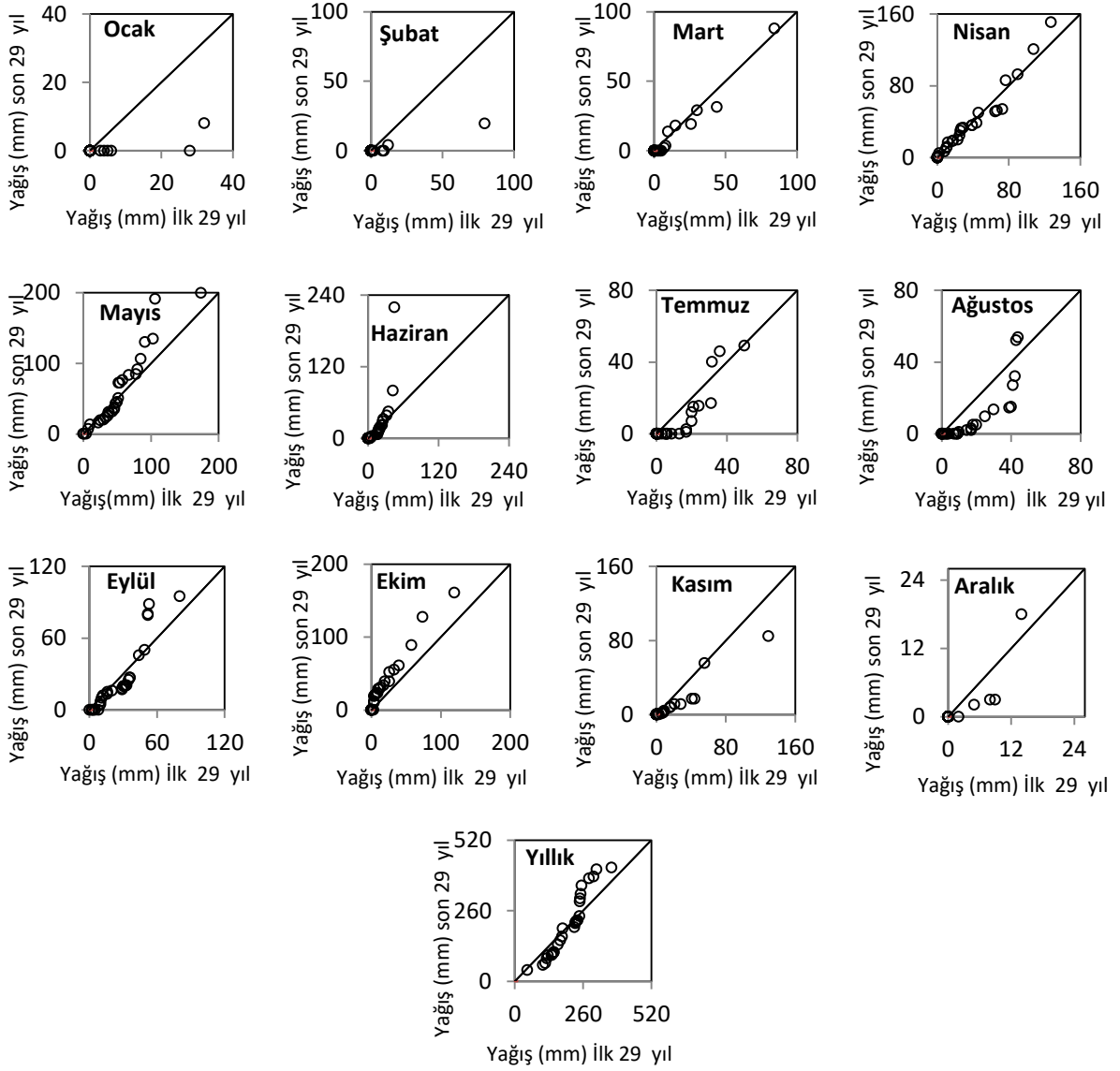
Yıllar	Veri Sayısı	Toplam Fark	Standart Hata	Hata Ortalaması	Test İstatistiği	%95 (G.A.) test (t test 2.04)	Şen Grafik Testi
Ocak	29	70.00	6.64	-2.41	-1.96	↔	↓
Şubat	29	88.00	11.06	-3.03	-1.48	↔	↓
Mart	29	-34.20	3.22	1.18	-1.97	↔	↔
Nisan	29	7.00	7.83	0.24	0.17	↔	↔
Mayıs	29	146.80	21.22	5.06	1.28	↔	↔
Haziran	29	160.60	32.89	5.54	0.91	↔	↔
Temmuz	29	-135.30	6.89	-4.67	-3.65	↓	↓
Ağustos	29	-226.70	8.88	-7.82	-4.74	↓	↓
Eylül	29	-113.50	11.33	-3.91	-1.86	↔	↔
Ekim	29	359.30	13.60	12.39	4.90	↑	↑
Kasım	29	-220.80	12.09	-7.61	-3.39	↓	↓
Aralık	29	-11.90	1.71	-0.41	-1.29	↔	↓
Yıllık	29	-226.70	53.54	-7.82	-0.79	↔	↔

### 3.5. Erigabo Bölgesi

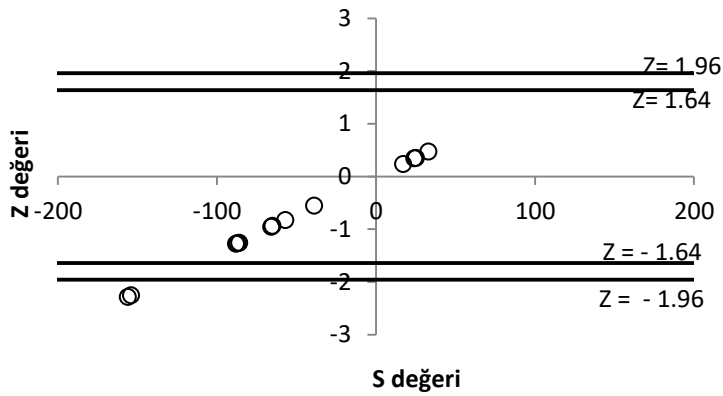
Erigabo bölgesinde 34 adet veri üzerinde yapılan çalışmalarda Mann-Kendall trend testine göre Şubat ve Haziran aylarında önemli trendler tespit edilmiştir (Tablo 9). Bu aylarda meydana gelen eğilimlerdeki azalmalarında 100 yıl içerisinde Şubat ayı ve Mayıs ayı yağış ortalamalarının sifıra yaklaşacağı konusunda önemli deliller sunduğu görülmüştür. Ayrıca eğilim analizleri incelendiğinde Ocak, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ortalama yağış verilerine bakıldığında çok yüksek değişime sahip eğilimler olduğu görülmüştür. Ancak bu eğilimler Mann-Kendall testinde %90 ve %95 güven aralığında bir öneme sahip olmadığından trend oluşmadığı düşünülmüştür. Şekil 11'de görüldüğü gibi 2 adet

veri setinde % 95 güven aralığında azalma eğilimi olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 12 incelendiğinde trendlerin yağışların bol olduğu dönemlerde daha belirgin bir şekilde belirlenebildiği, yağışın çok az yağdığı Aralık ayında belirleyebilmenin çok zor olduğu görülmektedir. Tablo 10 incelendiğinde Şen grafik testine ve bu testin istatistiğine göre bölgede hem aylar bazında hem de yıl genelinde trendlerin mevcut olduğu görülmektedir. Bu trendlerin 4 tanesi artış yönünde 7 tanesi ise azalış yönündedir. Ancak Temmuz ayındaki artış trendi ile Aralık ayındaki azalış trendi istatistiksel analiz ile desteklenmemektedir. Ayrıca bir önceki bölümde incelenmiş olan Mann-Kendall test istatistiği ile de desteklenmemektedir.



Şekil 10. Burao İstasyonu aylık ve yıllık bazda Şen testi sonuçları



Şekil 11. Erigabo bölgesi %90 ve %95 güven aralığına göre trendleri



**Tablo 9.** Erigabo Bölgesi Mann-Kendall test istatistiği sonuçları

Aylar	Ortalama Yağış (mm)	S	Z	100 Yıllık değişim (mm)	Trend Z (0,95)	Trend Z (0,90)
Ocak	7.68	-66	-0.96	-12.8	↔	↔
Şubat	6.21	-156	-2.29	-13.3	↓	↓
Mart	20.25	-57	-0.83	-10.9	↔	↔
Nisan	37.16	25	0.35	15.5	↔	↔
Mayıs	64.00	17	0.23	15.4	↔	↔
Haziran	34.43	-154	-2.26	-35.7	↓	↓
Temmuz	8.99	-87	-1.27	3.8	↔	↔
Ağustos	33.58	33	0.47	10.1	↔	↔
Eylül	74.32	-65	-0.94	-22.6	↔	↔
Ekim	7.29	24	0.34	11.1	↔	↔
Kasım	4.34	-39	-0.56	-3.2	↔	↔
Aralık	0.74	-88	-1.28	-1.9	↔	↔
Yıllık	298.97	-86	-1.26	-0.04	↔	↔

**Tablo 10.** Erigabo istasyonu istatistiksel test sonuçları ile Şen testinin karşılaştırılması

Aylar	Veri Sayısı	Toplam Fark	Standart Hata	Hata Ortalaması	Test İstatistiği	%95 (G.A.) test (t test 2.11)	Şen Grafik Testi
Ocak	17	-9.00	6.83	-0.53	-0.32	↔	↔
Şubat	17	-171.00	12.46	-10.06	-3.33	↓	↓
Mart	17	-239.50	11.51	-14.09	-5.05	↓	↓
Nisan	17	195.30	16.10	11.49	2.94	↑	↑
Mayıs	17	-82.00	17.79	-4.82	-1.12	↔	↔
Haziran	17	-443.50	8.61	-26.09	-12.50	↓	↓
Temmuz	17	43.50	11.62	2.56	0.91	↔	↑
Ağustos	17	301.80	20.50	17.75	3.57	↑	↑
Eylül	17	-295.20	15.65	-17.36	-5.58	↓	↓
Ekim	17	72.00	7.98	4.24	2.19	↑	↑
Kasım	17	-52.50	4.26	-3.09	-2.99	↓	↓
Aralık	17	-4.00	0.73	-0.24	-1.33	↔	↓
Yıllık	17	-705.10	66.27	-41.48	-2.58	↓	↓

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

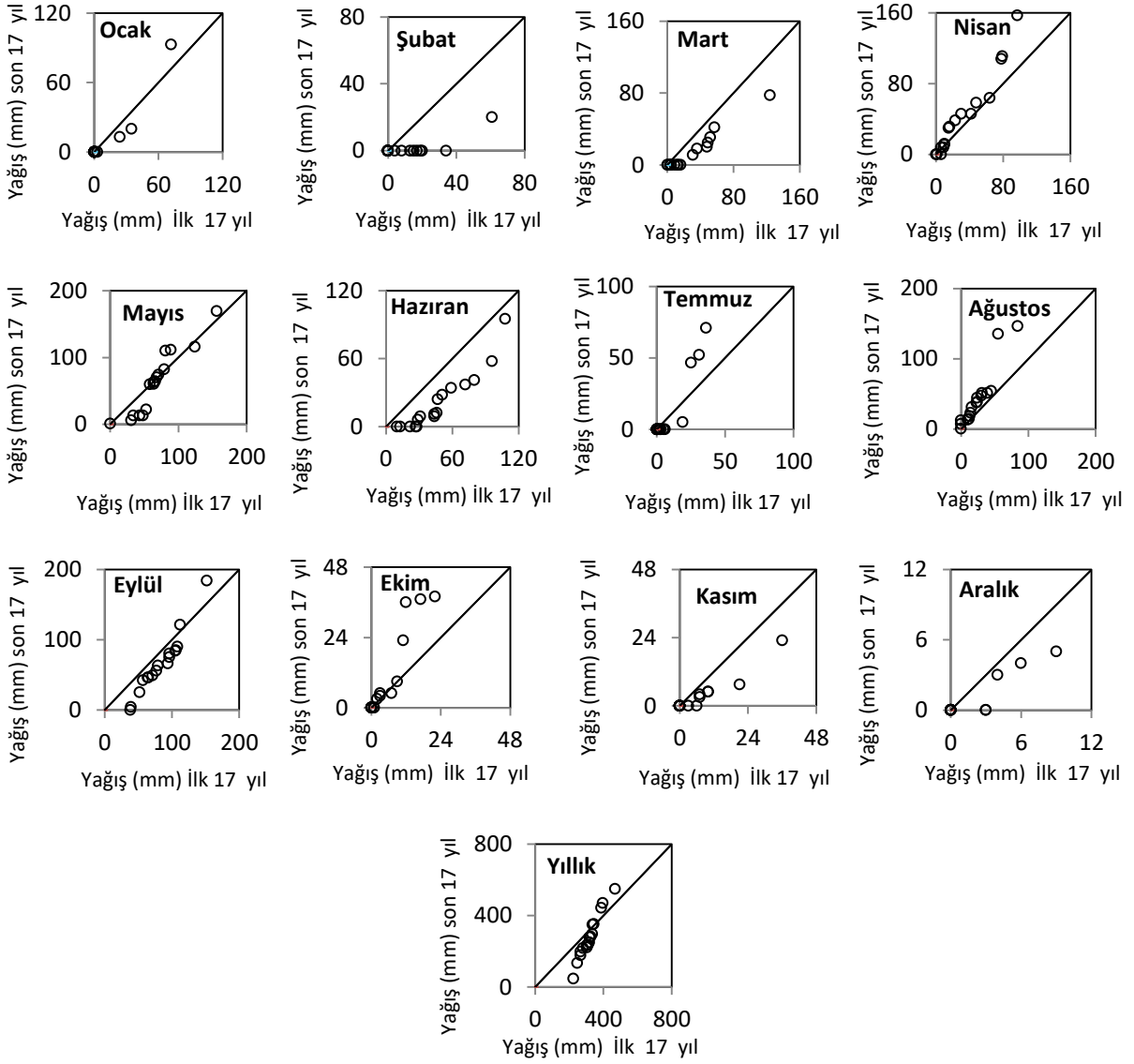
Çalışmada Afrika'nın güneydoğusunda bulunan Somali'nin kuzey kısmındaki ortalama olarak oldukça düşük yıllık yağış yüksekliğine sahip olan Somaliland bölgesi çalışılmıştır. Bu bölgeye ait verilerden trend analizi yapılabilecek nitelikte olan 5 adet istasyon seçilerek bunlara ait trendler bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken Mann-Kendall trend testi, Şen grafik testi ve bu testin istatistiksel ifadesi olan Saplıoğlu istatistiksel analizinden yararlanılmıştır.

Boorama bölgesinde yıllık bazda her üç teste göre de trend oluşumuna rastlanmamışken; Barberea bölgesinde de her üç teste göre de negatif trend elde edilmiştir. Hergesia ve Borao bölgelerinde de trend olmadığı görülmüştür. Ancak Erigabo

bölgesinde Mann-Kendall trend analizine göre trend tespit edilmemesine rağmen diğer iki teste göre bir azalma olduğu görülmüştür.

Araştırmada aylık bazda inceleme yapıldığında genelde trendlerin değişmediği; ancak çok sayıda aylık bazda azalma olduğu tespit edilmiştir. Pozitif trendin ise oldukça az olduğu görülmüştür.

Çalışmanın en çok dikkat çekici yanı ise Mann-Kendall testinde görülmeyen trendlerin, Şen testi ve Saplıoğlu istatistiksel analizlerine göre trendlerinin görülmesidir. Hatta bu analizlerde çok bariz şekilde görülen trendlerin Mann-Kendall testinde gözükmemesidir. Bunun da başlıca sebebi Mann-Kendall testinde farkların büyüklüğünün ağırlık olarak etkisinin olmayışdır.



Şekil 12. Erigabo İstasyonu aylık ve yıllık bazda Şen testi sonuçları

## 5. Kaynakça

Ageena, I., Macdonald, N. ve Morse, A., (2014). Variability of maximum and mean average temperature across Libya (1945–2009), Theoretical and Applied Climatology, 117, 549-563.

Baria, S., Rahman, M., Hoqueb, M., & Hussain, M. (2016). Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. Atmospheric Research, 176-177, 148-158.

Bayazıt, M. ve Önöz, B., (2007). To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis? , Hydrological Sciences Journal, 52(4), 611–624.

Chen, H., Guo, S., Xu, C. ve Singh, V. P., (2007). Historical temporal trends of hydro-climatic variables and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin, Journal of Hydrology, 344, 175-185.

ElNesr, M., Abu-Zreig, M. ve Alazba, A., (2010). Temperature trends and distribution the Arabian Peninsula, American Journal of Environmental Sciences, 6(2), 191–203.

Gocic, M. ve Trajkovic, S., (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia, Global and Planetary Change, 100, 172-182.

Gocic, M. ve Trajkovic, S., (2013). Analysis of precipitation and drought data in Serbia

- over the period 1980-2010, Journal of Hydrology, 494, 32-42.
- Goswami, B. venugopal, V., Sengupta, D., Madhusoodanan, M. ve Xavier, P., (2006). Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment, Science, 314, 1442-1444.
- Gregory, G., (1956). Regional variations in the trends of annual rainfall over the British Isles, The Geographical Journal, 122, 346-353.
- Jagannathan, R. ve Parthasarathy, B., (1973). Trends and periodick citiles of rainfall over India, Monthly Weather Review, 101, 371-375.
- Karmesha, N., (2012). Trend detection in annual temperature ve precipitation using the Mann-Kendall test, Northeastern United States: Master of Environmental Studies Capstone Project.
- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., & Thurner, K. (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology, 374, 171–183.
- Mohamed, Y. ve Saavaenije, H. G., (2014). Impact of climate variability on the hydrology of the Sudd wetland: signals derived from long term (1900–2000) water balance computations, Wetlands Ecology and Management, 22, 191–198.
- Nasrallah, H. ve Balling, R., (1995). Impact of desertification on temperature trends in the Middle East, Environmental Monitoring and Assessment, 37, 265-271.
- Partal, T. ve Kahya, E., (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data, Hydrological Proceses, 20, 2011-2026.
- Parthasarathy, B. ve Dhar, O., (1974). Secular variations of the rainfall over India, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 100, 245-257.
- Saplıoğlu, K., (2015). A New methodology for trend analysis: A case study in Burdur and Isparta, Turkey, Fresenius environmental Bulletin, 24(10a), 3344-3351.
- Satyamurty, P., Anderson de Castro, A., Tota, J., Gularte, L. ve Manzi, A., (2010). Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades, Theor Appl Climatol (2010) 99:139–148, 99, 139-148.
- Singh., P., Kumar, V., Thomas, T. ve Arora, M., (2008). Changes in rainfall and relative humidity in river basins in northwest and central India, Hydrological Processes, 22(16), 2982–2992.
- Suzuki, E., (1968). Secular variations of the rainfall in Japan, Papers in Meteorology and Geophysics, 19, 363-399.
- Şen, Z., (2012). Innovative trend analysis methodology, Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046. .
- Şen, Z., (2014). Trend Identification Simulation and Application, Journal of Hydrologic Engineering, 19(3), 635-642.
- Tabari, H., Somoe, B. ve Zadeh, M. R., (2011). Testing for long-term trends in climatic variables in Iran, Atmospheric Research, 100, 132-140.
- Trajkovic, S. ve Kolakovic, S., (2009). Wind-adjusted Turc equation for estimating reference, Hydrology Research, 40(1), 45-52.
- Wang, S., Zhu, J. ve Cai, J., (2004). Interdecadal variability of temperature and precipitation in China since 1880, Advances in Atmospheric Sciences, 21(3), 307–313.
- Wikivoyage., (2015). Somaliland. 10 01, 2015 tarihinde <https://en.wikivoyage.org/wiki/Somaliland> adresinden alındı
- Yue, S. ve Hashino, M., (2003). Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan, Journal of the American Water Resources Association, 39, 587-596.
- Yue, S., Pilon, P. ve Cavadias, G., (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, Journal of Hydrology, 259, 254-271.
- Yue, S., Pilon, P. ve Cavadias, G., (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, Journal of Hydrology, 259, 254-271.

# Kazı Derinliğinin Püskürtme Beton Dayanımı Üzerindeki Etkisi: Sayısal Bir Yaklaşım

## *Effect of Excavation Depth on Shotcrete Strength: A Numerical Approach*

Mustafa KANIK<sup>\*a</sup>, Zülfü GÜROCAK<sup>b</sup>

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 17.08.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 27.10.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 30.10.2017

### Öz

Uygun ve güvenilir destek sistemlerinin seçimi, tünelticilikte maliyet ve güvenliği etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan görgül kaya sınıflama yöntemleri destek tipinin seçiminde büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu konuda kullanılan diğer bir yöntem sayısal analizlerdir. Görgül olarak elde edilen destek tipinin sayısal olarak da analiz edilmesi sonucunda daha güvenilir ve ekonomik destek tipi belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, farklı kaya sınıfları için RMR<sub>89</sub> tarafından önerilen püskürtme betonun dayanımı ile kazı derinliği arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak sayısal modeller yapılmıştır. Modellemelerde, Zayıf, Orta ve İyi kaliteli kaya sınıflarındaki kaya kütleleri ve farklı kazı derinlikleri dikkate alınmıştır. Kazı derinliğinin artması bağlı olarak, destek sisteminin yenilmeden çalışabilmesi için püskürtme beton dayanımının ne kadar olması gerektiği araştırılmıştır. Yapılan analizlere göre püskürtme beton dayanımının 30 MPa alınması durumunda, İyi kaliteli Kaya sınıfında 450 m, Orta kaliteli Kaya sınıfında 310 m, Zayıf kaliteli Kaya sınıfında ise 200 m kazı derinliğinde püskürtme betonda yenilmeler meydana gelmektedir. Bu derinliklerden sonra destek sisteminin duraylı kalabilmesi için püskürtme beton dayanımının artırılması gerekmektedir. Püskürtme beton dayanımı 40 MPa'ya çıkarıldığında, İyi kaliteli Kaya sınıfında 530 m, Orta kaliteli Kaya sınıfında 420 m ve Zayıf kaliteli Kaya sınıfında ise 260 m kazı derinliğine kadar destek elemanlarında yenilme meydana gelmemektedir. İyi kaliteli kaya sınıfında 20 MPa dayanımlı püskürtme beton için yapılan analizlerde, 410 m örtü kalınlığına kadar destek sisteminde yenilme meydana gelmemektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, kazı derinliğinin artması sonucunda, destek sistemlerinin yenilmemesi için püskürtme beton dayanımının artırılması veya bir alt kaya sınıfı için önerilen destek sistemlerinin seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kazı derinliği, Püskürtme beton dayanımı, RMR sınıflama sistemi, FEM analizi

### Abstract

Choosing appropriate and reliable support systems is one of the most important factors affecting cost and security in tunneling. The empirical rock classification methods proposed by different researchers provide great convenience in selecting the support type. Another method used in this regard is numerical analysis. With the aid of the numerical analyses, analyzing the support system empirically obtained helps to determine more reliable and economic support types. In this study, numerical models were developed using Finite Elements Method (FEM) to investigate the relationship between the strength of shotcrete and the excavation depth for the different rock classes proposed by RMR<sub>89</sub>. Different excavation depths for Weak, Fair and Good rock masses are taken into account in the modeling. Depending on the increase in depth of excavation, it has been researched how much the strength of the shotcrete must be so that the support system can continue to support without being yielded. According to the evaluated models, when the shotcrete strength is assumed as 30 MPa, the elements of shotcrete was started to yielded at 200 m depth for the weak rock mass, 310 m depth for the fair rock mass and 450 m depth for the good rock mass. After reaching the mentioned depths, it is necessary to increase the strength of the shotcrete in order to keep the support system stable. Once the shotcrete strength is increased to 40 MPa, there was not failure in the support elements up to the excavation depth of 530 m in the good rock mass, 420 m for fair rock mass and 260 m for the weak rock mass. The support system was determined stable up to 410 m overburden in the evaluated analyses for 20 MPa strengthen shotcrete. In this study, it is revealed that, the increase in depth of excavation indicates that the strength of the shotcrete must be increased to avoid instabilities of the support systems or that the support systems recommended for a lower rock class should be selected.

**Keywords:** Excavation depth, Numerical modeling, RMR classification system, Shotcrete strength

<sup>\*a</sup> Zülfü GÜROCAK; zgurocak@gmail.com; Tel: (0532) 355 36 47; orcid.org/0000-0002-1049-8346

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1019-5249

## 1. Giriş

Tünelcilikte maliyet üzerindeki en önemli parametrelerden birisi, tünelde kullanılacak olan destek sistemlerinin çeşididir. Bu parametre kazı sırasında geçilecek birimlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Tünel güzergâhındaki birimlerin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenebilmesi ise tünel güzergâhı boyunca sondaj ve yüzey çalışmalar ile mümkündür. Tünelcilikte ön destek sistemlerinin saptanması amacıyla farklı araştırmacılar tarafından birçok kaya kütle sınıflama sistemi önerilmiştir (Terzaghi, 1946; Lauffer, 1958; Deere, 1964; Wickham vd., 1972; Bieniawski, 1989; Barton vd., 1974; Palmström, 1995). Önerilen bu sistemler zaman zaman revize edilerek günümüzdeki halini almıştır.

Terzaghi (1946) tarafından önerilen sınıflama sistemi 35 yıldan fazla bir süre etkili olarak kullanılmıştır. Lauffer (1958) ise, Stini (1950) tarafından yapılan bir çalışmadan esinlenerek, destek sisteminin çeşidi ve miktarını tünel genişliği ve desteksiz durma süresine bağlı olarak belirlemeye çalışmıştır. Deere (1964) sondaj karotlarından belirlenebilen Kaya Kalite Göstergesi (RQD) parametresini kullanarak bir sınıflama önermiştir. Wickham vd. (1972) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen kaya yapısı değerlendirmesi (RSR) kavramı, sınıflandırma parametrelerinin nispi önemini ölçmek için yapılan ilk sınıflandırma sistemidir. Bieniawski (1989) tarafından önerilen Kaya Kütle Puanlama (RMR) ve Barton vd. (1974) tarafından önerilen Kaya Kütle Kalitesi (Q) sistemleri birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmişlerdir.

Bu sınıflama sistemlerinin ikisi de kaya bulunu ve püskürtme beton gibi modern tünel güçlendirme yöntemlerinin seçimini sağlayacak niceliksel veriler sağlamaktadırlar. Kaya Kütle İndeksi (RMi) sınıflama sistemi Palmström tarafından 1995 yılında, Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) ise ilk defa Hoek vd. (1995) tarafından önerilmiştir. Q, RMR, RMi ve GSI sistemleri zaman içinde revize edilerek günümüzdeki şeklini almışlardır.

Ayrıca, destek tipinin kazı sırasında belirlenmesinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) sistemi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metotta diğer sistemler gibi kesin önerilmiş destek elemanları yerine kullanılmalı gereken destek elemanlarının türü belirtilmiş olup, destek elemanı sistematigi uygulayıcılar tarafından belirlenmektedir.

## 2. Tünelcilikte Destek Sistemlerinin Görgül Olarak Belirlenmesi

Tünelcilikte ön destek sistemlerinin belirlenmesinde temeli puanlama metoduna dayanan RMR, Q ve RMi sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sınıflamalarda puanlamalar genel olarak kaya malzemesinin mekanik özellikleri, süreksizliklerin özellikleri ve su durumuna göre yapılmakta ve elde edilen sonuca göre ön destek sistemi belirlenmektedir. Yaygın olarak kullanılan bu sistemlerinin avantajları yanında dezavantajları da vardır.

Bu görgül sınıflama sistemlerinin avantajları maddeler halinde sıralanacak olursa:

- Kaya kütleleri sınıflandırılırken, girilen veriler sistematik olarak tanımlandığından saha araştırmalarının kalitesi daha da artmaktadır.
- Bu sınıflamalarda nicel bir değerlendirme yapıldığından kişisel değerlendirmelere kıyasla daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.
- Sınıflandırma, her kaya kütlelerinin kilit parametreleri için bir kontrol listesi oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle, kaya kütlelerinin tanımlanması sürecini yönlendirmektedir.
- Sınıflandırma, tasarım amaçlı nicel bilgilerle sonuçlanmakta ve bir proje üzerinde daha iyi mühendislik kararı ve etkili iletişim imkânı sağlamaktadır (Bieniawski, 1993).
- Nicel bir sınıflandırma, belirli bir projede sağlıklı mühendislik yargısı için uygun ve etkili iletişim sağlamaya yardımcı olmaktadır (Hoek, 2007).
- Kaya kütlelerinin kalitesi ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler kaya kütlelerinin deformasyon, dayanım veya şişme özelliklerini belirlemek ve tahmin etmek için de kullanılabilirlerdir.

Dezavantajları bakımından ele alındığında;

- Tek bir sınıflama sisteminden elde edilen sonuçların diğer sistemler ile karşılaştırmadan kullanılması, analitik ve gözlemsel tasarım metodlarını göz ardı etmekte ve projedeki olası duraylılık problemlerini önleyememektir.
- Kaya kütleleri sınıflama sistemlerinin, üzerinde geliştirildikleri veri tabanından kaynaklanan sınırlamaların tam olarak anlaşılmasından önce kullanılması durumunda güvenilir sonuçlar elde edilememektedir (Bieniawski, 1993).
- Elde edilen sonuçlarının yanlış değerlendirilmesi veya kullanılması gerçekçi

olmayan destek seçiminin yapılmasına neden olabilmektedir.

- Sınıflandırma sistemlerinin yardımıyla belirlenen destek sisteminin gerçekçiliğinin, uygulamaya geçilmeden önce test edilememesi zorluklara veya duraylılık problemlerine yol açabilmektedir.
- Kaya kütle sınıflama sistemleri tarafından önerilen destek elemanlarına (püskürtme beton, kaya bulonu, vb) ait teknik özelliklerin (püskürtme beton dayanımı, kaya bulonu çapı ve dayanımı) tanımlanmamış olması nedeniyle tasarım sırasında güçlüklerle karşılaşabilmektedir.

Ön destek tasarımının uygulama aşamasındaki güvenilirliği, son yıllarda sıklıkla kullanılan sayısal analizler yardımıyla test edilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Geniş vd., 2007; Gürocak vd., 2007; Gürocak, 2011; Kaya vd., 2011; Kaya ve Bulut, 2013, Kanık vd., 2015; Yalçın vd., 2016, Kaya ve Sayın, 2017) RMR, Q ve R<sub>Mi</sub> gibi görgül sınıflamalar ve sayısal analizler birlikte kullanılmış ve destek tasarımında ampirik ve sayısal yöntemlerin bütünleştirilmesinin önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Görgül olarak belirlenen ön destek sistemlerinin güvenilirliğinin sayısal yöntemler ile analiz edilmesi, daha gerçekçi destek sistemlerinin belirlenebilmesine imkân tanımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, görgül sistemler tarafından önerilen püskürtme beton dayanımının derinlikle olan ilişkisini ortaya koymaktır. Nitekim görgül sistemler destek sistemi olarak püskürtme betonu önermekte ancak uygulanacak püskürtme betonun dayanımı hakkında herhangi bir öneride bulunmamaktadır. Bu nedenle, uygulama sırasında genellikle 30 MPa dayanıma sahip püskürtme beton kullanılmaktadır. Ancak, duraylılığı sağlamak amacıyla artan kazı derinliği ile birlikte püskürtme beton dayanımının da artırılması gerekliliği düşünüldüğünde, kazı derinliği ile püskürtme beton dayanımı arasındaki ilişkinin önemli olduğunu söylemek mümkündür.

Günümüze kadar püskürtme beton tasarımı konusunda farklı araştırmacılar tarafından yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır (Wood vd., 1993; Kirsten, 1992; Beauprè vd., 2005; Badr ve Brooks, 2008; Patel vd., 2012; Barros vd., 2014; NIOSH, 2014; Zhang, 2014; Mohajerani vd., 2015; Badr, 2016). Bu çalışmalar genel olarak püskürtme betonun tasarımı ve dayanımının artırılması konusundadır. Artan kazı derinliği ile püskürtme betonun dayanımının ne kadar olması

gerektiği konusunda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, kazı derinliğinin püskürtme beton dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sayısal analizlerden yararlanılmış ve bu etki ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, en yaygın olarak kullanılan görgül yöntemlerden birisi olan RMR<sub>89</sub> sistemine ait kaya sınıfları dikkate alınmıştır.

Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Sınıflamaya ait parametreler ve bu parametrelere ait puanların belirlenmesi konusunda yine Bieniawski tarafından 1989 yılında yapılan öneriler ile modifiye edilen RMR sınıflaması (RMR<sub>89</sub>), son olarak 2014 yılında yapılan değişiklikler (Celada vd., 2014) ile son halini almıştır. Yaygın olarak kullanılması ve kabul edilmiş olması sebebiyle bu çalışmada RMR sisteminin 1989 versiyonu tercih edilmiştir.

RMR<sub>14</sub>'ün önerilmesinden önce uzunca bir süre kullanılan RMR<sub>89</sub> sistemi aşağıdaki girdi parametrelerini kullanmaktadır;

- Kayacın tek eksenli basınç dayanımı veya nokta yükü dayanım indeksi,
- Kaya kalitesi göstergesi (% RQD)
- Süreksizlik ara uzaklığı
- Süreksizliklerin durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- Yeraltı suyu durumu

RMR<sub>73</sub> versiyonunda dayanım, RQD ve süreksizlik ara uzaklığı için yapılan değerlendirmeler aralıkların sınır değerlerini de kapsamaktaydı ve bu durum uygulamada hatalara sebep olmaktadır. Bu üç parametrenin daha hassas puanlanabilmesi için Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerini esas alınarak çeşitli abaklar geliştirilmiştir.

RMR<sub>89</sub>'a göre kaya kütlelerinin temel RMR puanı belirlendikten sonra süreksizlik düzeltmeleri yapıp nihai RMR puanı elde edilmektedir. Daha sonra düzeltilmiş RMR puanı ile kaya sınıfı ve ön destek önerileri Tablo 1'den belirlenmektedir.

### 3. Sayısal Modellemeler

Bu çalışmada, analiz modelleri oluşturulurken Sonlu Elemanlar Yönteminden (FEM) yararlanılmıştır.

**Tablo 1.** RMR<sub>89</sub> sistemine göre kaya kütle sınıfları için önerilen birincil destekler (Bieniawski, 1989).

BİRİNCİL DESTEK				
Kaya Kütle Sınıfı	Kazı	Kaya sapmaları * (10 m genişlikteki tünel için uzunluk)	Püskürtme beton	Çelik destek
I	Tam kesit, 3 m ilerleme.	Bir miktar kaya saplaması haricinde genellikle destek gerektirmez.		
II	Tam kesit, 1.0-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 m'inde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5 m aralıklı.	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm.	Gerekmez
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli.	3-4 m uzunlukta sistematik saplamalar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2 m aralıklı.	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm.	Gerekmez
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.0-1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar, gerekli destek.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 100-150 mm ve yan duvarlarda 100 mm.	Gereken yerde 1.5 m aralıklı yer yer hafif traversler.
V	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlamadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynaya 50 mm.	Çelik iksalı, 0.75 m aralıklı orta-ağır traversler.

Bu yöntemin temeli, karmaşık bir problemi basit ve küçük parçalara bölerek çözme esasına dayanmaktadır. Böylece, kesin sonuçtan ziyade yaklaşık bir sonuç elde edilebilmekte ve elde edilen yaklaşık sonucun üzerinde çalışarak kesin bir sonuç elde etmek mümkün olmaktadır. Rocscience (2011) tarafından geliştirilmiş olan Phase<sup>2</sup> v8.0 (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) bilgisayar programı kullanılarak geliştirilen modellemelerde 6 düğümlü üçgen sonlu elemanlar kullanılmış ve tünelin 5 katı genişliğinde bir kaya ortamı oluşturulmuştur. Modellemeler, 10 m genişliğinde, 7 metre yüksekliğinde, tek tüp, at nalı kesitindeki zayıf, orta ve iyi kaliteli kaya sınıfındaki kaya kütleleri için RMR<sub>89</sub> sisteminin önerdiği ön destek sistemleri için farklı derinliklerde yapılmıştır (Şekil 1).

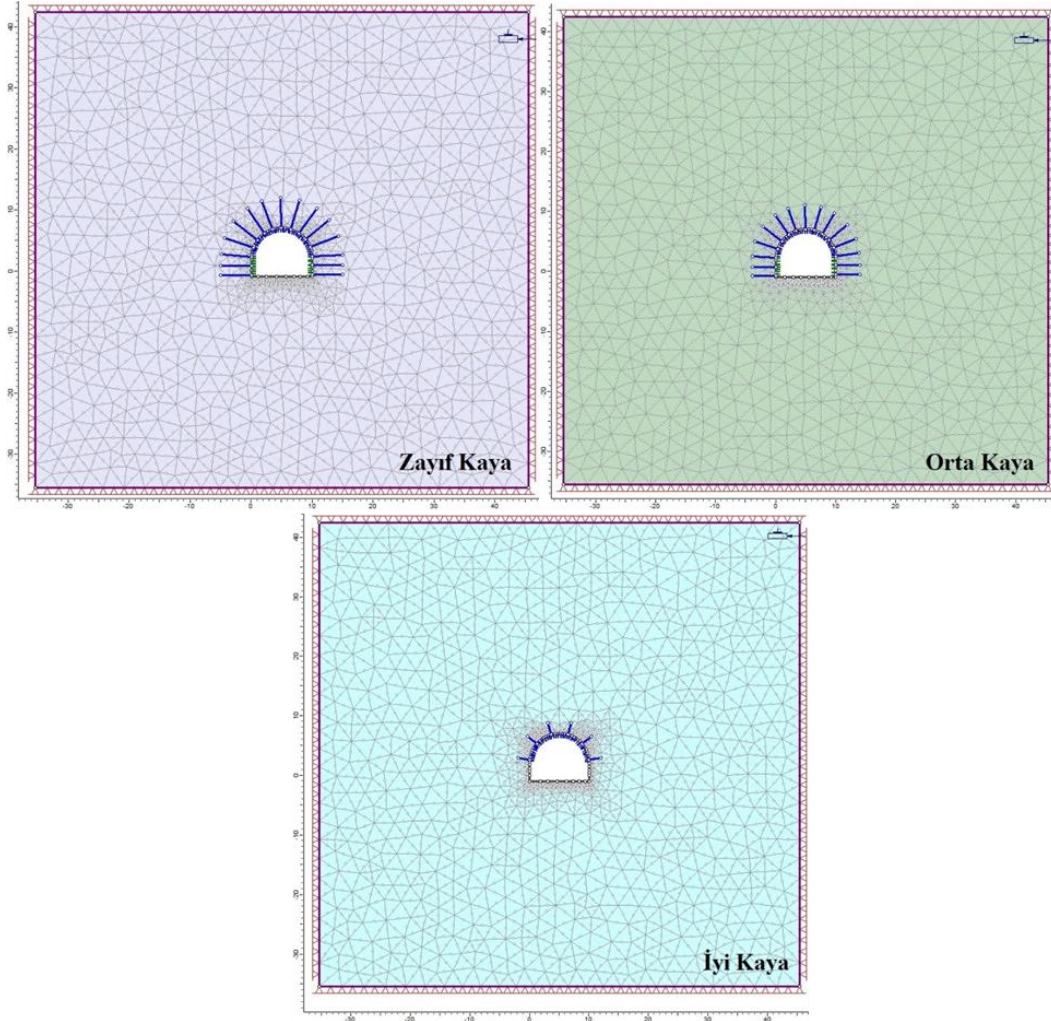
Buradaki amaç, kazıdan sonra uygulanan püskürtme betonun yenilmeden işlevini sürdürebilmesi için değişen derinliklerde hangi dayanıma sahip olması gerektiğinin belirlenebilmesidir. Analizlerde, maksimum toplam yer değiştirme ( $U_t$ ) ve plastik zon kalınlığındaki ( $T_{pl}$ ) değişimler dikkate alınmış ve 10 m örtü kalınlığından başlayıp farklı kaya sınıfları için 550 m derinliğe kadar yapılmıştır. Her bir derinlikte zayıf ve orta kaliteli kayalar için beton dayanımının hem 30 MPa hem de 40 MPa olduğu, iyi kaya için ise beton dayanımının 20 MPa, 30 MPa ve 40 MPa olduğu durumlara göre sayısal analizler yapılmıştır. Sayısal analizlerde, derinlik arttıkça zayıf ve orta kayada püskürtme beton dayanımının yetersiz kalma olasılığının yüksek olmasından dolayı duraysızlık durumunda beton dayanımı 40 MPa'ya yükseltılarak yeni analizler yapılmıştır. 30 MPa'lık püskürtme beton

dayanımının iyi kaya için belli bir derinliğe kadar gereğinden yüksek olabilmesi olasılığından dolayı 20 MPa dayanımlı püskürtme beton kullanılarak analizler yapılmıştır. 30 MPa dayanıma sahip püskürtme betonun referans değer olarak alınmasının sebebi ise, bu değer için yapılan çalışmalar (Celada vd., 2014) ve teknik şartnamelerde (KGM, 1997) istenen püskürtme beton dayanımı olarak kabul edilmesidir.

### 3.1. Farklı Kaya Sınıfları ve Derinlikler için Yapılan Sayısal Modellemeler

Modellemeler yapılırken, kaya türü olarak magmatik kaya ve RMR<sub>89</sub> sistemine göre zayıf (IV), orta (III) ve iyi (II) kaya sınıfına ait kaya kütleleri seçilmiştir. Sadece Zayıf, Orta ve İyi kaliteli kaya sınıflarının seçilmesinin sebebi, Çok İyi kaliteli kaya kütlelerinde püskürtme betonun destekten ziyade emniyet için kullanılması, Çok Zayıf kaliteli kaya kütlelerinde ise çelik iksa desteğinin ön planda olması ve püskürtme betonun ikinci planda kaldığının düşünülmesidir.

Sayısal analizlerde girdi parametresi olarak kullanılacak veriler ise fay ve kıvrım içermeyen (fay ve kıvrımlanma olan bölgelerdeki değişken gerilme dağılımlarını göz ardı etmek amacıyla), bloklu ve çok bloklu kayaların Hoek-Brown sabitleri, GSI değerleri, Poisson oranları, kaya malzemesinin ve kaya kütlelerinin deformasyon modülleri Hoek vd. (1995) tarafından verilen ve RocLab (Rocscience, 2006) programı yardımıyla hesaplanan değerler kullanılarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlıklar ( $\gamma$ ) her bir kaya kütle için 26 kN/m<sup>3</sup>, tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ( $\sigma_c$ ) ise her bir kaya sınıfı için ortalama değerler olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1. Zayıf, Orta ve İyi kalitedeki kaya kütleleri için oluşturulan modeller.

GSI,  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  için artık değerler Cai vd. (2007) tarafından önerilen eşitlikler ile belirlenmiştir.

$$GSI_r = GSI \cdot e^{-0.0134GSI} \quad (1)$$

$$m_{br} = m_i \cdot e^{\left(\frac{GSI_r - 100}{28}\right)} \quad (2)$$

$$s_r = e^{\left(\frac{GSI_r - 100}{9}\right)} \quad (3)$$

$$a_r = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI_r/15} - e^{-20/3} \right) \quad (4)$$

Tüm kaya kütle özellikleri ve sayısal analizlerde kullanılan girdi parametreleri ve bu parametrelere ait değerler Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, kullanılan destek elemanlarının teknik özellikleri de Tablo 3’de sunulmuştur.

Tünel kazı kotundaki düşey ( $\sigma_v$ ) ve yatay ( $\sigma_h$ ), gerilmeler, her derinlik için ayrı olarak hesaplanmıştır. Düşey gerilme ( $\sigma_v$ ) değerleri,

Fenner (1938) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_v = \gamma \cdot H \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

$\gamma$ : Birim hacim ağırlık ( $kN/m^3$ ),

$H$ : Örtü kalınlığı (m) dir.

Yatay gerilme ( $\sigma_h$ ) ise çok değişken ve belirlenmesi zor olan bir parametredir. Yatay gerilmeyi belirleyebilmek için Sheorey vd. (2001) tarafından önerilen eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v + \frac{\beta E_m G}{1-\nu} (H+1000) \quad (6)$$

Bu eşitlikte;

$\beta$ : Doğrusal termal genleşme katsayısı ( $8 \times 10^{-6}/^\circ C$ ),

$G$ : Jeotermal gradyan ( $0.024 \text{ }^\circ C/m$ ),

$\nu$ : Poisson oranı,

$H$ : Örtü Kalınlığı (m)

$E_m$ : Kaya kütleinin deformasyon modülü (GPa).



İlk aşamada, sayısal analizler Zayıf, Orta ve İyi kaliteli kaya sınıfları için desteksiz duruma göreyapılmıştır. Daha sonra RMR<sub>89</sub> tarafından önerilen ve Tablo 1’de verilen destek sistemleri seçilmiş ve her 10 m’de bir sayısal analizler yapılmıştır. Ancak, sayısal analizlerde, belli bir derinlikten sonra birbirlerine yakın değerler elde edildiğinden dolayı 10 m örtü kalınlığından başlayıp sırasıyla 50 m ve katlarına karşılık gelen derinlikler için yapılmıştır.

**Tablo 2.** Sayısal analizlerde kullanılan girdi parametreleri

	Zayıf Kaya	Orta Kaya	İyi Kaya
$\sigma_v$ , MPa	0.26-13.78	0.26-11.7	0.26-11.7
$\sigma_n$ , MPa	0.08-3.89	0.1-4.55	0.09-3.91
$\sigma_{ci}$ , MPa	30	75	150
$E_i$ , GPa	12000	27500	55000
$\nu$	0.28	0.25	0.22
$\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	26	26	26
$E_m$ , GPa	7000	14000	32000
GSI	43	55	70
$m_i$	18	20	25
$m_b$	2.351	4.009	8.563
$m_{br}$	1.199	1.439	1.8701
$s$	0.0018	0.0067	0.0357
$s_r$	0.00022	0.00028	0.00031
$a$	0.509	0.504	0.501
$a_r$	0.533	0.529	0.527

Yapılan sayısal analizlerin sonuçlarına göre, püskürtme beton dayanımı 30 MPa olarak alındığında Zayıf kaliteli kaya sınıfı için 200 m’den sonra püskürtme betonda yenilmeler ortaya

çıkılmaktadır (Şekil 2, Tablo 4). Orta kaliteli kaya sınıfı için ise 30 MPa dayanımlı püskürtme betonlu destek sistemi 310 m derinlikte, İyi kaya sınıfında ise 450 m derinlikte yenilmeye başlamıştır (Şekil 2, Tablo 5 ve 6).

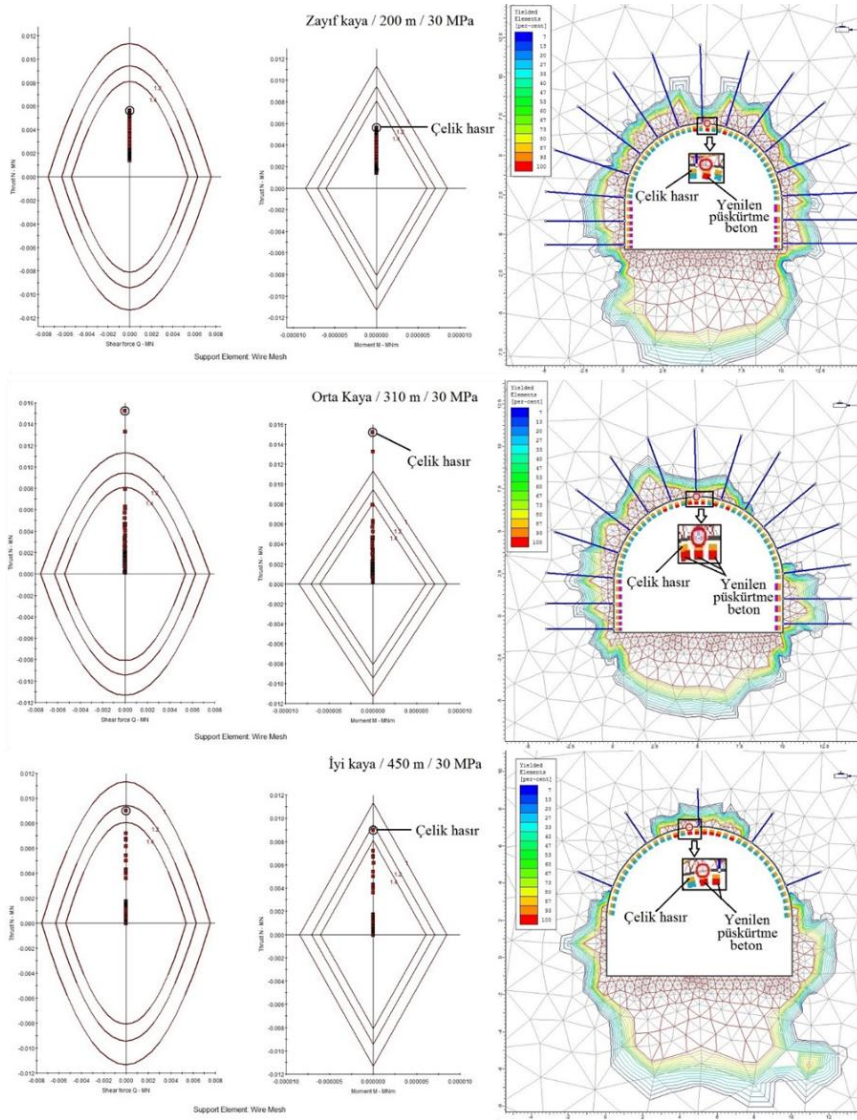
Zayıf kaliteli kaya sınıfında püskürtme beton dayanımının 40 MPa olarak alınması durumunda, püskürtme betondaki yenilmeler 260 m’den itibaren başlamaktadır. Orta kaliteli kaya sınıfında püskürtme betondaki yenilmeler 420 m’den sonra, iyi kaliteli kaya sınıfında ise 530 m’den sonra başlamaktadır (Şekil 3, Tablo 4, 5 ve 6).

Püskürtme betonda meydana gelen yenilmeler kırmızı renk ile gösterilmiş olan bölgelerde meydana gelmektedir. Yenilen bölgelerde çelik hasırların güvenlik katsayılarının destek kapasite diyagramlarında 1 in üstünde olması, yenilmelerin püskürtme beton dayanımının yetersizliğinden kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 2 ve 3). Destek kapasite diyagramlarında daire içine alınmış olan destek elemanları, tünel kesitinde daire içine alınmış yenilen püskürtme betonla birlikte hareket eden çelik hasırı temsil etmektedir.

Ayrıca İyi kaliteli kaya sınıfında sığ derinliklerde 30 MPa püskürtme beton dayanımının fazla olabileceği düşünülerek 20 MPa dayanımlı püskürtme beton için de sayısal analizler yapılmış ve sonuç olarak püskürtme betondaki yenilmelerin 410 m’den sonra başladığı görülmüştür (Şekil 4). Tablo 7’de verilen değerlere bakıldığında, gerek plastik zon kalınlıkları gerekse toplam yer değiştirme değerlerinde yenilme olan derinliğe kadar bir farklılık olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla, İyi kaliteli kaya sınıfı için yaklaşık 410 metre derinliğe kadar 20 MPa’lık püskürtme beton dayanımı yeterli olmaktadır.

**Tablo 3.** Sayısal analizlerde kullanılan destek elemanlarının karakteristik özellikleri

Özellikler	Püskürtme beton	Kaya bulonu	Çelik hasır
Elastisite modülü, (GPa)	30	200	200
Poisson oranı,	0.2	-	0.35
Tek eksenli basınç dayanımı, (MPa)	30	-	500
Artık tek eksenli basınç dayanımı, (MPa)	3.0	-	-
Çekme dayanımı, (MPa)	-	-	500
Artık dayanımı, (MPa)	-	-	-
Çekme kapasitesi (MN)	-	0.2	-
Artık Çekme kapasitesi (MN)	-	0.02	-
Tür	-	Ø20 mm SN	Ø6.5 / 150x150 mm



**Şekil 2.** 30 MPa’lık püskürtme betonda çelik hasır destek kapasitesi grafikleri ve plastik zon yayılımı (1-1.2-1.4 güvenlik katsayıları ile belirlenmiş çelik hasırın güvenlik zarflardır.)

**Tablo 4.** Zayıf kaliteli kaya kütlesi için sayısal analizlerden elde edilen  $T_{pl}$  ve  $U_t$  değerleri

ZAYIF KAYA	Desteksiz				30 MPa dayanımlı püskürtme beton için				40 MPa dayanımlı püskürtme beton için			
	Tavan		Duvar		Tavan		Duvar		Tavan		Duvar	
Derinlik (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)
10	1.92	0.00078	1.565	0.000975	0	0.0007	1.375	0.000975	0	0.00063	1.34	0.000975
50	2.31	0.00135	1.81	0.00165	0	0.0012	1.71	0.0015	0	0.00105	2.37	0.0015
100	3.48	0.0035	3.36	0.00375	1.51	0.0024	2.67	0.0036	1.41	0.002	2.61	0.0036
150	6.05	0.0068	3.84	0.0068	2.99	0.004	2.82	0.0064	2.28	0.0032	2.61	0.0064
200	6.22	0.0105	3.43	0.0105	3.08	0.0054	2.54	0.0081	2.85	0.0045	2.54	0.0081
250	7.78	0.0135	3.61	0.0135	5.73	0.009	2.58	0.0105	2.99	0.006	2.37	0.009
300	7.81	0.016	3.65	0.016	6.85	0.012	2.61	0.014	4.75	0.01	2.59	0.012
350	7.85	0.02	4.1	0.02	7.05	0.014	2.68	0.016	6.92	0.015	2.64	0.0175
400	8.67	0.024	4.58	0.024	8.67	0.021	2.78	0.021	8.51	0.018	2.64	0.021
450	9.64	0.03	3.78	0.027	9.64	0.0245	2.78	0.0245	8.76	0.021	2.64	0.024

**Tablo 5.** Orta kaliteli kaya kütlesi için sayısal analizlerden elde edilen  $T_{pl}$  ve  $U_t$  değerleri

ORTA KAYA	Desteksiz				30 MPa dayanımlı püskürtme beton için				40 MPa dayanımlı püskürtme beton için			
	Tavan		Duvar		Tavan		Duvar		Tavan		Duvar	
	Derinlik (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	
10	0	0.00044	0.76	0.00056	0	0.0004	0.39	0.00056	0	0.0004	0.36	0.00056
50	0	0.000585	1.26	0.000675	0	0.00054	0.82	0.000675	0	0.000495	0.75	0.000675
100	1.39	0.00124	1.37	0.00143	0	0.00108	2.15	0.00135	0	0.00099	2.15	0.00135
150	3.47	0.00275	2.59	0.003	0	0.0018	2.21	0.0022	0	0.0016	2.21	0.0022
200	2.71	0.003	2.15	0.0035	0.98	0.00225	2.28	0.00325	0.97	0.00225	2.28	0.00325
250	4.23	0.0049	2.49	0.00525	1.24	0.003	2.47	0.0042	0.98	0.0027	2.33	0.0039
300	4.29	0.00585	2.98	0.0063	2.71	0.004	2.49	0.0056	2.59	0.0036	2.41	0.0056
350	5.56	0.0078	3.03	0.0078	2.96	0.005	2.55	0.007	2.79	0.0045	2.47	0.007
400	5.79	0.00845	3.04	0.0091	3.41	0.006	2.81	0.0084	2.82	0.00495	2.53	0.0077
450	5.13	0.0091	3.11	0.0098	3.16	0.0077	2.98	0.0098	2.89	0.0064	2.72	0.0096

**Tablo 6.** İyi kaliteli kaya kütlesi için sayısal analizlerden elde edilen  $T_{pl}$  ve  $U_t$  değerleri

İYİ KAYA	Desteksiz				30 MPa dayanımlı püskürtme beton için				40 MPa dayanımlı püskürtme beton için			
	Tavan		Duvar		Tavan		Duvar		Tavan		Duvar	
	Derinlik (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	
10	0	0.00025	0	0.0003	0	0.00022	0	0.0003	0	0.0002	0	0.0003
50	0	0.00025	0	0.0003	0	0.00024	0	0.0003	0	0.00022	0	0.0003
100	0	0.000495	0	0.000585	0	0.00045	0	0.00059	0	0.00045	0	0.00059
150	0	0.00078	1.05	0.00091	0	0.000715	1.05	0.00091	0	0.00065	1.05	0.00091
200	0	0.00102	1.05	0.00119	0	0.000935	1.05	0.00119	0	0.000935	1.05	0.00119
250	0	0.0012	1.16	0.0015	0	0.0012	1.16	0.0015	0	0.00105	1.16	0.0015
300	0	0.0015	1.2	0.0018	0	0.00135	1.2	0.0018	0	0.00135	1.2	0.0018
350	0	0.00165	2.3	0.0021	0	0.00165	2.3	0.0021	0	0.0015	2.3	0.0021
400	1.39	0.00275	2.36	0.0033	0	0.002	2.36	0.0024	0	0.0018	2.3	0.0024
450	2.18	0.003	2.36	0.004	1.42	0.0033	2.36	0.0044	0	0.0024	2.3	0.0039
530									1.4	0.003	2.8	0.0039

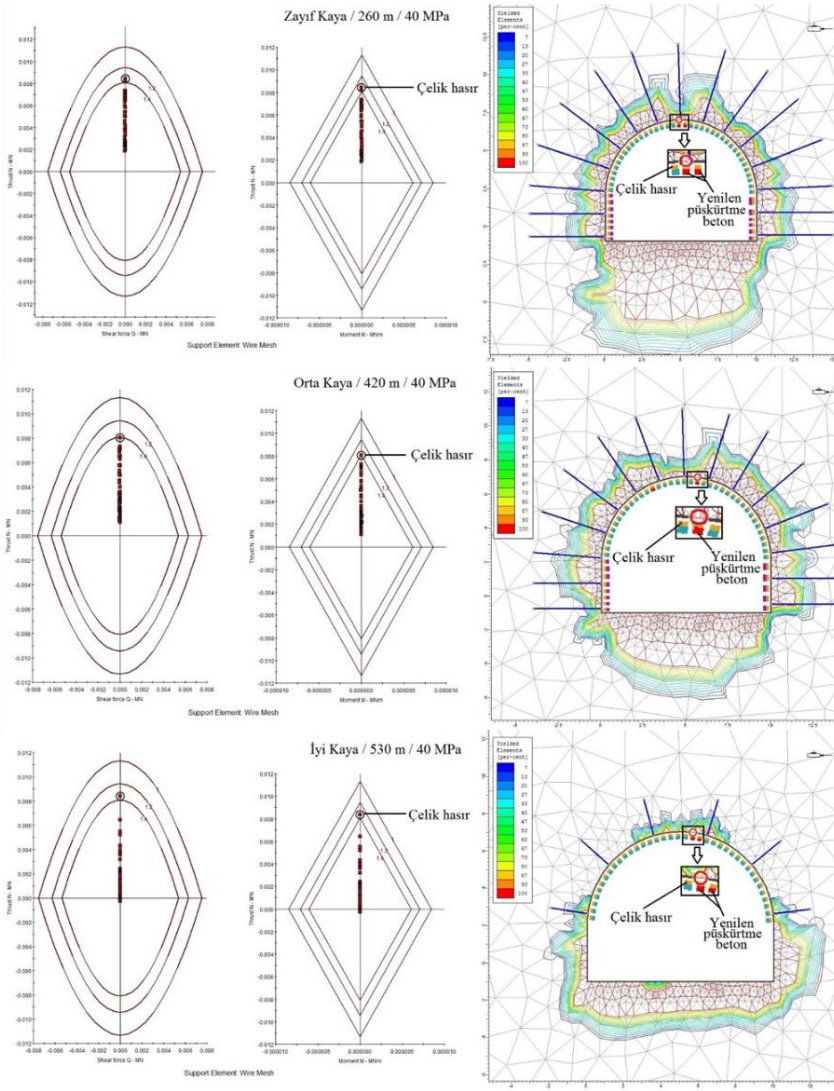
#### 4. Sonuçlar

Püskürtme beton dayanımının derinlikle ilişkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, Zayıf, Orta ve İyi kaliteli kaya kütleleri seçilmiştir. Bu kaya sınıflarında sınıflarında püskürtme beton en etkili destek elemanı olmanadır  $RMR_{89}$  için çok zayıf kaliteli kayalarda çelik iksa desteğinin ön planda olması ve çok sağlam kaliteli kayalarda ise püskürtme betonun desteklemekten ziyade emniyet için uygulanmasından dolayı bu iki sınıf göz ardı edilmiştir.

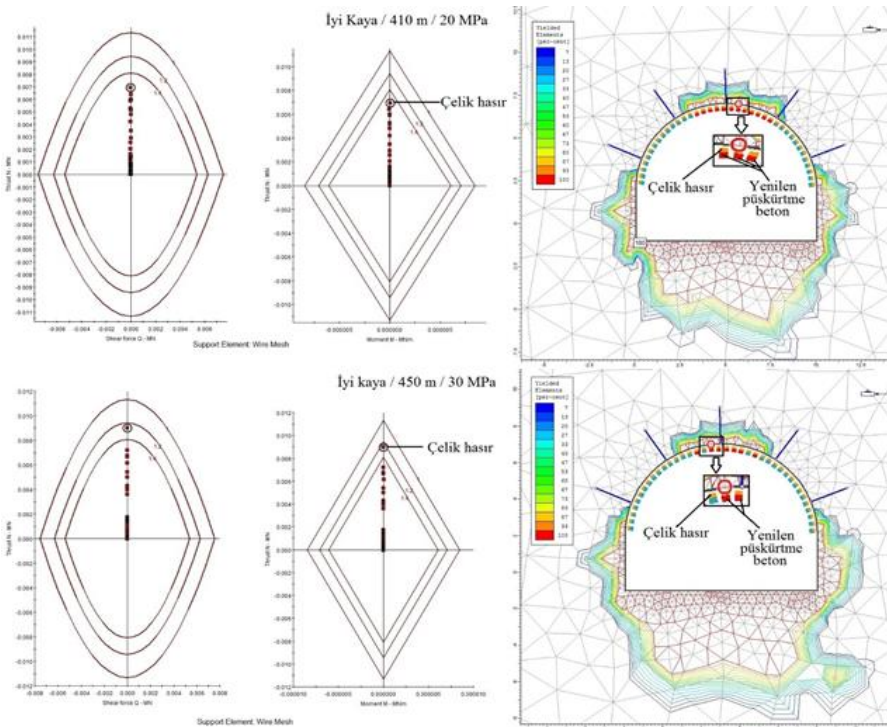
İyi kaliteli kaya kütleleri için yapılan analizlerde 30 MPa dayanımlı püskürtme beton 480 m örtü kalınlığına kadar yenilmeden desteklemeye devam etmektedir. Püskürtme beton dayanımı 40 MPa'a

çıkartıldığında 530 m örtü kalınlığına kadar bu destek sistemi duraylı kalabilmektedir. İyi kaliteli kaya sınıfı için ise 530 m örtü kalınlığından sonra bir alt kaya kütle sınıfının destek sistemini kullanmak yenilmelerin önüne geçmektedir. İyi kaliteli kaya için elde edilen diğer bir sonuç ise, püskürtme beton dayanımı 20 MPa değerine düşürüldüğünde 410 m örtü kalınlığına kadar destek sisteminde yenilme olmamasıdır.

Orta kaliteli kaya kütle sınıfı için yapılan analizlerde, 30 MPa dayanımlı püskürtme betonda, 310 m örtü kalınlığına kadar yenilme olmamış, beton dayanımı 40 MPa'a çıkartıldığında ise 420 m örtü kalınlığına kadar yenilmeden kalabilmiştir.



**Şekil 3.** 40 MPa'lık püskürtme betonda çelik hasır destek kapasitesi grafikleri ve plastik zon yayılımı (1-1.2-1.4, güvenlik katsayıları ile belirlenmiş çelik hasırın güvenlik zarflardır).



**Şekil 4.** 20 MPa'lık püskürtme betonda Çelik hasır destek kapasitesi grafikleri ve plastik zon yayılımı (1-1.2-1.4, güvenlik katsayıları ile belirlenmiş çelik hasırın güvenlik zarflardır).

**Tablo 7.** İyi kaliteli kaya sınıfında 20 MPa dayanımlı püskürtme betonun uygulanması durumunda sayısal analizlerden elde edilen  $T_{pl}$  ve  $U_t$  değerleri.

RMR (Good) 20 MPa	Tavan		Duvar	
	Derinlik (m)	$T_{pl}$ (m)	$U_t$ (m)	$T_{pl}$ (m)
10 m	0	0.00022	0	0.00028
50 m	0	0.00024	0	0.0003
100 m	0	0.000495	0	0.000585
150 m	0	0.000715	1.05	0.00091
200 m	0	0.000935	1.05	0.00119
250 m	0	0.0012	1.16	0.0015
300 m	0	0.00135	1.2	0.0018
350 m	0	0.00165	2.3	0.0021
400 m	0	0.002	2.36	0.0024
410 m	1.52	0.0033	2.5	0.0044

Analizlerden elde edilen diğer bir sonuç ise 420 m örtü kalınlığından sonra beton dayanımını artırmak yerine kaya sınıfı bir derece daha düşürmek tünelin duraylılığı için yeterli olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlere göre, zayıf kaliteli kaya kütlelerine  $RMR_{89}$  destek sistemi 30 MPa'lık püskürtme beton dayanımı ile uygulandığında püskürtme betonda yenilmeler 200 m örtü kalınlığında başlarken, püskürtme beton dayanımı 40 MPa'a çıkartıldığında püskürtme beton 260 m örtü kalınlığında yenilmeye başlamıştır. Ayrıca, beton kalınlığını arttırmanın da bir çözüm olabileceği düşünülebilir ancak bu durumda yeni bir destek sistemi önerilmiş olacağından betonun yenildiği derinliklerin belirlenip beton dayanımını arttırma yolu seçilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, kazı derinliğinin artması ile birlikte, uygulanan destek sistemlerinin gözden geçirilmesi, destek elemanlarının dayanımlarının artırılması veya bir alt kaya sınıfına ait desteklerin kullanılması gerektiğini göstermektedir.

## 5. Kaynaklar

Badr, A., 2016. Statistical Analysis of the Variability in Shotcrete Strength, Global Journal of Researches in Engineering: E Civil And Structural Engineering, Volume 16, Issue 4.

Badr, A., ve Brooks, J.J., 2008. "Rebound and Composition of in-Situ Polypropylene Fibre-Reinforced Shotcrete," 11th 6 Intl Conf Durability of Building Materials & Components, 11DBMC, Istanbul, Turkey, 11-14 May, Vol. 1, pp. 569-576.

Barton, N.R., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, v. 6, p. 189-239.

Barros, J.A., Lourenço, L.A., Soltanzadeh, F. And Taheri, M. (2014) "Steel-fibre reinforced concrete for elements failing in bending and in shear," European Journal of Environmental and Civil Engineering, 31 18(1), pp.33-65.

Beauprè, D., Dufour, J.F., Hutter, J. ve Jolin, M., 2005. Variability of compressive Strength of Shotcrete in a Tunnel-Lining Project, Shotcrete, V. 5, No. 2, pp.22-25.

Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering classification of jointed rock masses: Transaction of the South African Institution of Civil Engineers, v. 15, p. 335-344.

Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, 251pp, New York.

Bieniawski, Z.T., 1993, Classification of rock masses for engineering: The RMR system and future trends, In: Hudson, J.A., ed., Comprehensive Rock Engineering, Volume 3: Oxford, Pergamon Press, p. 553-573, New York.

- Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaka, Y. and Minami, M., 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 4 (2), 247–265.
- Celada, B., Tardaguila, I., Varona, P., Rodriguez, A. and Bieniawski, Z.T., 2014. Innovating tunnel design by an improved experience-based RMR system. In: World Tunnel Congress, May 9th to 15th 2014, Iguassu Falls, Brazil.
- Deere, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes, Rock Mech. Rock Eng. 1, 17–22.
- Fenner, R., 1938. Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdrucks, Glückauf, 74, 32, 681-695.
- Genis, M., Basarir, H., Ozarlan, A., Bilir, E. and Balaban, E., 2007. Engineering geological appraisal of the rock masses and preliminary support design, Dorukhan Tunnel, Zonguldak, Turkey. Engineering Geology, 92, 14–26.
- Gurocak, Z., Solanki, P. and Zaman, M.M., 2007. Empirical and numerical analyses of support requirements for a diversion tunnel at the Boztepe dam site, eastern Turkey. Engineering Geology. 91, 194–208.
- Gurocak, Z., 2011. Analyses of stability and support design for a diversion tunnel at the Kapıkaya dam site, Turkey, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 41–52.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. ve Bawden, W.H., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam, Balkema
- Hoek, E., 2007, Practical rock engineering, RocScience.
- ISRM, (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, Pergamon Press, London, 211 s.
- Kaya, A., Bulut, F., Alemdag, S., ve Sayın, A. (2011). Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study in Turkey. Scientific Research and Essays, 6(31), 6566–6583.
- Kaya, A. ve Bulut, F. (2013). Stability analyses of tunnels excavated in weak rock masses using empirical and numerical methods, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37(2), 103–116.
- Kaya, A., and Sayın, A. (2017) Engineering geological appraisal and preliminary support design for the Salarha Tunnel, Northeast Turkey. Bull Eng Geol Environ, DOI: 10.1007/s10064-017-1177-2
- Kanık, M., Gurocak, Z. and Alemdag, S., 2015. A comparison of support systems obtained from the RMR89 and RMR14 by numerical analyses: Macka Tunnel project, NE Turkey, Journal of African Earth Sciences, Volume 109, September 2015, 224–238.
- Kirsten, 1992. Comparative efficiency and ultimate strength of mesh- and fibre reinforced shotcrete as determined from full-scale bending tests, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Nov., 303-322.
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), 2013. NATM Uygulamalı Yeraltı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Lauffer, H., 1958, Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau: Geology Bauwesen, v. 24, p. 46-51.
- Mohajerani, A., Rodrigues, D., Ricciuti, C., ve Wilson, C., 2015. Early-Age Strength Measurement of Shotcrete, Journal of Materials, Vol 2015, pp 1-10.
- NIOSH, 2014. Shotcrete design and installation compliance testing: early strength, load capacity, toughness, adhesion strength, and applied quality,” Martin et al. edit, National Institute for Occupational Safety and Health, Publication No. 2015-107, RI 9697.
- Palmström, A., 1995. RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Ph.D. thesis, Univ. Of Oslo, Norway, 400 pp
- Patel, P.A., Desai, A.K., ve Desai, K.A., 2012. Evaluation of engineering properties for polypropylene fiber reinforced concrete, International Journal of Advanced Engineering Technology, 3(1), pp.42-45.

- Rocscience, 2006. Roclab bilgisayar programı, [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)
- Rocscience Inc, 2011. Phase<sup>2</sup> v8.0 Finite Element Analysis for Excavations and Slopes, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Sheorey, P.R., Murali, M.G., Sinha, A., 2001. Influence of elastic constants on the horizontal in situ stress. *Int. J. Rock Mech. Min.Sci.* 38 (1), pp 1211–1216.
- Stini, I., "Tunnelbaugeologie," Springer-Verlaa, Vienna, 1950, p 336.
- Terzaghi, K., 1946, Rock defects and loads on tunnel supports, in Proctor, R.V., and White, T.L., eds., *Rock tunneling with steel support*, Volume 1: Youngstown, Ohio, Commercial Shearing and Stamping Company p. 17-99.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H. R. and Skinner, E. H., 1972, Support determination based on geologic predictions, In: Lane, K.S.a.G., L. A., ed., *North American Rapid Excavation and Tunneling Conference: Chicago*, New York: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, p. 43-64.
- Wood, D.F., Banthia, N. ve Trottier, J-F, 1993. A comparative study of different steel fibres in shotcrete. In *Shotcrete for underground support VI*, Niagara Falls, 57- 66. New York: Am. Soc. Civ. Engrs
- Yalcin, E., Gurocak, Z., Ghabchi, R. ve Zaman, M, 2016. Numerical Analysis for a Realistic Support Design: Case Study of the Komurhan Tunnel in Eastern Turkey, *International Journal of Geomechanics*, Vol 16(3)
- Zhang, L. 2014, Variability of Compressive Strength of Shotcrete in a Tunnel-Lining Project. [www.shotcrete.org](http://www.shotcrete.org)

# Mekanik Özelliklere Göre Ağaç Türlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

## Predicting wood types in terms of mechanical properties using artificial neural networks

Muhammer İLKUÇAR<sup>1,a</sup>, Ali İhsan KAYA<sup>2,b</sup>, Ahmet ÇİFCİ<sup>\*3,c</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, TBMYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 15100, Burdur

<sup>2</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, TBMYO, Tasarım Bölümü, 15100, Burdur

<sup>3</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur

• Geliş tarihi / Received: 04.05.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 10.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 10.11.2017

### Öz

Mekanik özellikler malzemelerin dayanımını ve kullanım alanlarını belirleyen en önemli etkenlerdir. Bir ağaç malzemenin hangi malzeme grubunda olduğu ve hangi ağaç türü olduğu mekanik özelliklerine bakılarak bilinebilmektedir. Bu çalışmada ticareti yapılan kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *Barbata*), doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), karakavak (*Populus nigra*), ceviz (*Juglans regia*), meşe (*Quercus robur*), kestane (*Castana sativa*), sedir (*Cedrus libani*) ve çam (*Pinus*) gibi önemli bazı ağaç türlerinin mekanik özellikleri yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Bu çalışma, herhangi bir konstrüksiyon için ihtiyaç duyulan mekanik özellikleri karşılayacak ideal ağaç malzemenin tespitinde yardımcı olacaktır. Böylece bilimsel çalışmalarda ve ticarete ağaç türü ile ilgili sınıflandırmalar daha etkin bir şekilde yapılabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Ağaç türleri, Mekanik özellikler, Yapay sinir ağları

### Abstract

The mechanical properties are the most important factors determining the strength and usage areas of materials. It can be known from the mechanical properties that a wood material of which material group is in and which wood species it is. In this study, the mechanical properties of some important wood species such as alder (*Alnus glutinosa* subsp. *Barbata*), oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), black poplar (*Populus nigra*), walnut (*Juglans regia*), oak (*Quercus robur*), chestnut (*Castana sativa*), cedar (*Cedrus libani*) and pine (*Pinus*) were modelled by using artificial neural networks. This study will assist in the determination of ideal wood material that meets the mechanical properties required for any construction. Thus, classifications related to wood species can be made more effectively in scientific studies and in trade.

**Keywords:** Wood species, Mechanical properties, Artificial neural networks

\*c Ahmet ÇİFCİ; acifci@mehmetakif.edu.tr; Tel: (0248) 213 27 77; orcid.org/ 0000-0001-7679-9945

<sup>a</sup> orcid.org/ 0000-0002-4935-8148

<sup>b</sup> orcid.org/ 0000-0002-1860-9610



## 1. Giriş

Doğadan saf biçimde elde edilen ağaç geleneksel bir malzeme olarak; işlenme kolaylığı, direnç özellikleri ve maliyet avantajları nedeniyle yaygın bir kullanım olanağına sahiptir. Ağacın on binlerce farklı kullanım alanı olduğu tahmin edilmektedir. Ağaç malzemenin bu kadar çok kullanım alanının olmasının en büyük nedeni anatomik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleriyle kimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Uzun ve mükemmel bir tarihe sahip olan ağaç; insanın yaşamında ve kültürünün gelişme süreci içerisinde yüzlerce yıldır binaların çeşitli kısımlarında taşıyıcı elemanlar, dış cephe kaplamaları, döşeme ve çatı malzemeleri olarak, endüstriyel konstrüksiyonlarda köprüler, traversler, iskelelerde ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır (Erdin, 2003). Bunun yanında heterojen yapıda olması ve bu nedenle anizotrop davranması en büyük kusuru olarak görülmektedir (Rowell, 1990).

Herhangi bir malzemenin kullanım yeri seçiminde öncelikle mekanik özelliklerin bilinmesi gereklidir. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri; ağaç türüne, özgül ağırlığına, anatomik yapısına, kimyasal bileşimine, coğrafi orijinine, yetiştirme bölgesine, rutubet miktarına, fiziksel yapısına, kuvvetin şiddetine ve etki yönüne bağlıdır. Bu nedenle mekanik özelliklerinin tespit edilmesi diğer malzemelere göre değişken ve farklı olabilmektedir. (Bozkurt ve Erdin, 1997)

Ağaç malzemeyi doğal dayanıklılıklarına göre sınıflandırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Panshin ve De Zeeuw (1980) çalışmalarında Amerikan ağaç türlerini dayanıklı veya çok dayanıklı, orta derece dayanıklı ve az dayanıklı veya dayanıksız olarak sınıflandırmıştır. Berkel (1972) tarafından yapılan çalışmada ağaç türleri dayanma süreleri bakımından çok dayanıklı, orta derece dayanıklı ve az dayanıklı ağaç türleri olarak sınıflandırmıştır. ASTM (American Society for Testing Materials) D2017-81 (1986) standardında denemeler sonucu elde edilen ağırlık kaybına göre yüksek dayanıklı, dayanıklı, orta derece dayanıklı, az dayanıklı veya dayanıksız şeklinde bir sınıflandırma yapılmıştır. Findlay (1985) ise yine dayanıklılık esasına göre ağaç türlerini çok dayanıklı, dayanıklı, orta derece dayanıklı, az dayanıklı ve dayanıksız olarak beş farklı sınıfa ayırmıştır.

Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerinin fiziko-mekanik değerler esas alınarak sahip oldukları mevcut ya da oluşturulmuş bulunan sınıf gruplarına dağılımı yapılmıştır. Sınıflandırmada genelde belirlenmiş olan fiziksel özelliklerden hava kurusu % 12-15 yoğunluk, daralma, mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme, basınç, çekme, yarıma, makaslama dirençleri ve sertlik değerleri dikkate alınmıştır (As vd., 2016).

Bir ağaç malzemenin mekanik özelliklerine bakarak onun hangi malzeme grubunda olduğu ve hangi ağaç türü olduğunun bilinmesi büyük bir ihtiyaçtır. Özellikle mühendislik tasarım hesaplamalarında teorik olarak, mekanik özelliği belirli güven sınırlarında yerine getirebilecek malzemenin belirlenmesi bu açıdan çok önemlidir. Bununla beraber laboratuvar çalışmalarında mekanik özelliklerinden ağaç türünün belirlenmesi gerekliliği kendini etkin bir şekilde göstermektedir. Mekanik özelliklerine göre ağaç türünün tespit edilmesi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) sınıflandırma yöntemleri yardımıyla, mekanik özelliklerine göre ağaç malzemenin türünün tespiti işlemi yapılmıştır.

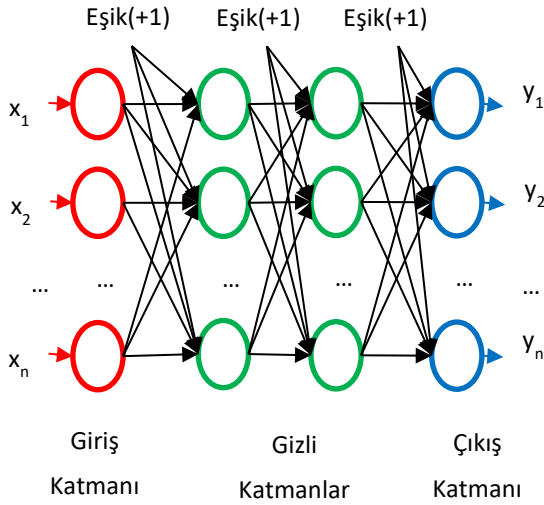
## 2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı, bilinen beyin yapısının çalışma prensibi taklit edilerek geliştirilmiş öğrenme/hafıza temelli bir makine öğrenme algoritmasıdır. YSA; esnek ve beklenmedik durumlara karşı mantıklı yaklaşımlarından dolayı matematiksel/istatistiksel yöntemlerle çözülebilen problemlerde dahi tercih edilmeye başlanmıştır. Günümüzde YSA; sosyal bilimler, tıp, mühendislik, gibi farklı disiplinlerde sınıflandırma, kümeleme, tahmin, otonom sürüş, doğal dil işleme, örüntü tanıma gibi farklı problemlerin çözümündeki marifeti ile haklı bir şöhrete sahiptir. Dolayısıyla, kullanım alanı, ağ yapısı ve öğrenme yöntemleri de geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada ağacın mekanik özelliklerine göre ağacın türünün tahmini (sınıflandırması) işlemi çok katmanlı ileri beslemeli eğri yayımlı ve radyal temelli YSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı

YSA beyin öğrenme mantığından esinlenerek geliştirildiğinden, ağ öncelikli bir öğrenme sürecine tabi tutulmalıdır. Bunun için konu ile ilgili yeteri kadar gerçek veri kullanılarak ağı

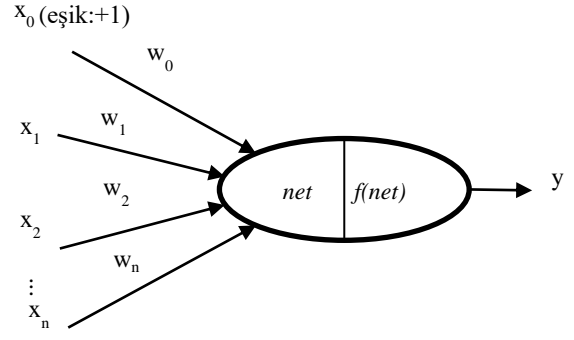
öğretilmesi işlemi gerçekleştirilir. Öğrenme süreci statik olduğu gibi, yeni gelişen şartlara göre sürekli öğrenen yani dinamik de olabilir. Ağın öğrenmesi; daha önce hiç görmediği, bilmediği bir veri için dahi bir yorum getirebildiği, uygun çıkışın elde edilebileceği ağırlık değerlerinin hesaplanması sürecidir. Bir YSA öğretmek için farklı öğrenme metotları kullanılabilir (Anthony ve Bartlett, 2009). Literatürde farklı amaçlar için kullanılan farklı türde YSA modelleri mevcuttur. Şekil 1'de çok katmanlı ileri beslemeli-geri yayımlı (ÇKİBGY) yapay sinir ağı yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Çok katmanlı YSA yapısı

Bu tür ağlarda bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve en az bir gizli katman bulunur. Her katmandaki düğümler bir sonraki katmandaki düğümleri besleyecek şekilde birbirine bağlıdır. Giriş katmanı düğüm sayısı problemdeki öz nitelik sayısı ile ilişkilidir. Bir düğüm giriş bilgilerinin sıfır olması durumunda tüm hesaplamaların sıfır olmaması için, giriş katmanı hariç tüm katmanlara değeri (+1) olan bir eşik düğüm ilave edilmelidir. Çıkış düğüm sayısı olarak, istenen sonuçları karşılayabilecek kadar düğüm tasarımcı tarafından eklenebilir. Gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki düğüm sayısı ile ilgili literatürde bir hesaplama mevcut değildir. Problemin özelliğine göre gizli katman sayısı ve bunların düğüm sayıları değiştirilerek farklı ağ yapıları düzenlenip en iyi sonucu veren YSA ağı, tasarımcı tarafından tespit edilmelidir. Giriş katmanı hariç diğer katmanlardaki düğümler (algılayıcı) kendisine gelen sinyalleri işleyerek bir çıktı üretir. Şekil 2'de YSA'ya ait bir düğüm yapısı verilmiştir.

Bir düğüm, kendisine gelen ağırlık değerleri ve verilerin çarpımlarının toplamını alıp bir  $net$  değeri üretir (denklem 1).

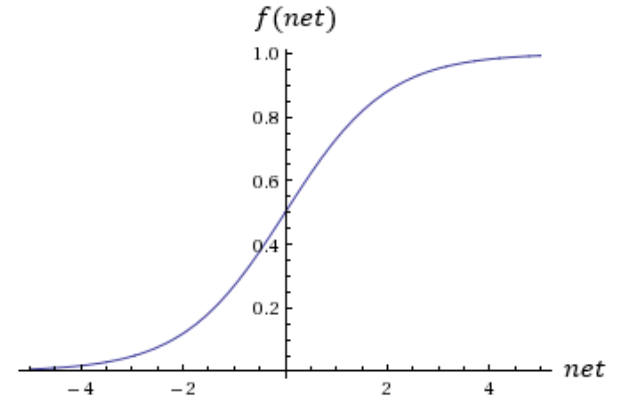


Şekil 2. YSA düğüm yapısı

Bu değer bir transfer fonksiyonu yardımıyla [0,1] veya [-1,1] aralığına çekilir. Çok katmanlı YSA geri yayılım hesaplamasında, türevi kolay alınmasından ve sürekli olmasından dolayı, işlem kolaylığı sağlayan sigmoid transfer fonksiyonu (şekil 3) tercih edilir (denklem 2). Literatürde sinüs, hiperbolik tanjant, lineer, step vb. farklı transfer fonksiyonları kullanılmaktadır.

$$net = w_0 + \sum_{k=1}^n (x_k w_k) \quad (1)$$

$$f(net) = \frac{1}{(1+e)^{-net}} \quad (2)$$



Şekil 3. Sigmoid fonksiyonu

YSA'lar öğrenme şekillerine göre genel olarak gözetimli (Supervised Learning), gözetimsiz (Unsupervised Learning) ve pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning) olarak gruplandırılabilir.

Çalışmada sınıflandırma işlemi yapıldığından gözetimli öğrenme YSA kullanılmıştır. Bu tür öğrenme işlemi; ağ ileri doğru beslendikten sonra hata değerleri (ağdan elde edilen çıkış ile beklenen çıkış değeri arasındaki fark  $Hata = beklenen\_değer - gerçekleşen\_değer$ ), geriye doğru yansıtılarak, hatayı minimum edecek şekilde ağırlık değerlerinin değiştirilmesi

işlemidir. Başka bir deyişle ağıın öğrenmesi işlemi, hatayı minimum edecek ağırlık değerlerinin belirlenmesi sürecidir. Bu işlem için farklı optimizasyon teknikleri kullanılabilir. Ağıın hata değerini minimum yapmak için, dereceli azalma (Gradient Descent) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prensibe göre, çıkıştan girişe doğru zincirleme olarak düğümlerin çıkış fonksiyonu (transfer fonksiyonu) türevleri ağırlıklara yansıtılarak öğrenme işlemi gerçekleştirilir (denklem 3, 4, 5). Denklem 4'te  $\delta_k$  değeri hata fonksiyonu türevidir. Geriye doğru yayılımında, bir düğümün toplam hata miktarı değeri ona gelen hata miktarlarının ağırlıkları ile çarpımı toplamı kadar olacaktır. Denklem 5'de hata miktarları dikkate alınarak ağırlık değişimi yapılmıştır.

$$\frac{\partial E}{\partial w_i} = \frac{\partial}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial r_i} \frac{\partial r_i}{\partial w_i} \quad (3)$$

$$\delta_k = \sum_{k=0}^K \delta_y * w_{k,z} \quad (4)$$

$$W_{i,k} = W_{i,k} + \delta_y x_i f(\text{net}_k)' \quad (5)$$

Ağıın eğitimi ve test süreçlerinde bazı performans kriterlerine göre karar verilir. Performans kriterleri olarak ağıın hata değerlerine bakılır. Çalışmada hataların mutlak değerlerinin toplamının ortalaması (Mean Absolte Error-MAE) kullanılmıştır (Denklem-6).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |z_i - y_i| \quad (6)$$

Eğitilmiş YSA test verileri ile çalıştırılıp doğru ve yanlış tahmin oranlarına bakılarak performans (regresyon) ölçüsü olarak değerlendirilebilir.

#### Levenberg-Marquardt Algoritması

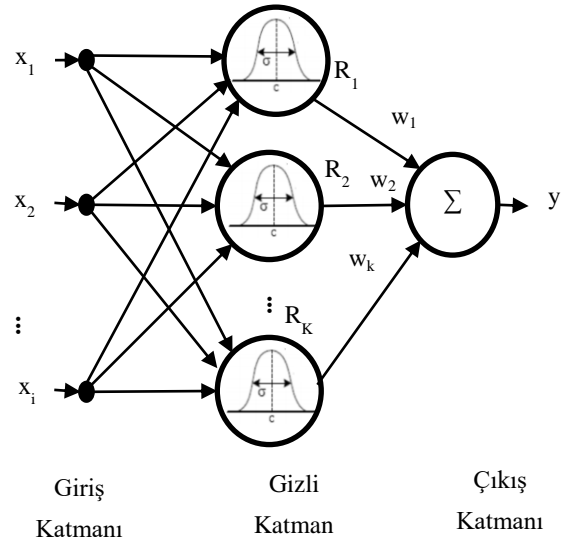
Levenberg-Marquardt algoritması (LMA) Gauss-Newton metodunu ve Steepest Descent metodunu birleştiren yinelemeli bir yöntemdir. Gauss-Newton algoritmasının hız avantajını, Steepest Descent metodunun da kararlılığını almıştır. Gauss-Newton algoritmasından daha güçlüdür, çünkü çoğu durumda hata yüzeyi kuadratik durumdan çok daha karmaşık olsa bile iyi bir şekilde yakınsayabilir. LMA, Gauss-Newton algoritmasına göre biraz daha yavaş olma eğiliminde olmasına rağmen (yakınsak durumda), Steepest Descent metodundan çok daha hızlı yakınsar (Yu ve Wilamowski, 2011). LMA şu şekilde verilebilir (Wen vd., 2011):

$$\Delta x = -(J^T(x)J(x) + \mu I)^{-1}J(x)e(x) \quad (7)$$

Burada  $x$  ağırlık vektörü,  $\mu$  0'dan büyük bir sabit ve  $e$  hata vektörüdür.  $P$  eğitim örnek sayısını ve  $N$  değişken sayısını belirtmek üzere  $J$ ,  $(P \times 1) \times N$  boyutunda Jacobiyen matrisi göstermektedir.  $I$  birim matristir. Denklem 7'deki  $\mu$  önemli bir sabittir.  $\mu$  değeri artarsa LMA, Steepest Descent metodu gibi,  $\mu$  değeri 0'a doğru azaldığında Gauss-Newton metodu gibi davranır.

#### 2.2. Radyal Temelli Fonksiyon Ağı

Radyal temelli fonksiyon ağı (Radial Basis Function Network-RBFN) ilk defa Broomhead ve Lowe (1988) tarafından bazı problemlerin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. RBFN bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan üç katmanlı bir yapıya sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. K adet gizli katmandan oluşmuş bir RBFN yapay sinir ağı yapısı (Arisariyawong ve Charoenseang, 2002).

Bu tür ağlarda tüm katmanlardaki düğümler birbirine bağlıdır. Giriş ve çıkış düğüm sayısı probleme göre belirlenir. Gizli katman düğüm sayısı ise problemin performansına direkt etki eder ve en çok eğitim verisi sayısı kadar olabilir. Gizli katman düğüm sayısı, problemin eğitimi sırasında belirli sayıdan başlatılıp dinamik olarak belirli miktarlarda artırılarak ağıın eğitimi gerçekleştirilir. Giriş katmanı ile gizli katman arasında ağırlık değerleri yoktur. Ağırlık değerleri sadece gizli katman ile çıkış katmanı arasındadır. Gizli katman transfer fonksiyonu olarak literatürde farklı dağılım fonksiyonları (kuadratik, invers kuadratik vb.) kullanılmasına rağmen en popüler olanı gaussian radyal fonksiyondur.

Gizli katman çıkış değerleri denklem 8'deki radyal fonksiyon tarafından üretilir. Denklemde,  $x$ : veri,  $c_i$ : giriş veri seti ortalaması (centrality-merkezi),  $\sigma_i$ :  $i$ . nitelik verilerinin standart sapması olarak verilmiştir.

$$R_i(x) = e^{\left(-\frac{\|x-c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right)} \quad (8)$$

RBFN çıkış değeri olarak gizli katman radyal fonksiyon çıkış değeri ( $R_i(x)$ ) ile gizli katman-çıkış katmanı ağırlık değerlerinin ( $w_i$ ) çarpımlarının toplamı şeklindedir (denklem 9). Nihai çıkış değeri çıkış düğüm değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunur (denklem 10).

$$y_i(x) = \sum_{i=1}^K w_i R_i(x) \quad (9)$$

$$y_i(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i R_i(x)}{\sum_{i=1}^n R_i(x)} \quad (10)$$

RBFN'de parametre ve hesaplamalar az olduğundan hesaplama süresi de kısa olur. RBFN fazla kaynak (işlemci, ram) kullanmadığından kaynakların kısıtlı olduğu yerlerde tercih edilebilir. RBFN iyi bir genelleme olanağı, daha az düğüm kullanma ve kısa hesaplama olanağı sunar (Moradkhani vd., 2004).

### 3. Ağaç Türlerinin Mekanik Özelliklere Göre Sınıflandırılması

Ağaçların farklı ortamlarda farklı etkilere karşı gösterdiği tepkiler onun mekanik özelliklerini oluşturur. Mekanik özellikleri doğası gereği az da olsa birbirinden farklılıklar gösterir. Dolayısıyla mekanik özelliklerinden yola çıkılarak ağacın türü tahmin edilebilir. Çalışmada kızılâğaç (*Alnus glutinosa subsp. Barbata*), doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*), karakavak (*Populus nigra*), ceviz (*Juglans regia*), meşe (*Quercus robur*), kestane (*Castanea sativa*), sedir (*Cedrus libani*) ve çam (*Pinus*) gibi sekiz farklı ağaç türüne ait yedi mekanik özellik değerine göre, farklı YSA sınıflandırma metodları (RBFN, ÇKİBGY) kullanılarak ağacın türü tahmin edilmiştir.

Her malzemenin aynı koşullar altında yoğunluğu, genleşmesi, burkulması ve büzülmesi farklıdır. Dolayısıyla basınca, itmeye, çekmeye ve burkmaya karşı dirençleri de farklılıklar göstermektedir. Bu gibi etkilere karşı verilen tepkiler malzemenin mekanik özelliklerini oluşturur. Mekanik özellikler, malzemelerin kullanım yerleri ile ilgili karar vermede büyük paya sahiptirler.

Tüm malzemeler gibi ağaç malzemeleri kullanırken, kullanım yeri ve koşulları için mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır. Tablo 1'de ağaçların bazı mekanik özelliklerini belirleme fonksiyonları verilmiştir. Belirli koşullar altında ağacın yoğunluğu, basınca karşı direnci, eğilme direnci, çekme direnci, burkulma direnci gibi özellik ölçümleri yapılarak ağacın mekanik özellikleri elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Ağaç malzemenin mekanik özellikleri

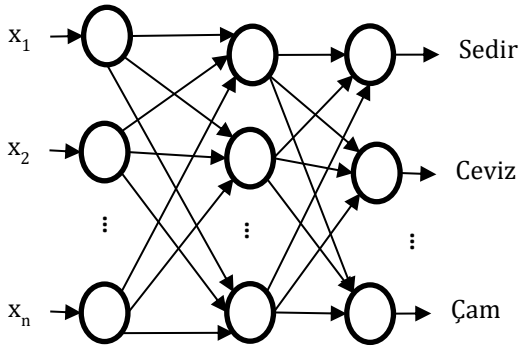
Mekanik Özellikler
Yoğunluk (Tam Kuru)
Liflere Paralel Basınç Direnci
Eğilme Direnci
Eğilme Elastikiyet Modülü
Dinamik Eğilme Direnci
Makaslama Direnci
Liflere Paralel Çekme Direnci

Çalışmada kullanılan mekanik özellik verileri çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir (Güller ve Ay, 2001; Kantay vd., 2000; Bal vd., 2012; Kaymakçı vd., 2011; Korkut ve Bektaş, 2008; Düz kale vd., 2015; Malkoçoğlu, 1994; Güller vd., 2011; Ay ve Şahin, 2002; Dündar, 2002; Kahveci, 2012). Daha farklı ağaç malzemelerin mekanik özelliklerinin ölçülmesi işlemi için ayrı bir laboratuvar çalışması gerekmektedir. Çalışmada, sekiz farklı ağaç türüne ait yedi farklı mekanik öznelik olan 180 veri kullanılmıştır. Bunlardan bazılarının mekanik özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Verilerin tümü sayısal veri türünden olup eksik veri bulunmamaktadır. Çalışmada kullanılan verilerin tamamına İlkuçar (2017) kaynağından ulaşılabilir.

**Tablo 2.** Bazı ağaç türleri ve mekanik özellikleri

Ağaç Türü	Yoğunluk (Tam Kuru)	Liflere Paralel Basınç Direnci	Eğilme Direnci	Eğilme Elastikiyet Modülü	Dinamik Eğilme Direnci	Makaslama Direnci	Liflere Paralel Çekme Direnci
Kızılâğaç	0,454	42,3	79,05	8781,6	0,58	6,276	76,3065
Doğu Kayını	0,59	61,74	122	12050	1,09	9,9	131,6
Kara Kavak	0,375	35	50,25	8630	0,247	5	77
Ceviz	0,62	56	121	10259,7	0,95	9,6	101
Meşe	0,64	58,2	117,5	12161	0,6	10,2	90
Kestane	0,59	56,96	77	9050	0,59	9,7	137
Sedir	0,524	44,6	75,8	6668,2	0,38	5,2	101
Çam	0,56	55	109	10200	1,68	9,8	112

Şekil 5'te sistemin YSA ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 5. Ağaçların teknik özelliklerine göre türünün YSA ile tahmini işleminin ağ yapısı

Problemdede yedi öznelik olduğundan ağın giriş düğüm sayısı yedi adettir. Çıkış düğüm sayısı da sınıflandırması yapılacak ağaç türü kadardır. Çalışmada gizli katman olarak tek katman kullanılmıştır. Gizli katman düğüm sayıları değiştirilerek farklı ağ mimarileri elde edilerek eğitim yapılmış ve performans değerleri karşılaştırılarak ideal ağ yapısı bulunmaya çalışılmıştır.

Tablo 3'te ÇKİBGY yapay sinir ağı 7 giriş, 8 çıkış katmanı ve farklı gizli katman mimarileri ile eğitilmiş ve ağın test verisine karşı doğru tahmin oranı ile hata miktarı gösterilmiştir. YSA parametreleri olarak; en iyi performans değerini veren (Tablo 4) 0.5 öğrenme katsayısı, 0.5 momentum değeri, sigmoid transfer fonksiyonu ve hataların mutlak değerlerinin toplamının ortalaması (Mean Absolte Error- MAE) performans ölçeği kullanılmıştır. Verilerin %70'i eğitim, kalan %30'da test için kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri 180 veri içerisinde rastgele seçilmiştir.

Performans değeri; eğitilmiş ağın; test verisinden ne kadarını doğru tahmin ettiğini gösterir ve (*Doğru Tahmin Sayısı / Test Veri Sayısı \*100*) şeklinde hesaplanır.

Tablo 3'te görüldüğü gibi gizli katman düğüm sayısı 4'ten başlatılıp (giriş veri nitelik sayısının yarısı) 30'a kadar ikişer artırılarak test edilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi ağ mimarisi ile performans değeri arasında, belirli bir ilişki görülmemektedir. %96.29 doğruluk oranına sahip iki YSA mimarisi (7-16-8 ve 7-26-8) en iyi performans değerine sahiptir. Burada 7 giriş katmanı düğüm sayısını, 16 veya 26 gizli katman düğüm sayısını ve 8'de çıkış katmanı düğüm sayısını belirtmektedir.

Tablo 3. ÇKİBGY yapay sinir ağı 7 giriş, 8 çıkış katmanı ve farklı gizli katman mimarileri ile eğitilmiş ve ağın test verisine karşı doğru tahmin oranı ile hata miktarı

Gizli Katman Düğüm Sayısı	Performans	Hata Miktarı
4	%85.18	0.0502
6	%90.74	0.0349
8	%88.88	0.0316
10	%90.74	0.0255
12	%92.59	0.0286
14	%90.74	0.0281
<b>16</b>	<b>%96.29</b>	<b>0.0193</b>
18	%90.74	0.0282
20	%92.59	0.0250
22	%92.29	0.0298
24	%94.44	0.0235
<b>26</b>	<b>%96.29</b>	<b>0.0183</b>
28	%90.74	0.0275
30	%94.44	0.0212

Aynı performansa sahip ağlardan, daha az gizli katman sayısına sahip olan ağ, daha az hesaplama gerektirdiğinden tercih edilmelidir. Öte yandan hata oranları da önemlidir. Daha düşük hata oranına sahip YSA ağı tercih sebebi olmalıdır. Bu durumda Tablo 3'e göre en iyi performans ve en düşük hata oranı değerine sahip olan 7-16-8 ağ mimarisi en uygun çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı YSA olacaktır.

En iyi performansa sahip ağ mimarisi (7-16-8) farklı YSA parametreleri (öğrenme, momentum) ile testler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan veri için momentum değerinin ve öğrenme katsayısının performansı çok az etkilediği görülmektedir. En iyi performans öğrenme oranı 0.5 ve momentum 0.5 değeri için elde edilmiştir.

Tablo 4. ÇKİBGY yapay sinir ağı 7-16-8 mimarisi için farklı öğrenme oranı ve momentum değerleri için performans ve hata oranları

Momentum	Öğrenme oranı	Performans	Hata Miktarı
	0.1	%94.44	0.0263
	0.2	%96.29	0.0218
0.5	0.3	%96.29	0.0196
	0.6	%96.29	0.0175
	0.8	%96.29	0.0195
	0.1	%96.29	0.0202
0.3	0.5	%96.29	0.0190
0.5		<b>%96.29</b>	<b>0.0173</b>
0.8		%96.44	0.0210

Çok katmanlı YSA da en iyi ağ yapısına ait test verisi karışıklık matrisine (confusion matrix) göre farklı ağaç türlerine ait 54 test verisinden 8 kızılâğaç verisinden 2 tanesi sedir olarak yanlış tahmin edilmiş, diğer ağaç türlerinin tümü doğru tahmin edilmiştir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Karışıklık matrisi

a	b	c	d	e	f	g	h	Ağaç türleri
6	0	0	0	0	0	2	0	a = Kızıl Ağaç
0	7	0	0	0	0	0	0	b = Doğu Kayını
0	0	3	0	0	0	0	0	c = Kara Kavak
0	0	0	7	0	0	0	0	d = Ceviz
0	0	0	0	6	0	0	0	e = Meşe
0	0	0	0	0	8	0	0	f = Kestane
0	0	0	0	0	0	8	0	g = Sedir
0	0	0	0	0	0	0	7	h = Çam

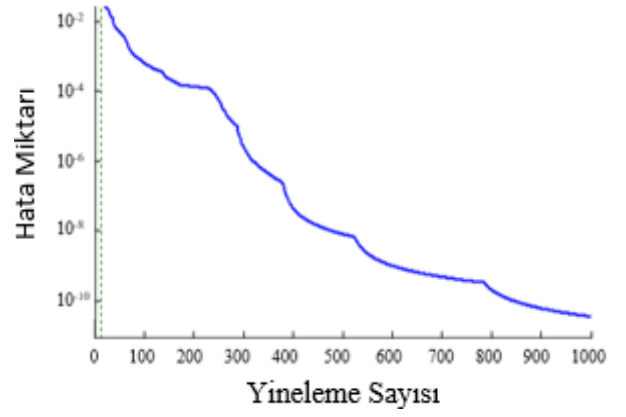
Çalışmada çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı YSA ile birlikte RBFN YSA ile de veriler test edilmiş ve her iki YSA'ya ait sınıflandırma performans sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi RBFN'de %92.59 doğruluk oranı gibi iyi bir performans göstermiştir. RBFN ağlar daha az hesaplama gerektirdiğinden, düşük maliyetli cihazlar olan mikro denetleyici gibi düşük saat hızı ve belleğe sahip aygıtlarda tercih edilebilir.

**Tablo 6.** Farklı YSA yöntemlerine göre sınıflandırma performans sonuçları

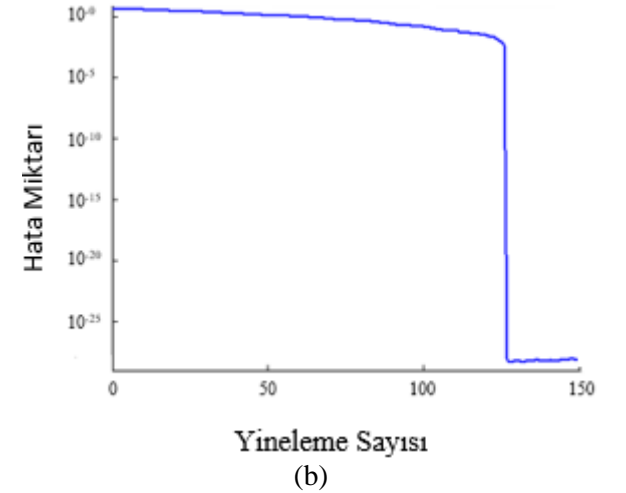
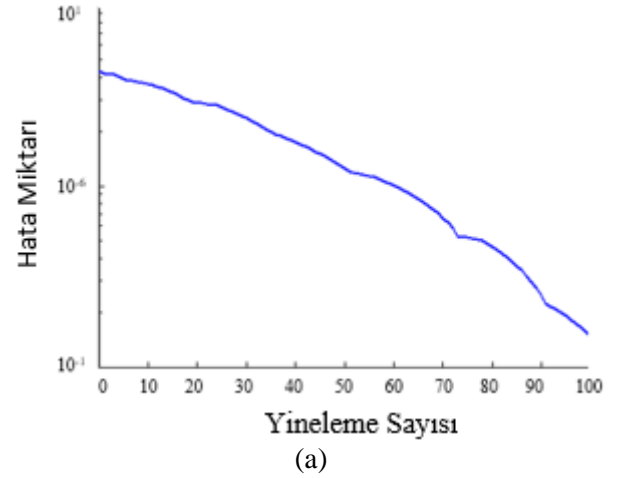
YSA Yöntemi	Doğru Tahmin Oranı	Hata Miktarı
RBFN	%92.59	0.0185
ÇKİBGY	%96.29	0.0173

Şekil 6'da ÇKİBGY ağın 7-16-8 mimarisi eğitim sırasında yinelemelere göre hata miktarı değişim grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yinelemeler ilerledikçe hata miktarı azalmaktadır. 1000 yinelemeden sonra hata miktarı sabit kalmaktadır, burada eğitim işlemi durdurulmuştur. Eğitime devam etmek çözümü kötüleştirir.

RBF ağı eğitimi gizli katman düğüm sayısı değiştirilerek yapılmaktadır. Gizli katman düğüm sayısındaki belirli bir değerden sonra hata oranında dramatik bir değişim yaşanmaktadır. Bu yüzden hata değişim grafiği Şekil 7 (a) ve Şekil 7 (b) şeklinde iki bölüm halinde verilmiştir. RBFN gizli katman sayısı 120' den itibaren hata miktarında hızlı bir düşüş görünmekte ve bu sayı 130'a ulaştığında en düşük hata seviyesine ulaşmaktadır. En iyi performans için ağın gizli katman sayısı bu seviyede tutulmalıdır.



**Şekil 6.** ÇKİBGY ağın eğitim hata miktarı



**Şekil 7. (a)** İlk 100 yineleme için RBF ağın eğitim hata miktarı değişim grafiği **(b)** Tüm yinelemeler için RBF ağın eğitim hata miktarı değişim grafiği.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada sekiz farklı ağaç türüne ait yedi farklı mekanik özelliğe sahip 180 veri farklı tip (ÇKİBGY, RBFN) ve mimaride YSA kullanılarak ilk defa mekanik özelliklerinden ağacın türünün tahmini işlemi yapılmıştır.

Performans sonuçları açısından çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı YSA %96.29 doğruluk oranında tahmin yaparken, RBFN YSA %92.59 oranında tahminde bulunmuştur. RBFN ile ÇKİBGY arasında %3.7'lik bir performans farkı gözükmektedir. Ancak RBFN YSA daha az parametre ve hesaplamaya sahip olduğundan daha kısa sürede öğrenmekte ve daha hızlı hesaplama yapabilmektedir. Dolayısıyla tahmin işlemini mikro denetleyici gibi düşük kapasiteli (MHz seviyesinde frekanslarla çalışan ve sınırlı hafızası olan) cihazlarda yapılabilmesi için tercih sebebi olabilir.

Çalışma, herhangi bir konstrüksiyon için ihtiyaç duyulan mekanik özellikleri karşılayacak ideal ağaç malzemenin tespitinde yardımcı olacaktır. Böylece belirli güven aralığında malzeme ile ilgili yanılma payı minimize edilecektir.

Çalışma ve elde edilen sonuçlar, ağaç malzemenin teknik özelliklerini bulup buna göre ağacın türünü tespit edebilen mikro denetleyici kontrollü elektro-mekanik bir cihaz üretilmesinde yardımcı olacaktır.

## 5. Kaynaklar

Arisariyawong, S. ve Charoenseang, S., 2002, Dynamic Self-Organized Learning for Optimizing the Complexity Growth of Radial Basis Function Neural Networks, IEEE International Conference on Industrial Technology, 11-14 Dec. 2002, Bangkok, Thailand, p. 655-660.

As, N., Dündar, T. ve Büyüksarı, Ü., 2016. Classification of wood species grown in Turkey according to some physico-mechanic properties, Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66, 2, 727-735.

ASTM D2017-81, 1986. Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods.

Ay, N., & Şahin, H. (2002). Maçka-Çatak Bölgesi Anadolu Kestanesi (*Castanea Sativa* Mill.) Odununun Bazı Mekanik Özellikleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 3(1), 87-95.

Bal B. C., Bektaş İ. ve Kaymakçı A., 2012. Toros sedirinde genç odun ve olgun odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 15, 2, 17-27.

Berkel A., 1972, Ağaç Malzeme Teknolojisi, Ağaç Malzemenin Korunması ve Empenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 1745/183, Sermet Matbaası, İstanbul.

Bozkurt, A. Y., ve Erdin, N., 1997, Ağaç Teknolojisi, Yayın No: 3998, ISBN 975-404-449-X, İstanbul, s. 346-357.

Broomhead D. S. ve Lowe D., 1988. Multivariable functional interpolation and adaptive network, Complex Systems, 2, 321-355.

Dündar, T. (2002). Demirköy yöresi ıstranca meşelerinin (*Quercus hartwissiana* stev.) mekanik özellikleri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University| İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 52(2), 159-176.

Düz kale, G., Bektaş, İ., Tunç, H. H. ve Doğanlar, Y., 2015. Zeytin ağacı (*Olea europaea*) odunun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi, 10, 2, 29-35.

Erdin, N., 2003, Ağaç Malzeme Kullanımı ve Çevreye Etkisi, İnterteks İnşaat 2003 Fuarı, Ahşap Seminerleri, 20-22 Şubat, İstanbul.

Findlay, W. P. K., 1985, Preservation of Timber in the Tropics, Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers, ISBN 90-247-3112-7, Dordrecht, Netherlands.

Güller B. ve Ay N., 2001. Artvin yöresi sakallı kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C. A. Mey.) Yalt.) odununun bazı mekanik özellikleri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25, 2, 129-138.

Güller, B., Isik, K. ve Cetinay, S. (2011). Genetic variation in *Pinus brutia* Ten.: Wood density traits. BioResources, 6(4), 4012-4027.

İlkuçar, (2017). <http://www.ilkuacar.com/data/agacmek.xlsx> (Erişim tarihi:25.08.2017)

Kahveci, E. (2012). Farklı Yetiştirme Ortamı Koşullarının Sakallı Kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (CA Mey.) Yalt.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Kantay, R., As, N. ve Ünsal, Ö., 2000. The mechanical properties of walnut (*Juglans*

- regiaL.) wood, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24, 6, 751-756.
- Kaymakçı, A., Bal, B. C. ve Bektaş, İ., 2011. Pavlonya odununun bazı özellikleri ve kullanım alanları, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 11, 2, 228-238.
- Korkut, S., ve Bektas, I., 2008. The effects of heat treatment on physical properties of Uludag fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, Forest Products Journal, 58, 3, 95-99.
- Malkoçoğlu, A. K. (1994). Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsiky) Odununun Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, KT Ü. Orman Fakültesi, Trabzon.
- McCulloch W. S. ve Pitts W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115-133.
- Moradkhani H., Hsu K., Gupta H. V. ve Sorooshian S., 2004. Improved streamflow forecasting using self-organizing radial basis function artificial neural networks, Journal of Hydrology, 295, Issues 1-4, 246-262.
- Panshin, A. J. ve De Zeeuw, C., 1980, Textbook of Wood Technology, Mc Graw-Hill, Inc. Fourth Edition, ISBN: 0-07-04844-4, New York.
- Rowell, R. M., 1990, Materials Science of Lignocellulosics, Materials Research Society Symposium Proceedings, 197, Pittsburgh, PA, p. 3-9.
- Wen, L., Li, Z., Han, Z., Xie, X., Zhang, R., 2016, The External Characteristics Simulation System of Diesel Engine Based on Levenberg-Marquardt Algorithm, IEEE International Conference on Industrial Informatics - Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII), 3-4 Dec. 2016, Wuhan, China, p. 30-33.
- Yu, H. ve Wilamowski, B. M., 2011, Levenberg-Marquardt training. Industrial Electronics Handbook Intelligent Systems. Wilamowski, B. M. and Irwin, J. D. (eds.), CRC Press, Boca Raton. pp. 1-16.



# Metrobüs Şaft Torkunun Sınırlandırılmasına Yönelik Hibrit Güç Aktarma Yapısı ve Güç Yönetim Sistemi Tasarımı

## Design of Hybrid Power Transmission Architecture and Power Management Strategy for Metrobus Shaft Torque Limitation

Volkan SEZER\*

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 26.05.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 06.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2017

### Öz

Bu yayında, İstanbul trafiğinde aktif olarak kullanılmakta olan metrobüslerin kullanım ömürlerinin artırılmasına yönelik bir hibrit güç aktarma mimarisi önerilmiş, bu yapıyla birlikte kullanılacak bir güç yönetim algoritması geliştirilmiş ve yeni ortaya çıkan sonuçlar analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı mevcut metrobüslerin çekiş barındırmayan aksına iki adet harici elektrik motoru takılarak, bu motorların uygun durumlarda devreye alınmasıyla aracın orijinal çekiş yükünün azaltılması ve şaft torkunun sınırlandırılmasıdır. Bu sayede, şaft ömrünün artırılması amaçlanmıştır. Ekleniecek motorların ne zaman devreye alınıp devreden çıkarılacağına, ne zaman motor veya jeneratör olarak çalıştırılacaklarına yönelik kararları alacak güç yönetim algoritması, öncelikle benzetim ortamında denenmelidir. Benzetimlerin gerçekçi sonuç verebilmesi için ise, aracın ve yolun yüksek doğrulukla modellenmesi gerekmektedir. Benzetimlerde kullanılan tek izli boylamsal dinamik modelin geliştirilebilmesi için, metrobüs üzerinden sürüş esnasında deneysel veri toplanmış ve bu veriler model içerisine entegre edilmiştir. Bunun yanında metrobüs hattına ait eğim ve hızlanma verileri de elde edilerek performans benzetimleri için altyapı oluşturulmuştur. Ayrıca güç yönetim algoritmasının geliştirilebilmesi için, aracın orijinal durumunda şoförün hangi gaz pedal açıklığında ne kadar tork talebinde bulunduğu dair haritanın da bilinmesi oldukça kritiktir ve bu çalışmada bu haritanın nasıl elde edildiği de gösterilmektedir. Son olarak, güç yönetimi için geliştirdiğimiz kural tabanlı bir kontrol algoritması hakkında bilgi verilmiş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Yapılan benzetimler sonucunda, kullanılan tork-hasar eğrisine göre şaft ömrünün %75.86 oranda arttırıldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güç Yönetimi, Hibrit Araçlar, Taşıt Modelleme, Taşıt Simülasyonu

### Abstract

In this paper, an improved hybrid powertrain is proposed for extending the lifetime of original drive shaft of the Metrobuses that are being actively used in İstanbul traffic. A new power management method for the proposed powertrain is developed and the results of the method are analyzed along the study. The aim of the study is decreasing the operating load of the original axle and extend its lifetime by mounting two additional electric machines to one of the non-driven axles. The power control method which calculates the correct timing of the machines when to be used as a motor/generator or when to activate and deactivate them, should be tested in simulation environment first. In order to get realistic results from simulations, the models must be reliable. In order to develop the single-track dynamic model of the vehicle, experimental data is collected under real driving condition and is integrated into the model. Besides this, the collected road slope and metrobus acceleration data provides an infrastructure for performance simulations. On the other hand, the throttle-torque map is very critical to understand the driver's torque request. In this study, derivation of the torque map from experimental data is also explained. Finally, a rule based power management algorithm for lifetime extension is developed along the paper and its results are analyzed at the end of the work. According to the simulation results, the lifetime of the driving shaft of the original metrobus is extended by 75.86% in proposed hybrid powertrain.

**Keywords:** Power Management, Hybrid Vehicles, Vehicle Modeling, Vehicle Simulation

\* Volkan SEZER; sezerv@itu.edu.tr, Tel: (0212) 285 70 05 (dahili: 116); orcid.org/0000-0001-9658-2153

## 1. Giriş

Hibrit araç teknolojisi, son yıllarda önemi oldukça artan ve üzerinde yoğun araştırmalar yürütülen popüler bir konudur. Yapısı gereği 1'den fazla enerji kaynağı kullanmakta olan bu araçların temel kullanım amacı, yakıt tüketiminin ve doğaya salınan zararlı emisyonların azaltılmasıdır (Sezer ve Gökaşan, 2011). Hibrit araçlarda emisyon ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik metodlar karşılaştırmalı olarak Pisu ve Rizzoni (2007) tarafından yapılan çalışmada incelenebilir. Bu çalışmada ele alınan Phileas marka metrobüs araçları (Siuru, 2004) İstanbul şartlarında kullanıldığında ortaya çıkan yüksek miktarlardaki tork ihtiyacı nedeniyle mekanik problemlerle karşılaşmakta ve sık sık bakım altına alınmaktadır. Bu gerçek problemden yola çıkarak, aracın çekiş olmayan başka bir aksına 2 adet elektrik motoru takılarak, aracın orijinal tork yükünün azaltılması düşünülmüştür. (Sezer vd., 2015) çalışmasında, metrobüslerin çekiş karakteristiğini artırmaya yönelik bir yaklaşım verilmiş fakat buradaki yöntem şaft ömrünün artımına yönelik tasarlanmamış, dolayısıyla sonuçların şaft ömrünün artımına etkileri göz ardı edilmiştir. Bu sebeplerden, ilgili çalışmada yorulma ve şaft ömrü ile ilgili herhangi bir analiz gerçekleştirilmemiştir.

Buradaki çalışmada sisteme eklenen elektrik motorlarının amacı çekiş artırma veya yakıt ekonomisinden ziyade şaft ömrünü uzatmak olacaktır. Bu bağlamda seçilen elektrik motorlarının ne zaman ve hangi tork miktarlarında devreye girip ne zaman jeneratör olarak elektrik enerjisi üreteceğine karar verecek üst seviye bir kontrol algoritmasına ihtiyaç duyulacaktır. Bu kontrol algoritmasının tasarımı ve ilk testleri, gerçekçi araç modelleri kullanılarak benzetim ortamında gerçekleşmelidir.

Bir diğer önemli nokta ise aracın orijinal sisteminin gaz pedal açıklığı ve motor dönüş hızına göre nasıl bir tork ürettiğinin bilinmesi gerekliliğidir. Bu çalışmada öncelikle araç/hat modellemesi ve pedal açıklığına göre araç orijinal tork karakteristiğinin belirlenmesi için yapılan veri toplama çalışmalarından bahsedilmiştir. Daha sonra, harici komponentler ve hız kontrolörüyle birlikte elde edilen bütünleşik araç modeli anlatılmıştır.

Son olarak problemin çözümüne yönelik önerilen hibrit mimari ve yeni hibrit mimarinin güç yönetimine yönelik geliştirilen kural tabanlı yeni

bir algoritmadan bahsedilmekte ve sonuçları analiz edilmektedir.

## 2. Veri Toplama ve Araç Modelleme Çalışmaları

Araç modelleme, tasarım sürecini oldukça hızlandıran ve geliştirilen algoritmaların hızlı ve güvenli olarak denenmesini mümkün kılan önemli bir aşamadır. Bazı araç modelleri yalnızca benzetim amacıyla gerçekleştirilirken, bazıları da doğrudan geliştirilen model tabanlı kontrolörler içerisinde çalışması amacıyla tasarlanabilir (Brosilow ve Joseph, 2002). Araçların matematiksel modellemesi, basitten karmaşığa doğru çok farklı şekillerde yapılabilir (Rajamani, 2006). Bu çalışmada aracın güç yönetimine yönelik iyileştirme gerçekleştirileceğinden, aracın yanıl dinamiğinden daha çok boylamsal dinamiği önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada tek izli boylamsal araç modeli oluşturulmasına karar verilmiştir.

### 2.1. Tek İzli Boylamsal Araç Modeli

Boylamsal araç modelinde en temel yapı tekerleklerdir. Bu çalışmada tekerlek, Pacejka tekerlek modeli yaklaşımıyla modellenmiştir. Lineer olmayan Pacejka tekerlek modeline ait parametreler deneysel olarak elde edilebilmektedir (Denta, 1997). Tekerlek modelinin görevi, kayma (s) girişine karşılık hareketi sağlayan tekerlek yol arası kuvvetin (F<sub>x</sub>) hesaplanmasıdır. Tekerlek kayması, tekerlek doğrusal hızıyla araç doğrusal hızı arasındaki orandır. Bu oran, frenleme ve ivmelenme için farklı tanımlanmıştır. Tekerlek kaymasını frenleme ve ivmelenme için tanımlayan eşitlikler Denklem (1)'de gösterildiği gibidir.

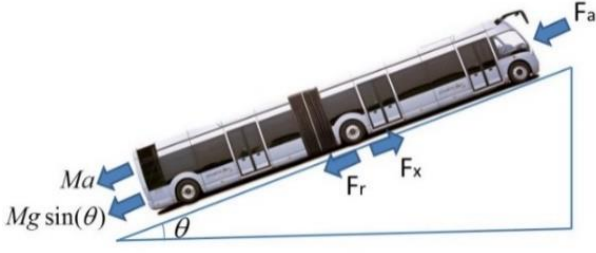
$$s = \frac{wR - V}{wR} \rightarrow \text{İvmelenme}$$

$$s = \frac{wR - V}{V} \rightarrow \text{Frenleme}$$
(1)

(w: Tekerlek açısal hızı, V: Araç çizgisel hızı, R: Tekerlek yarıçapı)

Kayma hesabı sonrasında araca etkiyen itiş kuvveti tekerlek modeli yardımıyla elde edilir. Bu itiş kuvvetinin karşısında ise; yuvarlanma direnç kuvveti, aerodinamik direnç kuvveti, yol eğiminden gelen kuvvet ve ivmelenmeden dolayı gelen kuvvet yer almaktadır. Boylamsal dinamik içerisinde bu ilişki, Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1’de gösterilen ilişkiyi ifade eden matematiksel bağıntı, Denklem (2)’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araca etkiyen boylamsal kuvvetler

$$F_x = Ma + F_a + F_r + Mg \sin(\theta) \quad (2)$$

(M: Araç kütlesi, g: yerçekimi ivmesi, a: Araç boylamsal ivmelenmesi, Fr: Yuvarlanma direnci kuvveti, Fa: Aerodinamik direnç kuvveti, θ: Yol eğimi)

Denklem (2)’de yer alan aerodinamik direnç ve yuvarlanma direnci kuvveti ifadeleri ise Denklem (3) ve Denklem (4)’te gösterilen standart formüllerle hesaplanabilmektedir.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho AV^2 \quad (3)$$

$$F_r = Mgf \quad (4)$$

(ρ: Aerodinamik direnç katsayısı, A: Araç ön projeksiyon alanı, V: Araç boylamsal hızı, f: Yuvarlanma direnç katsayısı).

## 2.2. Metrobüs Hattından Veri Toplama Çalışmaları

Denklem (2)’de görüldüğü üzere, sürüş esnasında 4 farklı direnç kuvveti araca etki etmektedir. Bu kuvvetlerin metrobüs için ne büyüklükte olduklarını bulabilmek adına pist üzerinde gerçek bir metrobüse ait sürüş verilerini toplamak gerekmektedir. Etkiyen direnç kuvvetleri, araç ivme bilgisi, hız bilgisi ve yol eğiminin fonksiyonlarıdır. Bu nedenle sürüşe ait ivme, hız ve eğim açısı bilgilerini toplayabilmek için, gerçek bir metrobüs üzerine Trimble AG332 marka hassas bir GPS alıcısı ile 3 eksenli açılabilir ivme, hız ve açı bilgisini veren Crosbow VG 700AB-201 marka IMU monte edilmiştir. Bu enstrümantasyona ilişkin görseller, Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2’de gösterilen sistemde, GPS anteni araç üzerine ve ağırlık merkezi hizasında bir bölgeye yerleştirilmiştir. Benzer şekilde IMU ölçümlerinin de doğruya en yakın elde edilebilmesi için sensör, aracın ağırlık merkezine sabitlenerek monte edilmiştir. GPS ve IMU verilerini senkronize olarak toplayıp kaydetmek için, National Instruments® firmasının sağladığı Labview ortamı kullanılarak bir veri toplama yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılımın görevi, IMU’nün ilk kalibrasyonunu gerçekleştirmek, IMU üzerinden 10Hz, GPS üzerinden ise 1Hz ‘de veri toplamak ve her veriye zaman bilgisini de ekleyerek uygun formatta kayıt almaktır.



a: GPS Anteninin Metrobüs Üzerine Montajı



b: Metrobüs İçerisine Yerleştirilen 3 eksenli IMU, GPS alıcısı, Veri Toplama Bilgisayarı DC/AC Dönüştürücü ve Güç Kaynağı

## Şekil 2. Veri Toplama Enstrümantasyonu

Sensörler yardımıyla toplanan veriler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Şekil 3’te, toplanan veriler arasından örnek olarak seçilen 10 dakikalık yol eğimi ve araç hızı bilgisi gösterilmektedir. Bu elde edilen verilerle, hatta ait

benzetimlerin yapılabileceği gerekli ivmelenme, hız profili ve yol eğimi verileri elde edilmiştir.

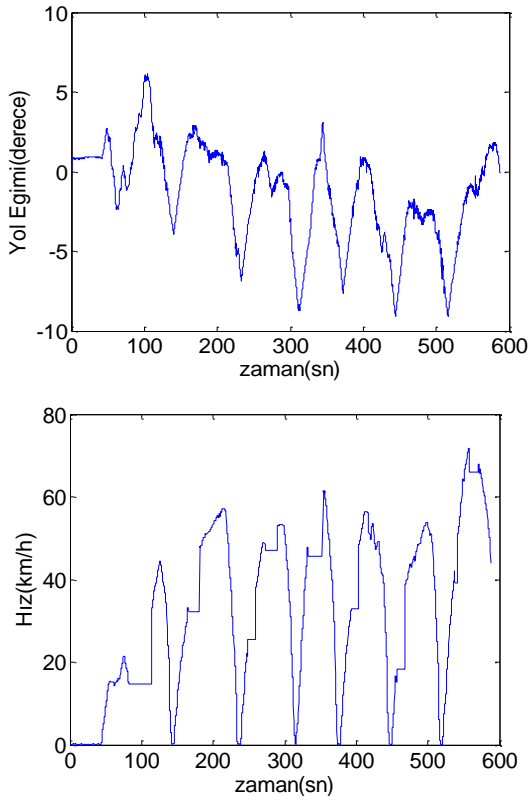
Bu veriler, çalışmanın ilerleyen kısımlarında açıklanacak harici elektrik motorları ve batarya sistemi ile hibritizasyonu sağlanacak metrobüsler için gerekli benzetimlerin yapılabilmesinde önemli rol oynamaktadır.

### 2.3. Araç Tork Haritasının Elde Edilmesi

Araçlarda yer alan tahrik motorları, kullanıcının pedal açıklığına ve o anki hıza göre belirlenen bir tork üretmektedir.

**Tablo 1.** Metrobüs hattı üzerinde toplanan veriler

Crosbow VG 700AB-201 (IMU) 10Hz	Trimble AG332 (GPS) 1Hz
Yunuslama Açısı	Enlem
Yuvarlanma Açısı	Boylam
Yunuslama İvmesi	Yükseklik
Yuvarlanma İvmesi	Hız
X yönünde doğrusal ivmelenme	Aktif Uydu Sayısı
Y yönünde doğrusal ivmelenme	
Z yönünde doğrusal ivmelenme	
Sıcaklık	



**Şekil 3.** Toplanan örnek veriler (yol eğimi, hız)

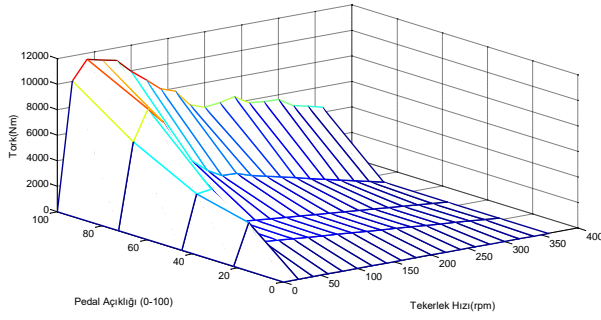
Bu istenen tork, motorun (dolayısıyla aracın) o anki hıza ve pedal açıklığına bağlı olarak motor kontrol ünitelerinin içerisindeki haritalarda saklanır. Araç üreticisi firmanın özel bilgileri arasında yer alması nedeniyle bu haritalara doğrudan ulaşma şansımız olmadığı için, bahsedilen haritanın çeşitli testler yardımıyla tersine mühendislik ile elde edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, aracın CAN (Controller Area Network) haberleşme hattı üzerinden pedal açıklığı, araç hızı ve hızlanma verileri eş zamanlı toplanarak, “Tek İzli Boylamsal Araç Modeli” kısmında gösterilen dinamik denklemler yardımıyla ne kadarlık tork üretildiği bilgisi hesaplanabilmektedir. Şekil 4’te, veri toplama ara yüzüne ait bir görüntü yer almaktadır.

CAN hattı üzerinden, %22, %45, %73 ve %100 olmak üzere, sabit miktarda basılan 4 pedal açıklığına ait hızlanma verileri ayrı ayrı toplanmıştır. Bu testler hattın düz kabul edilebilecek bölgelerinde yapıldığından, eğimden dolayı gelen kuvvetler ihmal edilmiştir.



**Şekil 4.** CAN hattından veri toplama yazılımı arayüzü

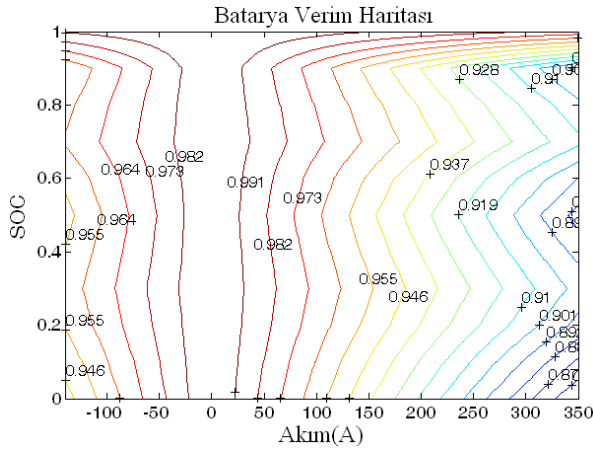
Araca etkiyen ivmelenme, yuvarlanma direnci ve aerodinamik direnç kuvvetleri, araç parametrelerine göre hesaplanmış ve bu kuvveti sağlamak için motorların üretmesi gereken tork değerleri her bir pedal açıklığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu tork değerleri hesaplanırken, aktarma organlarındaki çevrim oranları ve aktarma oranlarına ait yaklaşık mekanik verim değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Burada kullanılan model, probleme tersten yaklaştığımız için tersine araç modeli olarak adlandırılmıştır. 4 pedal açıklığı arasında kalan bölgeler içerisinde yapılan interpolasyon işlemi sonucunda, orijinal araca ait pedal açıklığı-hız-tork haritası Şekil 5’te gösterildiği gibi elde edilmiştir. Burada kullanılan hız değeri, tekerlerin dönüş hızı olarak alınmıştır.



Şekil 5. Elde edilen pedal açıklığı-tekerlek hızı-tork haritası

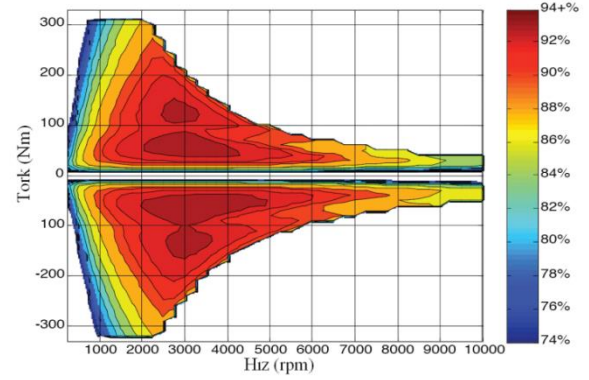
#### 2.4. Harici Sistemler

Çalışmanın 4. bölümünde önerilen hibrit mimaride kullanılan elektrik motoru ve batarya sistemine ait modeller, verim haritaları üzerinden geliştirilmiştir. Kullanılan batarya sistemi, daha önce tarafımızca yapılan çalışmada (Sezer, Gökaşan, 2011) kullanılan KOKAM marka SLBP-60460330 model lityum polimer hücrelerden oluşan 70Ah'lik bir sistemdir. 98 hücrenin seri bağlanmasıyla oluşturulan batarya sisteminin toplam enerjisi 25kWh olarak belirlenmiştir. Bataryaya ait verim haritası Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Batarya verim haritası KOKAM-SLBP-60460330

Elektrik motoru da yine benzer şekilde modele dahil edilmiştir. Çalışmada, piyasadan hali hazırda temin edilebilen REMY marka HVH250-090-S model numaralı elektrik motoru kullanılmıştır. Tork ve hıza bağlı olarak değişen verim haritası, doğrudan ilgili modelin kataloglarından elde edilmiş ve model içerisinde kullanılmıştır. Şekil 7'de, hem motor hem de jeneratör olarak çalışma durumlarına ait, kullanılan verim haritası gösterilmiştir.

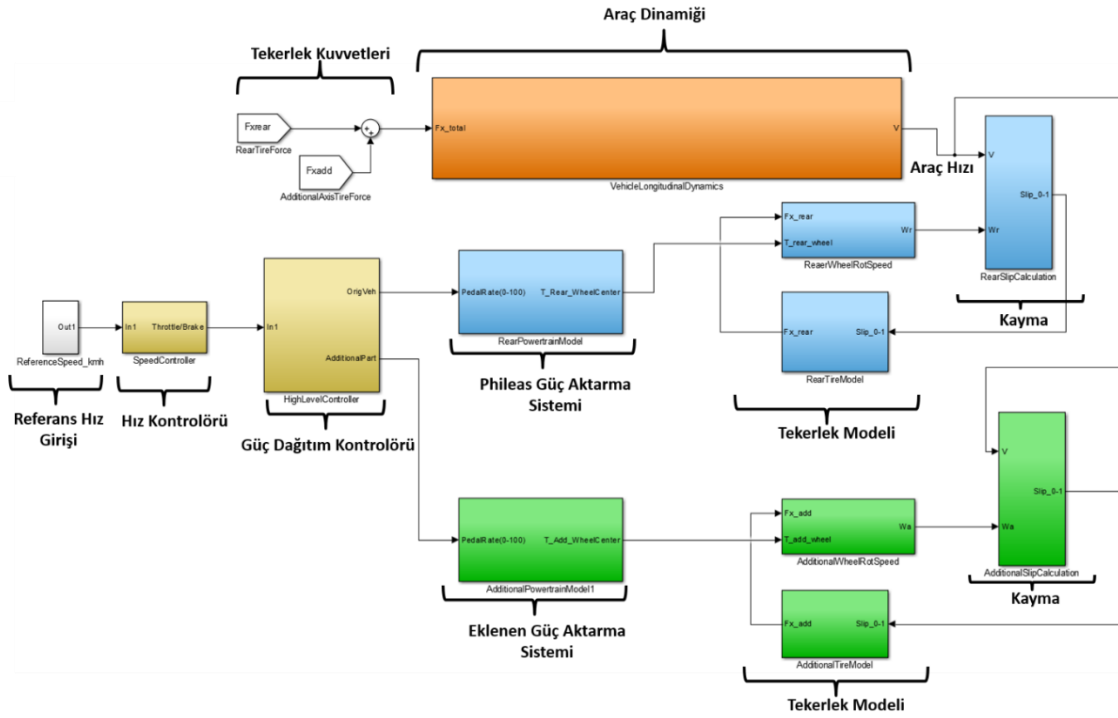


Şekil 7. Elektrik Motoru Verim Haritası (REMY HVH250-090-S)

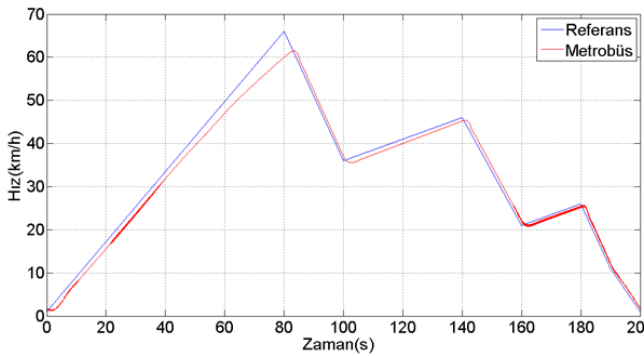
#### 2.5. Bütünleşik Model

Toplanan verilerin ve yapılan analizlerin ardından, orijinal araca eklenecek motorların ve bu motorların beslendiği harici batarya sisteminin de dahil olduğu bütünleşik bir boylamsal dinamik araç modeli geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Harici elektrik motorlarının modellenmesinde, motorların maksimum tork-hız karakteristikleri ve her bir çalışma noktasına ait verim değerlerini içeren verim haritaları kullanılmıştır. Araca eklenecek yeni batarya sistemine ait basit bir batarya modeli de bütünleşik modele dahil edilmiştir. 25kWh olarak seçilen batarya enerji kapasitesi Şekil 7'de gösterilen verim haritasıyla birlikte kullanılmıştır. Matlab/Simulink ortamında hazırlanan, tüm alt sistemlerin ve araç dinamiğinin bir arada bulunduğu bu modele ait görüntü, Şekil 8'de gösterilmektedir.

Araç modeline girilen sabit bir hız profilinin araç tarafından izlenebilmesi için, sürücünün vermesi gereken gaz-fren açıklıklarını hesaplayan bir sürücü modeline (hız kontrolörü) ihtiyaç vardır. Bu yapı, Şekil 8'de "hız kontrolörü" bloğu içerisinde yer almaktadır. Sürekli durum hatalarını engelleyen ve istediğimiz takip karakteristiğini sağlayan bir oransal-integral PI kontrolörüyle verimli sonuç alınmıştır. PI kontrolörün oransal ( $K_p$ ) ve integral ( $K_i$ ) katsayıları, farklı profillerdeki performanslar arasında en yakın takip edecek şekilde deneme yanılma ile belirlenmiştir ( $K_p=20$ ,  $K_i=0.5$ ). İlerleyen zamanlarda bu katsayıların analitik elde edilmesi üzerinde de çalışmalar planlanmaktadır. İntegral sarması engelleyici (anti-windup) bir yapı da kontrolöre dahil edilmiştir (Bohn ve Atherton, 1995). Geliştirilen hız kontrolörünün performansı Şekil 9'da gösterilmektedir.

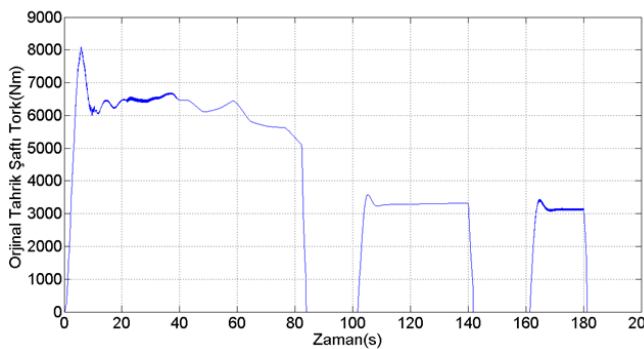


Şekil 8. Bütünleşik model simulink gösterimi



Şekil 9. Hız kontrolörü performansı

Şekil 9'da gösterilen hız profilini elde etmek için aracın orijinal durumunda (harici elektrik motorlarını dahil edilmeden) tahrik şaftının ürettiği tork değerleri Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Orijinal tahrik şaftı tork miktarı (Şekil 9'daki hız profili esnasında)

### 3. Yorulma Analizi

Şaft, genellikle dairesel yapıda olan, güç veya hareket iletmek için kullanılan dönel yapılardır (Shigley vd., 1989). Yorulma analizlerinde, sürüş esnasında şaft üzerine eğilmeden ve burulmadan dolayı etki eden gerilmelerin aynı anda oluşmasından dolayı eşdeğer gerilme yaklaşımından faydalanılmaktadır. Eşdeğer gerilmeyi etkileyen faktörler; eğilme, burulma ve aks yüklerinin etkisiyle oluşan gerilmelerdir. Dönen şaft üzerindeki kritik noktalarda, aks yükü nedeniyle oluşan gerilmelerin eşdeğer gerilmeye etkisi, eğilme ve burulma nedeniyle oluşanların yanında oldukça küçük olup, ihmal edilebilecek düzeydedir (Pradhan ve Gaikwad, 2015). Eğilme gerilmesi, yükün şaft üzerine etkiyen dikey bileşenlerinden dolayı oluşan gerilme olup, burulma gerilimi ise şaftın aktardığı tork miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmadaki amaç şaft ömrünü uzatmak olduğu için, aracın ağırlığından dolayı oluşan dikey kuvveti değiştirmek yerine, doğrudan şafta aktarılan torku değiştirerek burulma gerilmesine müdahale edilmesiyle bu amaç gerçekleştirilmeye çalışılacaktır.

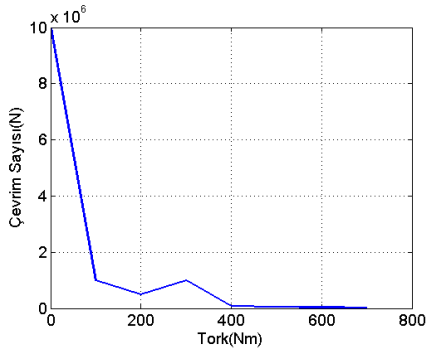
Literatürde yorulma analizi çalışmalarında, sabit gerilmeler altında malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağını veya kırılacağını gösteren gerilme-çevrim eğrileri (S-N eğrileri) çokça kullanılmaktadır (Shigley vd., 1989). Öte yandan yukarıda da bahsedildiği gibi bu çalışmada,

aktarılan torka yapılacak müdahale üzerinden shaft ömrü artırılmaya çalışılacağından, S-N eğrisi yerine tork-çevrim (T-N) eğrisi kullanılacaktır. T-N eğrilerinin deneysel olarak edilmesi de mümkündür (Lee ve Barkey, 2005).

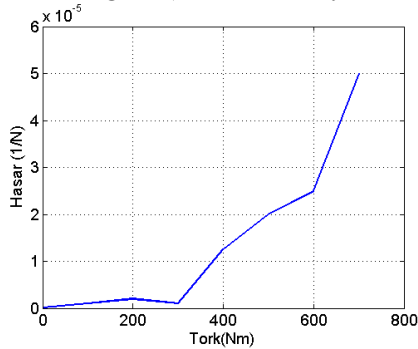
Şekil 11a ve 11b, torkun yorulma üzerine etkisini farklı bakış açılarıyla göstermektedir. N, malzemenin kırılması için geçmesi gereken çevrim (tur) sayısıdır. Şekil 11a, her bir tork değeri için kaç tur dönüş gerçekleşirse malzemenin kırılacağını göstermektedir ve Lee ve Barkey'in (2005) çalışmasında yer alan çalışma sonucunda deneysel olarak elde edilmiştir. Örneğin 200Nm tork iletilmesi durumunda 500000 devir sonunda malzemenin kırılacağı grafikten elde edilebilmektedir. Şekil 11b ise T-H eğrisidir. Buradaki H ifadesi ise, T-N eğrisi verilen malzemenin her bir tork değerinde 1 tur dönüş sonucunda ne kadar hasar aldığı göstermekte ve Denklem 5'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$H = \frac{1}{N} \quad (5)$$

Şekil 11b'ye bakılacak olursa, 600Nm tork iletildiğinde, malzemenin her bir dönüş turunun, ömrünü  $2.5 \times 10^{-5}$  (%0.0025) oranda azalttığı sonucuna varılmaktadır.



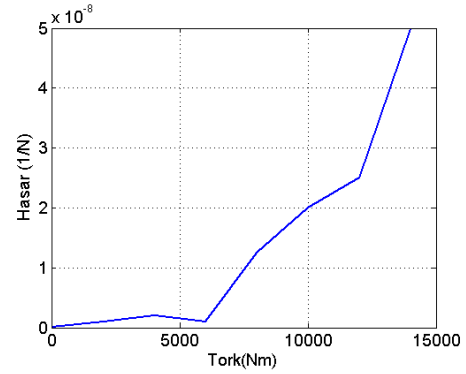
a) T-N Eğrisi (Lee ve Barkey, 2005)



b) T-H Eğrisi

Şekil 11. Deneysel olarak elde edilen T-N ve T-H eğrileri

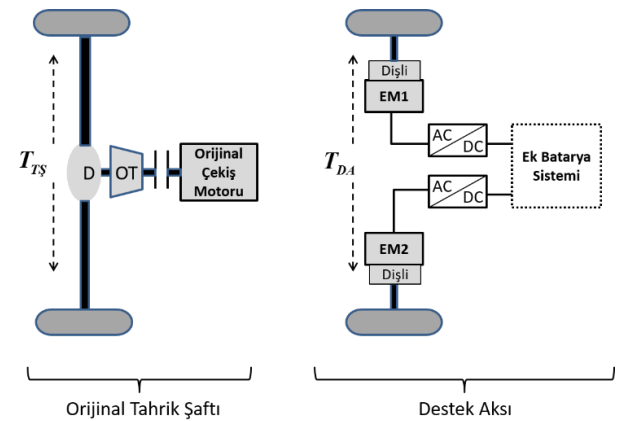
Mevcut metrobüslerin shaft malzemesine ait yorulma analizlerinin elde edilmesi başlı başına farklı bir çalışmanın konusudur. Bu nedenle bu çalışmada, daha önceden bu analizleri yapılmış malzemenin, mevcut aracın tork büyüklüklerine göre ölçeklendirilmiş değerleri kullanılmaktadır. Bu ölçeklendirilmiş T-H eğrisi Şekil 12'de gösterilmiştir. Bölüm 5'te anlatılan güç yönetim kontrolörü çalışması, gerçek hesaplanacak T-H eğrisi için de uygulanabilecek bir yapıdadır.



Şekil 12. Ölçeklendirilmiş T-H eğrisi

#### 4. Önerilen Hibrit Mimari

Şekil 11'de gösterilen S-N, T-N ve T-H eğrilerindeki doğrusal olmayan ilişki, tüm malzemeler için geçerli olmakla birlikte (Rice, 1997), bu lineer olmayan ilişki, araç tork aktarım karakteristiğinde yapılacak ufak değişikliklerde önemli ömür artırımlarıyla sonuçlanabileceğini göstermektedir. Örneğin Şekil 11 ve Şekil 12 incelenecek olursa, shaftın aldığı hasar miktarı, torkun belirli değerlerinden sonra oldukça yüksek oranlarda artmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, metrobüslerde shaft ömrünün artırılması amacıyla, Şekil 13'te gösterilen ve kolaylıkla elde edilebilecek hibrit mimari önerilmiştir. Farklı hibrit mimariler hakkında ayrıntılı bilgiler Emadi vd. (2005)'de yer almaktadır.



Şekil 13. Önerilen hibrit mimarisi (D: diferansiyel, OT: otomatik transmisyon)

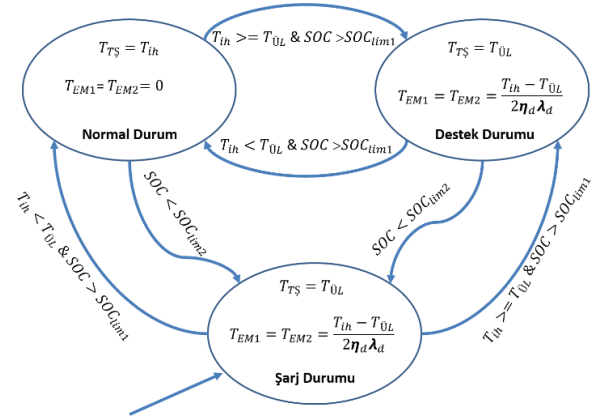
Şekil 13 incelenecek olursa, önerilen mimaride, orijinal çekiş motoruyla elektrik motorları arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Elde edilen paralel hibrit mimarisinde şarj işlemi, orijinal çekiş motorunun üreteceği torkun yol aracılığıyla destek aksına iletilmesiyle veya geri kazanımlı frenleme ile gerçekleşmektedir. Araç ilk durumda orijinal tahrik şaftı üzerinden orijinal çekiş motoru yardımıyla tek bir şaft üzerinden sürüşünü sağlamaktaydı. Önerilen yeni mimaride ise, orijinal çekiş motorundan görece daha ufak elektrik motorları sabit bir dişli oranıyla doğrudan tekerleklere bağlanmıştır. Şekil 7’de gösterilen elektrik motoru tork-hız eğrisi ve aracın çıktığı hızlar göz önüne alındığında, elektrik motorunun aracın tüm hızlarında tork üretebilmesi için dişli oranı 10 olarak belirlenmiştir. Araçta daha önce kullanılmayan akslardan biri bu amaçla kullanılmış ve buna da destek aksı adı verilmiştir. Doğrudan tekerlere bağlanan 2 elektrik motoru sayesinde, tek bir merkezden tahrik edildiğinde kullanılması gereken diferansiyel sisteminin mekanik verim kayıplarından da kurtulmuş olunacaktır. EM1 ve EM2 olarak eklenen 2 elektrik motoruna elektriksel güç sağlayacak ek batarya sistemi ise, kontrolörün karar vereceği durumlarda EM1 ve EM2’nin jeneratör olarak çalıştırılmasıyla yol üzerinden şarj edilecektir. Önerilen bu mimari sayesinde, EM1 ve EM2’nin yüksek tork taleplerinde destek aksından yapacağı ufak katkıyla, orijinal şaftta yüksek ömür artışları sağlanması hedeflenmiştir.

## 5. Güç Yönetim Kontrolörü Tasarımı

Şekil 10’da gösterilen grafiğe göre, örnek çevrim esnasında orijinal aracın ürettiği tork kalkış anında 8000Nm değerlerine kadar çıkmaktadır. Metrobüs güzergahının yüksek eğimli bölgelerinde bu tork değerleri uzun süreler boyunca yüksek değerlerde seyredebilmektedir. Bu da önceki bölümlerde bahsedildiği üzere yüksek miktarda yorulmaya ve sonucunda mekanik problemlere neden olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 12’de görülmekte olan tork-hasar eğrisi incelendiğinde, 6000Nm’den itibaren hasar miktarının oldukça fazla arttığı görülmektedir.

Klasik hibrit araçlarda, yakıt tüketimi veya emisyonları azaltmaya yönelik kontrol metodları üzerinde oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlar arasında; kural tabanlı yaklaşımlar (Baumann vd., 2000; Kessels vd., 2008), dinamik programlama (Prez vd, 2006) (Vagg vd., 2016), model öngörülmesi kontrol (Ripaccioli vd., 2009), öğrenme tabanlı kontrol (Liu vd., 2017) ve eşdeğer maliyet tüketimi minimizasyonu (Sezer ve

Göktaşan, 2012; Paganelli vd., 2000) sıralanabilir. Bu çalışmada ise güç yönetim kontrolörünün amacı önceki çalışmalardan daha farklıdır. Güç yönetim algoritması, uygun zamanlarda harici elektrik motorlarını devreye sokarak tork isteğinin yüksek seyrettiği kısımlarda yükün bir kısmını üzerine alarak aracın orijinal tahrik sistemi tarafından üretilmesi gereken torku azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Mevcut kontrolör, tork isteği düşük seviyelerde seyrederken, **normal durum** içerisinde yer alır ve ihtiyaç duyulan tork miktarının tamamını orijinal çekiş motoru üzerinden sağlar. Tork isteği belirli bir değerin üzerine çıktığında, batarya şarj durumu (SOC) da elverişliyse **destek durumuna** geçerek harici motorları devreye sokmakta ve metrobüsün kendi tahrik sisteminin üretmesi gereken tork miktarını azaltmaktadır. SOC miktarının azalması durumunda ise, ihtiyaç duyulan torktan daha fazlası araç tarafından üretilerek **şarj durumuna** geçilir ve harici elektrik motorlarının jeneratör olarak çalışması sağlanmakta ve piller şarj edilmektedir. Tarif edilen kural tabanlı yaklaşıma ait sonlu durum makinesi gösterimi Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Güç yönetim kontrolü - sonlu durum makinesi gösterimi

Şekil 14’e bakılacak olursa **normal durum**, sürücü tarafından belirlenen ihtiyaç torkunun ( $T_{ih}$ ), belirlenen üst limitin ( $T_{ÜL}$ ), altında kaldığı durumlarda geçerlidir. Bu üst limit, torkun yorulmayı (hasarı) görece olarak daha az etkilediği bölgeye göre seçilir. Bu çalışmada kullanılan tork-hasar eğrisine göre (Şekil 12), 6000Nm değeri  $T_{ÜL}$  için uygun bir değer olarak görülmektedir. Normal durumda,  $T_{ÜL}$ ’den düşük tork isteklerinde ihtiyaç duyulan torkun tamamı, orijinal çekiş motoru üzerinden tahrik şaftı ( $T_{TS}$ ) aracılığıyla verilir.

**Destek durumuna** geçiş ise,  $T_{ih}$ ’in  $T_{ÜL}$ ’nin üzerine çıkmasına ve batarya SOC değerine



bağlıdır. Eğer SOC değeri belirlenen limitin  $SOC_{lim1}$  üzerindeyse (batarya yeteri kadar doluyorsa) ve ihtiyaç duyulan tork üst limitin üzerindeyse destek durumu aktif hale gelir. Seçtiğimiz üst limit değerine göre, 6000Nm'nin üzerinde gelen tork taleplerinin 6000Nm'lik kısmı orijinal tahrik şaftı üzerinden sağlanmakta, geri kalan kısım ise elektrik motorları (EM1 ve EM2) tarafından paylaşılmaktadır. Tekerleklerle iletilen toplam torkun, ihtiyaç duyulan tork değerine eşit olması esastır. Bunun sağlanabilmesi için gerekli elektrik motor tork değerleri ( $T_{EM1}, T_{EM2}$ ), elektrik motorları önünde bulunan dişli oranı ( $\mu$ ) ve dişli mekanik verim ( $\eta_d$ ) değerleri de göz önüne alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_{EM1} = T_{EM2} = \frac{T_{ih} - T_{\dot{U}L}}{2\eta_d\mu} \quad (6)$$

Destek durumundan normal duruma geçiş şartı, ihtiyaç duyulan tork değerinin düşük değerlere gelmesidir. Destek durumundan geçiş yapılan diğer bir durum ise şarj durumudur.

Destek durumunda bir süre kalan aracın SOC değeri zamanla azalmak zorundadır. Bununla alakalı olarak **şarj durumu**, batarya SOC seviyesi önceden belirlenen ikinci bir limit değerinden  $SOC_{lim2}$  daha düşük olduğunda aktif hale gelmektedir.  $SOC_{lim2}$  değeri, yukarıda bahsedilen  $SOC_{lim1}$  değerinden daha düşük seçilmelidir.  $T_{EM1}$  ve  $T_{EM2}$  değerleri, toplam torkun ihtiyaç duyulan torka eşit olması esasına göre Denklem (6)'daki ile aynı biçimde hesaplanır. Destek durumu ile temel fark ise, durumdan çıkış şartıyla alakalıdır. Şarj durumundan çıkmanın tek yolu SOC değerinin  $SOC_{lim1}$ 'den daha yüksek hale gelmesidir. Bunun sağlanması için şarj durumu esnasında orijinal tahrik şaftı, ihtiyaç duyulan torktan bağımsız olarak sürekli üst limitinde ( $T_{\dot{U}L}$ ) çalıştırılır. Bu da ihtiyaç duyulan tork değerine göre bataryanın daha çok şarj edilme eğiliminde olacağı anlamına gelmektedir. SOC seviyesi  $SOC_{lim1}$ 'in üzerine çıktığı andan itibaren, ihtiyaç duyulan tork değerine göre, tekrar normal duruma veya destek durumuna geçiş yapılır. Ayrıca güvenlik amacıyla ilk girilen durum şarj durumudur. Buradaki çalışmada  $SOC_{lim1}$  değeri 0.61 ve  $SOC_{lim2}$  değeri de 0.59 olarak seçilmiştir.

## 6. Benzetim Sonuçları

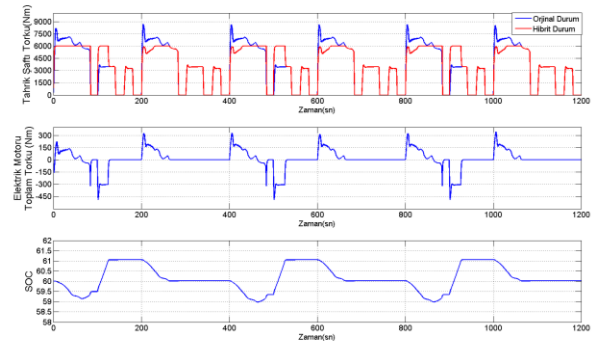
Aracın orijinal durumundaki şaft ömrü ile önerilen hibrit mimari ve geliştirilen kural tabanlı kontrol yöntemi arasındaki farkları ortaya koyabilmek için Matlab/Simulink® ortamında benzetimler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2'de geliştirilen araç

modeli kullanılmış ve Şekil 8'deki hız profili arka arkaya eklenerek metrobüsün yol alması sağlanmıştır. Benzetimlerde kullanılan önemli parametreler Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Kütle	30000kg
Aerodinamik Direnç K.( $\rho$ )	0.7
Yuvarlanma Direnç K.( $f$ )	0.010
Ön Projeksiyon Alanı (A)	5.22m <sup>2</sup>
$SOC_{lim1}$	0.61
$SOC_{lim2}$	0.59
$T_{\dot{U}L}$	6000Nm
EM Dişli Oranı( $\mu$ )	10
Dişli Verimi( $\eta_d$ )	0.9
Batarya Enerji Kapasitesi	25kWh

Şekil 9'da gösterilen hız profilinin 6 kez arka arkaya koşturulmasıyla elde edilen benzetim sonuçları Şekil 15'te gösterilmektedir. Şekil 15'te, orijinal durum ve hibrit çalışma durumunda tahrik şaftı tork miktarı değişimi ile hibrit durumdaki EM destek miktarı ve SOC değişimi bir arada gösterilmektedir.



**Şekil 15.** Tahrik şaftı-EM tork değerleri ve SOC değişimi

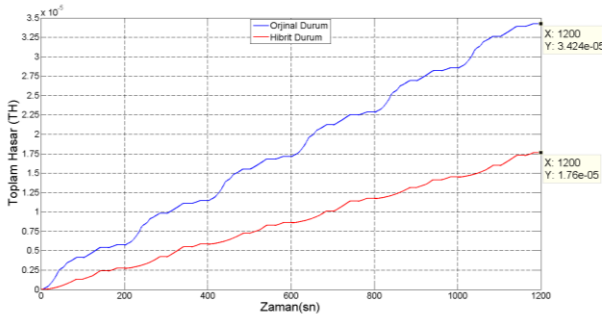
Şekil 15 incelenecek olursa, algoritma istendiği gibi çalışmakta ve beklendiği gibi tahrik şaftını 6000Nm'nin üzerine hiç çıkarmamaktadır. Burada dikkat çeken noktalardan biri, ilk çalışma esnasında şarj durumunda başlanmasına rağmen, tork ihtiyacının ilk başlarda 6000Nm'nin üzerinde seyretmesi nedeniyle SOC'un azalma eğiliminde olmasıdır. Fakat şarj seviyesi henüz 0.61'e gelmediği için, tahrik şaftı 6000Nm tork üretmeye devam eder ve bir süre sonra bu değere ulaşarak şarj durumundan çıkarılır. Benzetimin sonraki süreçlerinde, SOC değeri beklenildiği gibi 0.59-0.61 arasında salınmaktadır. Elektrik motorlarının

ne zaman destek olduğu ne zaman jeneratör olarak çalıştığı da yine Şekil 15'te gözlemlenebilmektedir. Grafiklere bakılacak olursa, orijinal durumda tahrik şaftının ürettiği tork değerleri 8000Nm civarına çıkabiliyorken, hibrit çalışma mimarisinde bu değer önceden belirlenen 6000Nm ile sınırlanmıştır.

Son olarak, orijinal çalışma durumu ile geliştirilen hibrit çalışma durumlarını, çalışmanın ana amacı olan şaft ömürleri anlamında karşılaştırmak gerekmektedir. Önceki bölümlerde ifade edilen hasar tanımı, şaftın 1 tur döndüğünde ömrünün yüzde kaç azaldığını göstermekteydi ve Denklem 5'le gösterilmişti. Bu durumda sürüş boyunca oluşacak toplam hasar değeri de Denklem (7) ile ifade edilebilir ( $\omega$ : Şaft dönüş hızı-devir/sn)

$$TH = \int_0^T Hw dt \quad (7)$$

Denklem (6) kullanılarak Şekil 12'de ifade edilen tork-hasar grafiği yardımıyla sürüş sonunda şaft ömrünün ne kadar azaldığı hesaplanmıştır. Orijinal ve hibrit durumlar için elde edilen bu toplam hasar grafikleri Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Toplam hasar karşılaştırması

Şekil 16'daki veriler, 1200 saniyelik benzetim sonucunda, hız çevriminin 6 kez arka arkaya koşturulmasıyla elde edilmiştir. Bu esnada kat edilen toplam mesafe de göz önünde bulundurularak, beklenen ömür değerleri hesaplanabilir. Toplam hasar değeri "1" olduğunda malzemenin ömrü bitmiş olacaktır. Buradan hareketle beklenen ömür (BÖ) değeri, kat edilen mesafenin (KM) toplam hasara (TH) bölünmesiyle Denklem 8'deki gibi hesaplanmıştır.

$$BÖ = \frac{KM}{TH} \quad (8)$$

Tablo 3'te, orijinal durum ve önerilen hibrit mimari için karşılaştırmalı sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 3. Şaft ömrü karşılaştırması

Kat edilen Mesafe KM (km)	Toplam Hasar (TH)	Beklenen Ömür (BÖ) (km)	Ömür Artışı	
Orijinal	11.539	$3.424 * 10^{-5}$	373004	-
Hibrit	11.545	$1.76 * 10^{-5}$	655966	<b>%75.86</b>

Tablo 3 incelendiğinde, kat edilen mesafede çok ufak farklılıklar oluşmuştur. Bunun nedeni, hız kontrolörünün orijinal ve hibrit durumlardaki farklı mimariler nedeniyle performansında meydana gelen ufak farklılıklardır. Tablo sonuçlarında görüldüğü üzere, önerilen hibrit mimari ve geliştirilen kontrol algoritması yardımıyla, şaftın beklenen ömrü 373004km'den, 655966km'ye çıkmaktadır. Bir başka deyişle beklenen ömürdeki artış %75.86 olarak gerçekleşmiştir.

## 7. Sonuçlar

Bu yayında öncelikle, metrobüs taşıtlarının şaft ömürlerinin artırılması için veri toplama, modelleme ve harita elde etme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen benzetim ortamında, hibrit bir güç aktarım mimarisi önerisi yapılmış ve buna yönelik bir güç yönetim kontrolörü geliştirilmiştir. Modelleme hem orijinal metrobüs aracının dinamiği hem de çalıştıkları piste ait yol modeli olarak gerçekleştirilmiştir. Araçtan toplanan gerçek veriler yardımıyla, kontrol algoritmasının ihtiyaç duyduğu 2 giriş 1 çıkışlı pedal açıklığı-hız-tork haritası elde edilmiştir. Bunların yanında, algoritma testlerinde kullanabilmek amacıyla, istenen hız referansını izleyen bir hız kontrolörü de tasarlanarak modele dahil edilmiş ve bu sayede istenen hız profilinin, metrobüs hattının istenen bölümlerinde test edilebilmesi ve algoritma performans analizinin yapılabilmesi için model altyapısı tamamlanmıştır. Araç güç aktarım elemanlarının orijinal durumunda maruz kaldıkları yüksek tork değerlerinin azaltılmasına yönelik üst seviye güç yönetim algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen kural tabanlı bir kontrol yaklaşımı da yayın kapsamında sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Buna göre aracın orijinal şaft ömrünün, önerilen hibrit mimari ve geliştirilen kontrol yöntemiyle birlikte %84.19 oranda uzadığı, benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Yayın içerisinde de belirtildiği üzere, kullanılan hasar-tork eğrisi, jenerik olarak seçilen bir eğrinin ölçeklenmiş halidir. İlgili referansta belirtilen yöntemle, mevcut metrobüslerin orijinal şaftına ait buna benzer bir eğri deneysel olarak ileriki

çalışmalarda elde edilebilir. Bu durum, yayında verilen ömür uzama oranını doğrudan etkileyecektir. Bu çalışmada her ne kadar analizler şaft ekseninde yapılarak bir ömür artışı elde edilmiş olsa da, ana aks üzerindeki yüksek tork değerlerinin limitlendirilmesi, ana motordan tekerlere giden yol üzerindeki diğer tüm aktarma elemanlarının yorulmalarını da geciktirip ömürlerine olumlu katkı sağlayacaktır. İleriki çalışmalarda, her bir aktarma elemanı ayrı ayrı analiz edilerek verilen yaklaşımın bu komponentlerin ömürlerinde ne gibi etkileri olacağı incelenebilir.

Bugüne kadar hibrit araçlardaki güç dağıtım algoritmaları yakıt tüketimi ve emisyonların azaltılmasına yönelik tasarlanmıştır. Hibrit araç yaklaşımının mekanik aksamlardaki ömüre olan etkisini göz önüne almak, sıfırdan yapılacak hibrit araç tasarımlarında, mekanik aktarma organlarının boyutlandırmasına da olumlu katkı sağlayabilecektir. Ayrıca sonraki aşamada, güç kontrol algoritmasının kural tabanlı bir yaklaşım yerine optimizasyon teknikleri kullanılarak geliştirilmesi de düşünülebilir.

## 8. Kaynaklar

- Baumann BM, Washington G, Glenn BC, Rizzoni G. 2000, "Mechatronic Design and Control of Hybrid Electric Vehicles", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 5(1), 58–72.
- Bohn C, Atherton DP, 1995, "An Analysis Package Comparing PID Anti-Windup Strategies", IEEE Control Systems, 15(2), 34-40.
- Brosilow C, Joseph B., 2002, Techniques of Model-Based Control, Prentice Hall Professional.
- Emadi A, Rajashekara K., Williamson SS, Lukic SM., 2005, "Topological Overview of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicular Power System Architectures and Configurations" IEEE Transactions on Vehicular Technology, 54(3), 763-770.
- Genta G., 1997, Motor Vehicle Dynamics Modeling and Simulation, Singapore, World Scientific.
- Kessels J, Koot M, Bosch P, Kok D., 2008, "Online Energy Management for Hybrid Electric Vehicles" IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57(6), 3428–3440.
- Lee YL, Barkey ME., 2005, Development of Accelerated Life Test Criteria, Lee YL, Pan J, Hathaway R, Barkey M. Fatigue Testing and Analysis, Elsevier Inc., 313–337.
- Liu T., Hu X., Li S., Cao D., "Reinforcement Learning Optimized Look-Ahead Energy Management of a Parallel Hybrid Electric Vehicle", 2017, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 99, 1-11.
- Paganelli G, Guerra T, Delprat S, Santin J, Delhom M, Combes E., 2000, "Simulation and Assessment of Power Control Strategies for a Parallel Hybrid Car," Proceedings of the Institution of Mechanical Part D: Journal of Automobile Engineering, 214(7), 705–717.
- Pisu P, Rizzoni G., 2007, "A Comparative Study of Supervisory Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles", IEEE Trans. Control Syst. Technol. 15(3), 506-518.
- Pradhan MN, Gaikwad HT., 2015 "Fatigue Analysis of Composite Drive Shaft," International Journal of Engineering Research and Technology, vol. 4(5), 484-489.
- Prez RV, Bossio GR, Moitre D, Garca GO., 2006., "Optimization of Power Management in an Hybrid Electric Vehicle Using Dynamic Programming", Mathematics and Computers in Simulation, 73(14), pp. 244 – 254
- Rajamani R., 2006. Vehicle System Dynamics and Control, United States, Springer.
- Rice RC., 1997, SAE Fatigue Design Handbook., Society of Automotive Engineers.
- Ripaccioli G, Bemporad A, Assadian F, Dextreit C, Cairano SD, Kolmanovsky IV., 2009, "Hybrid Modeling, Identification, and Predictive Control: An Application to Hybrid Electric Vehicle Energy Management", Proc. of Hybrid Systems: Computation and Control, 5469, 321–335.
- Sezer V., Gökaşan M., Bogosyan S., 2011, "A Novel ECMS and Combined Cost Map Approach", IEEE Trans. On Vehicular Technology, 60(8), 3557-3570.
- Sezer V., Ünsal A.H., Timuçin B., Kurar A.F., Akçil L., 2015, Gökaşan M., Muğan A., "Metrobüs Çekiş Karakteristiğinin

İyileştirilmesine Yönelik Veri Toplama-Modelleme Çalışmaları ve Güç Dağıtım Kontrolörü Geliştirilmesi”, Otomatik Kontrol ulusal Konferansı, TOK 2015, Denizli, Türkiye, 729-734.

Shigley JE, Mischke CR, Budynas RG, Liu X, Gao Z., 1989, Mechanical Engineering Design, New York, USA, McGraw-Hill.

Siuru B., 2004, “Phileas: A New Idea in Public Transport”, Mass Transit, 25(2), 44-46.

Vagg, C., Akehurst, S., Brace, C. J., Ash, L., 2016, “Stochastic Dynamic Programming in the Real-World Control of Hybrid Electric Vehicles”. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 24(3), 853-866.

## Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi

### *Landslide Susceptibility Analysis by using GIS for Suşehri (Sivas)*

Gökhan DEMİR\*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 23.03.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 20.11.2017

#### Öz

17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen can ve mal kayıplarına yol açan Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı Kuzey Anadolu Fay Zonuna (KAFZ) yakın bir bölgede meydana gelmiştir. KAFZ aktif bir fay zonudur ve bölgedeki heyelanları tetiklediği düşünülmektedir. Bu etkinin araştırılması ve heyelan zararlarını en aza indirmek amacıyla; heyelan olayının önceden tahmini veya olasılığa dayalı yöntemlerle heyelana duyarlı alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla ilk olarak inceleme alanına ait Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Heyelan envanter verileri, hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları kullanılarak heyelan envanter haritası üretilmiştir. Bu heyelanların %65'i analizde ve %35'i doğrulamada kullanılmak üzere rastgele olarak iki gruba ayrılmıştır. Arazi çalışmaları sonucu heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen, litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık ve faya yakınlık parametreleri duyarlılık analizinde kullanılmıştır. Analizde iki değişkenli istatistiksel yöntem altyapısı esasına dayandırılmış Frekans Oranı yöntemi kullanılarak, KAFZ'na yakın Sivas ili Suşehri ilçesinin heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Duyarlılık haritası, çok az duyarlıdan çok yüksek duyarlılık sınıfına olmak koşuluyla beş değişik bölgeye ayırılmıştır. Duyarlılık haritasının performansını test etmek ve başarısını değerlendirmek için harita modelde kullanılmayan heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış ve Eğri Altındaki Alan (EAA) değeri 0.672 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç ile heyelan duyarlılık değerlendirmesinin kullanılabilir olduğu görülmüştür. Üretilen harita ile bölgede heyelan olayının meydana gelme olasılığının yüksek olduğu arazilerde yapılacak planlamalarda heyelan olasılığı da dikkate alınarak uygulanacak mühendislik önlemleri ile can ve mal kaybının olmaması sağlanabilir.

**Anahtar kelimeler:** CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), Frekans oranı, Heyelan Duyarlılık, Kuzey Anadolu Fayı

#### Abstract

The Kuzulu (Koyulhisar) landslide occurred near the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) on 17 March 2005 resulted loss of life and property. NAFZ is an active fault and is thought to trigger landslides in the region. In order to investigate this effect and minimize landslide damage; prediction of landslide or landslides susceptible areas need to be identified by likelihood methods. Firstly a inventory map for landslide were produced using inventory map of General Directory of Mineral Research, field surveys and aerial photographs. These landslides are randomly divided into two groups that 65% were used in analysis and 35% used for verification. Lithology, aspect, slope gradient, topographical elevation, distance to stream, roads and faults were decided to used in analysis as contributing factors after field studies. Landslide susceptibility map (LSM) of the Suşehri province of Sivas near the NAFZ was created by the Frequency Ratio method. LSM was separated into five classes from very low to very high. For validation of the map and evaluate its success, it was compared with the landslide which was not used in modeling. Consequently the area under curve (AUC) value was determined as 0.622. AUC value showed that the LSM was useable. With LSM, it is possible to avoid the loss of life and property by the engineering measures to be applied considering the possibility of landslide in the plans to be made in the areas where the possibility of landslide event in the region is high.

**Keywords:** GIS, Frequency ratio(FR), Landslide Susceptibility, North Anatolian Fault Zone

\* Gökhan DEMİR; gokhan.demir@omu.edu.tr; Tel: (0362) 312 19 19; orcid.org/0000-0002-3734-1496

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun artması, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler, yerleşim alanlarının bilinçsizce genişlemesine ve doğal afetlerin verdiği zararların artmasına neden olmuştur. Türkiye morfolojik yapısı, coğrafik konumu ve iklim özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara karşılaşmaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, son 50 yıllık (1961-2011) süre içerisinde heyelanlardan kaynaklanan maddi zararların ülke ekonomisine maliyeti 4.5 milyar TL. dir. Bu rakamlar sadece kaybedilen ve yapılan konutlar için geçerli olup, bu rakamlara yeni yerleşim yerleri belirlemeye yönelik çalışmalar, geçici iskan maliyetleri, arazi çalışma maliyetleri, zaman ve iş gücü kaybı vb. diğer kayıp, gider ve harcamalar dahil edilmemiştir (Demir 2011). Bu rakamlara endüstriyel ve tarımsal üretimlerde meydana gelen zararlar, çevresel ortamda oluşan hasarlar ve diğer dolaylı etkilenme sonucu oluşabilecek zarar ve kayıplar da eklendiği takdirde bu ekonomik maliyetin kat kat arttığı görülecektir.

Heyelanların neden olduğu zararları azaltmak amacıyla; heyelan tehlike boyutlarını, heyelanlardan etkilenen bölgeleri belirlemek ve heyelanların yenilenme olasılığının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Diğer doğa olaylarında (deprem, taşkın vb.) olduğu gibi heyelan olması için de kesin bir zaman dilimi vermek zor olduğundan, heyelan olma olasılığının sınıflandırılarak değerlendirildiği haritalar heyelan duyarlılık haritaları olarak isimlendirilmektedir. Heyelan duyarlılık haritası bir alanda heyelanların mekansal olarak olabilirliğini ifade eden haritalar olarak tanımlanmaktadır (Varnes 1984).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri çok büyük avantajlar sağlamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak çok karmaşık ve veri hacmi fazla olan verilerin toparlanması, farklı biçimlerde işlenmesi ve analize tabi tutulması gibi işlemler kısa zaman içerisinde yapılabilmektedir. Bu çalışmada da olduğu gibi literatürde farklı alanlarda CBS kullanılarak yapılmış çok sayıda heyelan duyarlılık değerlendirmesi bulunmakta olup, çalışmalara bakıldığında, büyük çoğunluğunun olasılık yaklaşım modelleri kullanılarak yapıldığı görülmektedir (Akgün vd., 2008; Akgün vd., 2011; Akgün 2012; Atkinson ve Massari 2011; Bijukchhen vd., 2013; Brenning, 2005; Clerici vd. 2006; Dahal vd. 2008; Dağ, 2007, 2012; Das vd., 2010; Demir vd., 2013,

2014; Dewitte vd., 2010; Ercanoğlu vd. 2008; Ghosh ve Carranza 2010; Gökçeoğlu vd., 2014; Gorsevski ve Jankowski, 2010; Jaiswal vd., 2010; Kavzoglu vd., 2013; Lee, 2005; Lee ve TuDan, 2005; Lee vd., 2004, 2007; Lee ve Pradhan 2007; Nefeslioglu vd. 2008a,b; Nourani vd., 2014; Oh vd. 2009; Oh ve Pradhan 2011; Özdemir, 2009; Pistocchi vd., 2002; Pradhan vd., 2006, 2010a, b, Pradhan ve Youssef 2010; Saha vd. 2005a, b; Shahabi, 2014; Sterlacchini vd., 2011; van Den Eeckhaut vd., 2006, 2009, 2010; van Westen, 1993, van Westen vd., 2003; Yeon et al. 2010; Yılmaz 2009; Wang, L.-J. vd., 2013; Xu C ve Xu X., 2013; Yalçın, A vd. 2011; Yeon vd., 2010; Yetkil, 2009; Yılmaz, 2009; Zhao vd., 2015; Bourenane vd., 2016; Wang vd., 2015; Wu vd., 2016; Son vd., 2016; Erener vd., 2016; Akgün ve Erkan 2016).

17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen Kuzulu (Koyulhisar) heyelanının Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakın olması, diğer tüm faktörlerin yanı sıra bölgenin deprem potansiyelinin heyelan oluşumundaki etkilerinin incelenmesi ve heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasının gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla bölgede can ve mal kaybının olmaması, yeni yerleşim alanları ve yapılacak yeni yapılaşmalar için uygun yer seçiminin belirlenmesi için heyelan duyarlılık analizi Frekans Oranı yöntemi kullanılarak yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için, analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar kullanılmış, Eğri Altındaki Alan (EAA) - (Lee, 2005) hesaplanmıştır.

## 2. İnceleme Alanı ve Özellikleri

İnceleme alanı ülkemizin en önemli fay zonlarından olan KAFZ üzerinde yer almakta ve Sivas ili, Suşehri ilçesinin de içinde olduğu, 1/25000 ölçekli Giresun H40-d1 nolu topoğrafik pafta içerisinde kalan yaklaşık 147.33 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) batıda Saroz körfezi ile doğuda Karlıova (Bingöl) arasında yer almaktadır (Şekil 2). Bu noktada ise ülkemizin bir başka önemli aktif fay zonu olan Doğu Anadolu Fay Zonu ile birleşmektedir (Şengör 1979; Şengör vd. 1985; Van Den Eeckhaut, 2010).

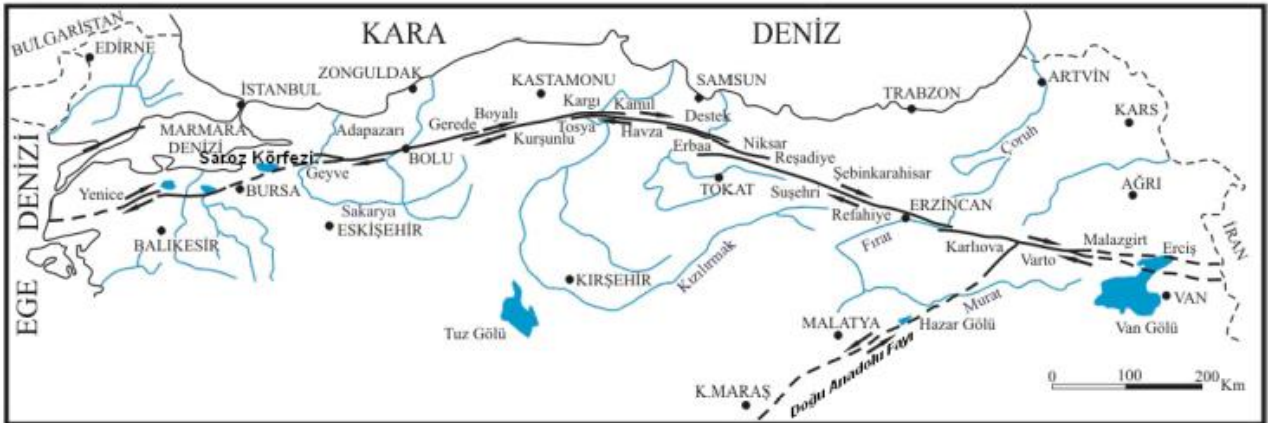
Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde aletsel dönemde kayıt altına alınan ilk deprem 1939 yılında Erzincan'da oluşmuş, 7.9 büyüklüğündeki bu deprem sonucunda yaklaşık 350 km

uzunluğunda, 1942 yılında ise Erbaa-Niksar yakınlarında olan 7.2 büyüklüğündeki deprem

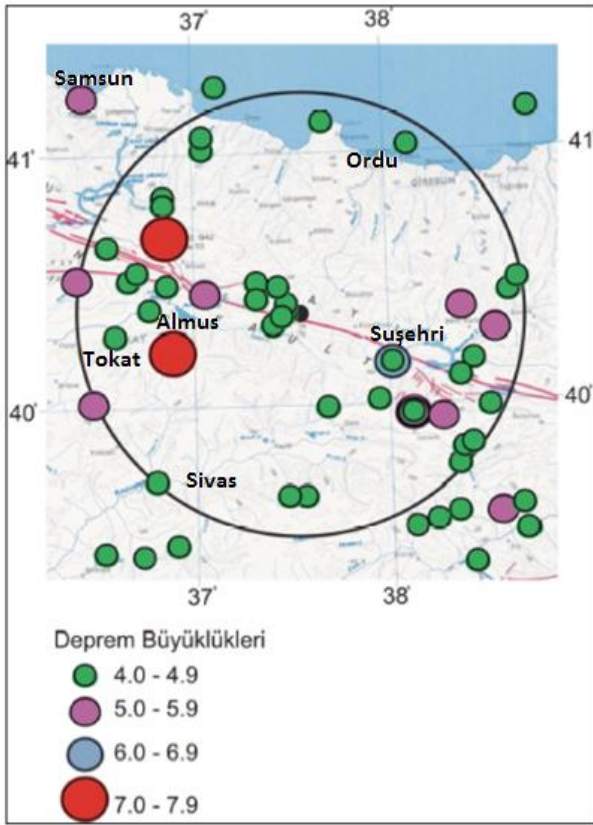
nedeniyle 50 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı oluşmuştur (Şekil 3).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 2. Kuzey anadolu fay zonunun görünümü (Demir 2011).



**Şekil 3.** İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sismik aktiviteyi gösterir harita (Yetkil,2009).

MTA Genel Müdürlüğü'nce oluşturulan jeoloji haritasına göre, KAFZ'nun kuzeyindeki alanda yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter kayalar, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları ile Pliyosen yaşlı bazalt ve diğer volkanik birimler bulunmaktadır. Alt kotlardaki Üst Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter kayalar düşük eğimli bir morfoloji sergilerken, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları yüksek eğimli bir morfoloji ortaya koymaktadır (Kavzoğlu, 2013). KAFZ, Kelkit vadisi içerisinde geçerek, doğuda Reşadiye-Koyulhisar-Suşehri-Akıncılar-Gölova ve Refahiye bölgeleri üzerinden Erzincan ovasına ulaşmaktadır. KAFZ 'nda kayalar parçalanmış - ezilmiş, yer yer sıcak veya soğuk su kaynakları ortaya çıkmıştır. Bölge Karadeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi iklim koşulları arasında yer almaktadır. Bölge geneli için gerçekleşen en yüksek sıcaklıkların ortalaması 36°C, en düşük sıcaklıkların ortalaması ise -9.2°C olarak hesaplanmıştır (Demir 2011). Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1981-2010 yılları arası verilerine göre bölge yıllık ortalama 429,2 mm yağış almaktadır.

### 3. Veri ve Yöntem

Heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesinde, heyelan envanteri ve bölgede heyelan oluşumunda

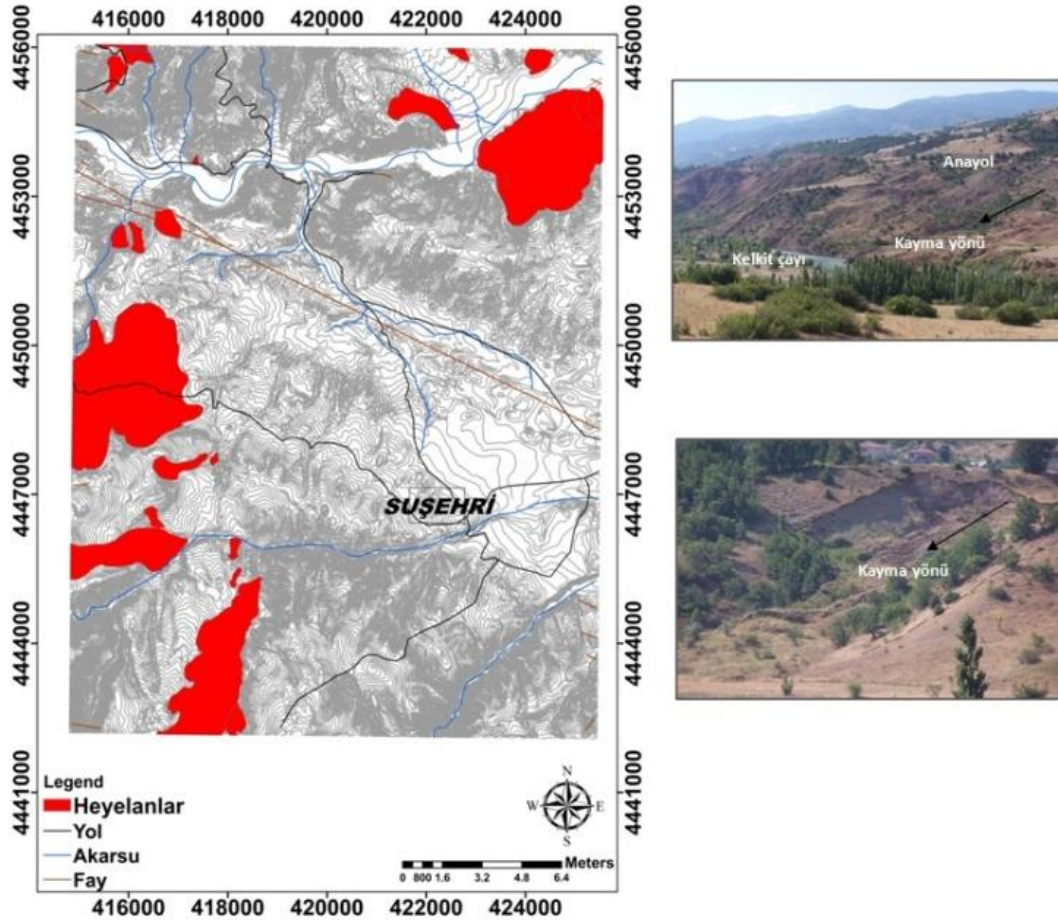
etkili olduğu düşünülen hazırlayıcı parametrelerin elde edilmesi çalışmanın en önemli aşamalarını oluşturmaktadır. Heyelan envanteri ve hazırlayıcı parametrelerin kaliteli, güvenilir olması oluşturulmak istenen duyarlılık haritasının doğruluğunu da önemli ölçüde denetlemektedir (Demir 2011). Bu kapsamda inceleme alanına ait heyelan envanter haritası, alanda yapılan çalışmalar sonucu haritalama, hava fotoğrafları ve MTA tarafından hazırlanan Türkiye Heyelan Envanter verileri kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Heyelanların toplam alanı yaklaşık 13.99 km<sup>2</sup> 'dir.

Yapılan incelemeler sonucunda literatürde en sık kullanılan ve inceleme alanında etkili olduğu düşünülen litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), akarsuya yakınlık, yola yakınlık ve faya yakınlık parametreleri çalışma kapsamında hazırlayıcı parametre verileri olarak kullanılmıştır. Heyelan envanteri ve parametre haritalarının üretilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi CBS yazılımı olan ArcGIS 9.1'den faydalanılmıştır (Şekil 5).

### 3.1. Litoloji

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Suşehri ve civarında heyelanlar birbirinden farklı yaş ve litolojik özellikteki kayalar içinde meydana gelmektedir. İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde, Yukarı Kelkit Çayı bölgesi içinde yer almaktadır. Bu bölge bir bütün olarak çeşitli zamanlarda değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Baykal, 1952; Nebert, 1961; Bergougnan, 1975, 1982; Yılmaz, 1985, Gürsoy, 1995, Tatar vd. 2009, Yılmaz ve Yılmaz 2010, Polat 2011). Bölgede temeli oluşturan Mesozoyik yaşlı birimlerden Pliyosen'e kadar değişik yaş ve özellikte kayalar yüzeylemektedir. Suşehri Havzasını oluşturan düz alanlar ise Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerle kaplıdır. İnceleme alanında temeli oluşturan serpantinleşmiş ultrabazik kayaların üzerine transgresyonla Alt-Orta Eosen yaşlı, daha çok volkanik ara katkılardan oluşan flişler uyumsuz olarak gelir. Bölgeye Üst Eosen-Priyaboniyen'de yerleşmiş olan Köseadağ batoliti, fliş ve bazaltlarla temsil olunan Alt-Orta Eosen yaşlı kayalar içerisinde sokulmuştur.





Şekil 4. İnceleme alanı heyelan envanter haritası

Daha sonra çakıltaşı, kumtaşı, marn ve jipslerde oluşan Oligosen yaşlı birimler üzerine transgresif olarak Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimler uyumsuz olarak gelir. İnceleme alanındaki en genç birimler ise alüvyonlar ve alüvyon yelpaze çökelleridir. Suşehri Havzasının kenarlarından güneye ve kuzeye doğru gidildikçe daha yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Havza kenarlarında, derelerin havza ile birleştiği yerlerde ise fay kontrollü çok sayıda alüvyon yelpazesi gözlenmektedir. Kayaçların kayma direnci parametreleri, gerilmeleri ve su tutma özellikleri içerdikleri litolojik özelliklerine göre değişmektedir. Suşehir ve civarında gelişen heyelanlar birçok farklı kaya biriminde gelişmekle beraber, daha çok Üst Kretase yaşlı fliş özellikli volkano-sedimanter, Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik, Oligosen-Alt Miyosen ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı kayaçlarda gözlenmektedir.

Üst Kretase yaşlı fliş özellikli volkano-sedimanter kayaçlar Karayaprak Karışığı olarak adlandırılan (Yılmaz 1985) ve yastık yapılı volkanitler, tuf, aglomera, kireçtaşı, grovak ve ince taneli kırıntılı

kayalardan oluşan bir hamur ile komşu birimlerden türemiş çeşitli kökende bloklardan yapılı heterojen bir kaya türü topluluğu ile temsil edilmektedir. Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik kayaçlar bölgede yaygın şekilde yüzeylenmektedir. Bu kayaçların değişik seviyeleri sedimanter kökenli kayaçlardan oluşmaktadır. Orta-Üst Eosen yaşlı kayaçlar, genellikle bir çakıltaşı düzeyi ile altındaki birimlerin ve yer yer birimleri birbirinden ayıran bindirmelerin üzerinde yer almaktadır. Gazıpınar Kırıntılı Kayaları (Yılmaz, 1985) ve Akıncılar Formasyonu olarak adlandırılan Eosen yaşlı istif genellikle çakıltaşı ile başlamakta, önce Nummulitesli kireçtaşına, daha sonra kumtaşı, kıltaşı, şeyl araldanmasına geçmektedir. Bu kırıntılı seviyenin üzerinde ise andezitik ve bazaltik türde volkanik kayaçlar izlenmektedir (Polat 2011). Oligosen-Alt Miyosen yaşlı istif, tümüyle karasal çökellerden oluşan Şebinkarahisar Formasyonu ve kısmen denizel kökenli kayaçlardan oluşan Onarı Formasyonu olarak adlandırılmış olup, bu topluluk genellikle kırmızı renkli çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı-kumtaşı, yer yer jips ve sığ denizel kireçtaşından oluşan bir kayaç topluluğu ile temsil edilmektedir. Üst

Miyosen-Pliyosen yaşlı kayalar ise inceleme alanında Kadıköy formasyonu olarak adlandırılmıştır (Yılmaz 1983). Üst Miyosen-Pliyo-Kuvaterner yaşlı tümüyle karasal bir ortamı temsil eden Kadıköy Formasyonu, akarsu ortamının ürünü kalın çakıltası-kumtaşı ardalanımı ile başlar ve üst düzeylere doğru görsel oluşuklara uyumlu olarak geçer. Görsel ortamın ürünleri kiltası-kireçtaşı ardışımıyla temsil edilir. Kadıköy formasyonu inceleme alanında çok geniş bir alanı kaplamaktadır. KAFZ'nun kuzey kesiminde daha yaygın bir yayılım sunduğu gözlenmektedir. Güney kenarda ise Suşehri'nin doğu ve batısına doğru uzanır. İnceleme alanında saptanan alüvyon örtü kalınlıkları 10-20 metre arasında değişmektedir (Demir 2011). Frekans oranı değerlerine bakıldığında Tersiyer (Miyosen) yaşlı kaya birimlerinde değerlerin yüksek olduğu görülmektedir.

### 3.2. Topoğrafik Yükseklik

Deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Analizlerde yükseklik verisinin kullanılabilmesi için, kesiklilik arzeden bir veriden ziyade, süreklilik gösteren ve yükseklik değerlerinin yüzeylerle ifade edildiği sürekli verilere ihtiyaç vardır. Bu sürekli veri, "Sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak bilinmektedir. SYM, duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak yamaç eğimi, yamaç eğim yönü verilerinin de altlığını oluşturmaktadır. Heyelan piksel oranı dikkate alındığında 1226-1353 m arasında değişen yüksekliğin %19.22 ile en yoğun sınıf olduğu ve aynı zamanda frekans oranı değerinin de bu sınıfta yüksek olduğu görülmektedir.

### 3.3. Yamaç eğimi

Eğim değeri, bir yüzeyin diklik durumunun bir ölçüsü olup yatay düzlemle olan açı değerinin derece olarak ifade edilmesiyle gösterilir (Akgün vd., 2008). Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direkt etkili olup duraylılık çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl duraylılık faktörüdür. Ayrıca, bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindedir. Heyelanlı piksel oranı (%) değeri dikkate alındığında 5-10° eğim değerine sahip yamaçlarda heyelan yoğunluğu ve frekans oranının yüksek

olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanının KAFZ'na yakın olması, depremin zeminde yarattığı dinamik etkinin düşük eğime sahip yamaçlarda heyelanı tetiklediği düşünülmektedir.

### 3.4. Yamaç Eğim Yönü

Yamaç eğim yönü (baki), adından da anlaşılacağı üzere yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir veri türüdür. Yamaç eğim yönü (baki), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. İnceleme alanında gözlenen mevcut heyelanların belli yönelime sahip yamaçlarda yoğunlaşması bu parametrenin değerlendirme kapsamına alınmasını zorunlu kılmıştır. İnceleme alanı içerisindeki heyelanlı alanların %48.65'i kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğu yönüne bakan yamaçlarda olduğu görülmektedir. Frekans oranı değerlerinde bu yönlere bakan yamaçlarda yüksek olduğu görülmektedir.

### 3.5. Akarsuya Yakınlık

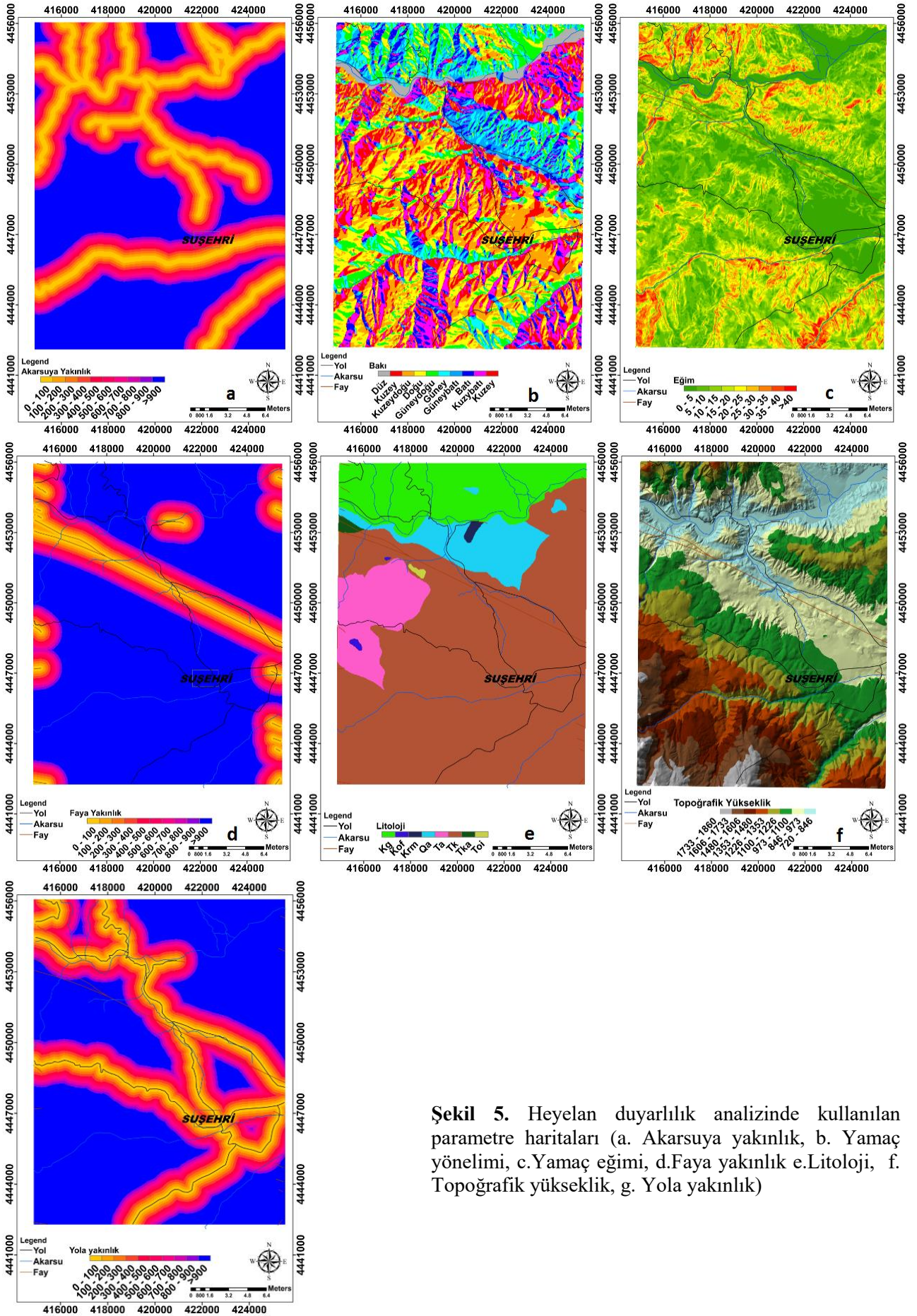
Yamaçların bölgede bulunan Kelkit Çayına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir parametredir. Akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamacı oluşturan zeminin kayma direncini azaltarak yamaçların stabilitesini (duraylılığını) bozmaktadır. Frekans oranı değerine bakıldığında akarsuya 900 m'den daha uzak yamaçlarda yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun, sınıfın piksel sayısının fazla olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

### 3.6. Yola Yakınlık

Yollar inşa edilirken oluşturulan yarma şevleri ile şev açısı çoğu zaman artırılmakta ve böylece yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Yamaç önündeki bu kayıp ve eğimin artması gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu durum heyelanı tetiklemektedir. Frekans oranı değeri ile ilgili değerlendirme bu parametre içinde akarsuya yakınlıkta olduğu gibidir.

### 3.7. Faya Yakınlık

Depremler, yarattıkları sismik ivmeyle heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden birisidir.



Şekil 5. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametre haritaları (a. Akarsuya yakınlık, b. Yamaç yönelimi, c.Yamaç eğimi, d.Faya yakınlık e.Litoloji, f. Topoğrafik yükseklik, g. Yola yakınlık)

Depremler, odaktan itibaren yüzlerce kilometre uzaklıktaki zeminlerde de heyelan, sıvılaşma, yanal yayılma gibi çeşitli duraysızlıklara neden olabilmektedir(Kavzoğlu vd., 2013). İnceleme alanının Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde olması fay parametresinin duyarlılık analizinde dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır. Yakınlık parametrelerinde 900m ‘den büyük tampon zonunun alan içerisindeki yüzdesinin çok büyük olması bu sınıfa düşen heyelan yüzdesinin fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak faya yakınlık parametresinde faya 600-700m yakın sınıfın yüksek frekans oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Faya yakınlık parametre alt sınıflarının frekans oranı değerlerine bakıldığında tüm sınıfların 1’e yakın olması bölgede meydana gelen depremlerin heyelanlar üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

#### 4. Yöntem

##### 4.1. Frekans Oranı

Yapılan çalışmalarda daha önce meydana gelmiş heyelanın oluşumunda etkin olduğu düşünülen faktörlerin, yeni heyelanların meydana gelmesinde de etkin olabileceği düşünülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, olmuş heyelanlar

ile bu heyelanlara neden olan faktörler arasındaki ilişki belirlenebilir ve bu ilişki kullanılarak heyelan olmamış bölgelerde, heyelan olma olasılığı ortaya konulabilir. Bu çalışma kapsamında bu ilişkinin belirlenmesi amacıyla İki Değişkenli İstatistik Değerlendirmesi “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmıştır. Frekans oranı yöntemi ile benzer çalışmalarda kullanılan diğer tüm yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Frekans oranı, bir olayın meydana gelme olasılığının meydana gelmeme olasılığına oranı şeklinde ifade edilmektedir (Demir vd, 2015). Frekans oranının belirlenebilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$FR = PLO/PIF \quad (1)$$

Burada PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir (Tablo 1). Eğer frekans oranı 1’den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1’den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır. (Demir, 2011).

**Tablo 1.** Frekans oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri

Parametreler	Sınıf	Piksel sayısı	Piksel Oranı (PIF) (%)	Heyelanlı piksel sayısı	Heyelanlı piksel oranı(PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
Topoğrafik Yükseklik (m)	720-846	31010	13.155	3112	13.897	1.056
	846-973	35998	15.271	3100	13.844	0.907
	973-1100	47645	20.212	2033	9.079	0.449
	1100-1226	37362	15.850	1992	8.896	0.561
	1226-1353	23902	10.140	4304	19.220	1.896
	1353-1480	20444	8.673	3090	13.799	1.591
	1480-1606	16727	7.096	2575	11.499	1.620
	1606-1733	14797	6.277	2038	9.101	1.450
	1733-1860	7837	3.325	149	0.665	0.200
Eğim (°)	0-5	55043	23.351	4086	18.247	0.781
	5-10	43381	18.403	7026	31.376	1.705
	10-15	39425	16.725	5600	25.008	1.495
	15-20	29681	12.592	2868	12.808	1.017
	20-25	23120	9.808	1407	6.283	0.641
	25-30	18207	7.724	706	3.153	0.408
	30-35	13148	5.578	380	1.697	0.304
	35-40	8004	3.396	174	0.777	0.229
	>40	5713	2.424	146	0.652	0.269
Yamaç yönelimi	Düz	31201	13.236	2528	11.289	0.853
	Kuzey	18925	8.029	2662	11.888	1.481
	Kuzeydoğu	38241	16.223	4452	19.881	1.226
	Doğu	33716	14.303	3267	14.589	1.020
	Güneydoğu	23251	9.864	1084	4.841	0.491
	Güney	17115	7.261	211	0.942	0.130
	Güneybatı	13982	5.932	309	1.380	0.233
	Batı	17392	7.378	1328	5.930	0.804
Kuzeybatı	25244	10.709	3783	16.894	1.577	

Tablo 1'in devamı

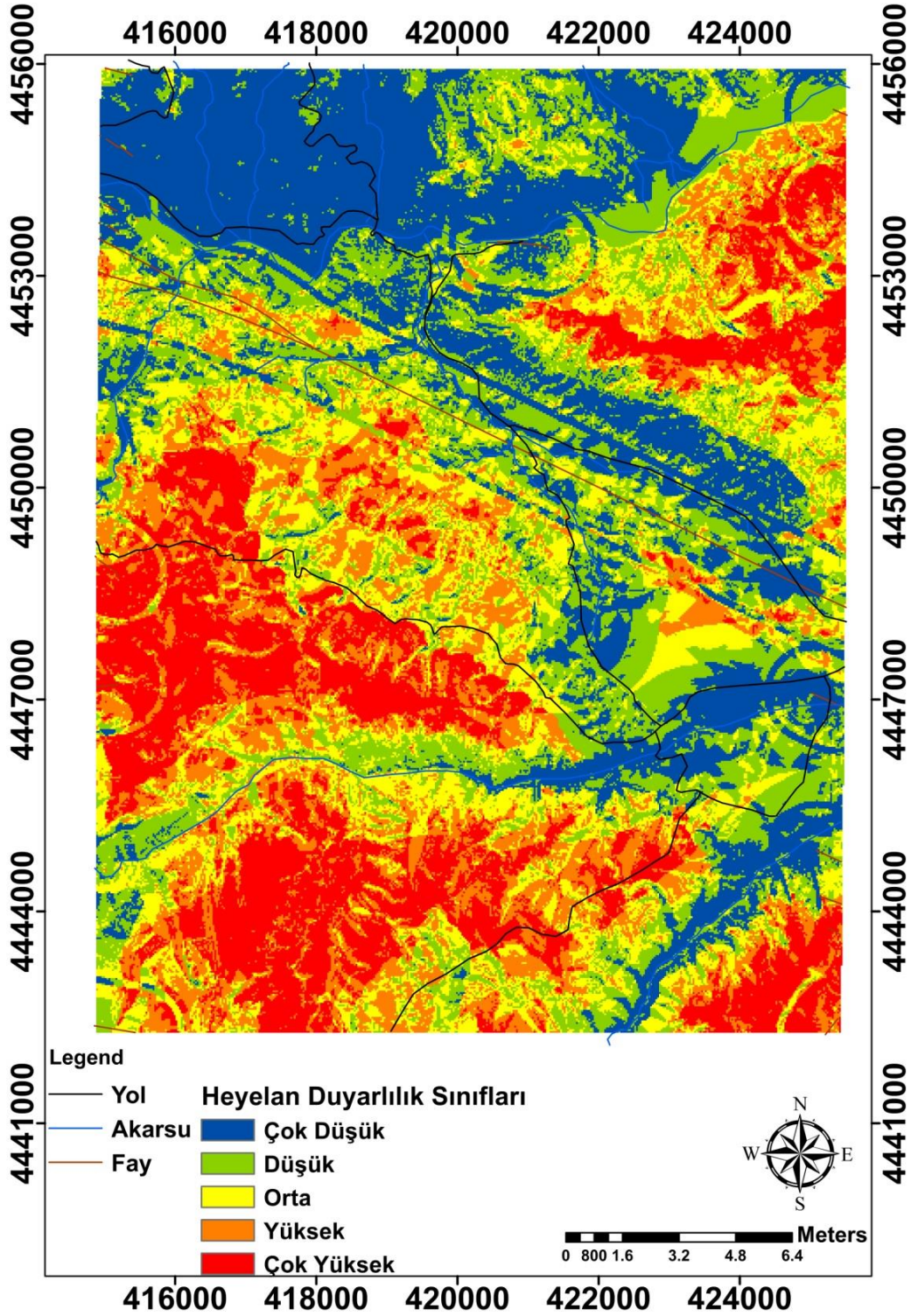
Parametreler	Sınıf	Piksel sayısı	Piksel Oranı (PIF) (%)	Heyelanlı piksel sayısı	Heyelanlı piksel oranı(PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
Akarsuya yakınlık (m)	0-100	21397	9.077	342	1.527	0.168
	100-200	18394	7.803	540	2.411	0.309
	200-300	16855	7.150	607	2.711	0.379
	300-400	16377	6.948	636	2.840	0.409
	400-500	15261	6.474	718	3.206	0.495
	500-600	13749	5.833	934	4.171	0.715
	600-700	13392	5.681	1096	4.894	0.861
	700-800	12457	5.285	1103	4.926	0.932
	800-900	11099	4.709	948	4.233	0.899
	>900	96741	41.040	15469	69.080	1.683
Yola yakınlık (m)	0-100	17685	7.502	983	1.527	0.168
	100-200	15206	6.451	855	3.818	0.592
	200-300	14058	5.964	891	3.979	0.667
	300-400	13817	5.862	895	3.997	0.682
	400-500	12636	5.361	848	3.787	0.706
	500-600	11133	4.723	718	3.206	0.679
	600-700	10799	4.581	697	3.113	0.679
	700-800	9996	4.241	644	2.876	0.678
	800-900	9214	3.909	607	2.711	0.693
	>900	121178	51.407	15255	68.124	1.325
Faya yakınlık (m)	0-100	7776	3.299	569	2.541	0.770
	100-200	7002	2.970	507	2.264	0.762
	200-300	7109	3.016	542	2.420	0.803
	300-400	7579	3.215	752	3.358	1.044
	400-500	7857	3.333	931	4.158	1.247
	500-600	7875	3.341	1055	4.711	1.410
	600-700	8182	3.471	1196	5.341	1.539
	700-800	8083	3.429	1057	4.720	1.377
	800-900	7951	3.373	800	3.573	1.059
	>900	166308	70.553	14984	66.914	0.948
Litoloji	Tk	156637	66.450	12910	57.652	0.868
	Kof	315	0.134	167	0.746	5.581
	Kg	38070	16.150	730	3.260	0.202
	Qa	18975	8.050	582	2.599	0.323
	Krm	617	0.262	0	0.000	0.000
	Tka	755	0.320	0	0.000	0.000
	Ta	19990	8.480	8004	35.743	4.215
	Toi	363	0.154	0	0.000	0.000

Belirlenen bu frekans oranı değerleri ilgili oldukları alt parametre sınıflarına heyelan oluşumunda ağırlık değeri olarak atanmış ve frekans oranlarına göre parametre haritaları ArcGIS yazılımında yeniden sınıflandırılarak oluşturulmuştur. Bu haritalar yazılımda üst üste çakıştırılmak suretiyle heyelan duyarlılık indeksi haritası üretilmiştir. Bu harita, inceleme alanına ait heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi için yazılım kullanılarak eşit aralıklara bölünerek, çok düşük duyarlılık sınıfından, çok yüksek duyarlılık sınıfı aralığında beş sınıfa ayrılmış ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 6).

Heyelan duyarlılık haritasının %23.59'u çok düşük duyarlılık sınıfında, %22.61'i az, %18.70'i orta ve %17.3'ü ise yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir.

## 5. Duyarlılık Haritası Doğruluk Değerlendirmesi ve Sonuçlar

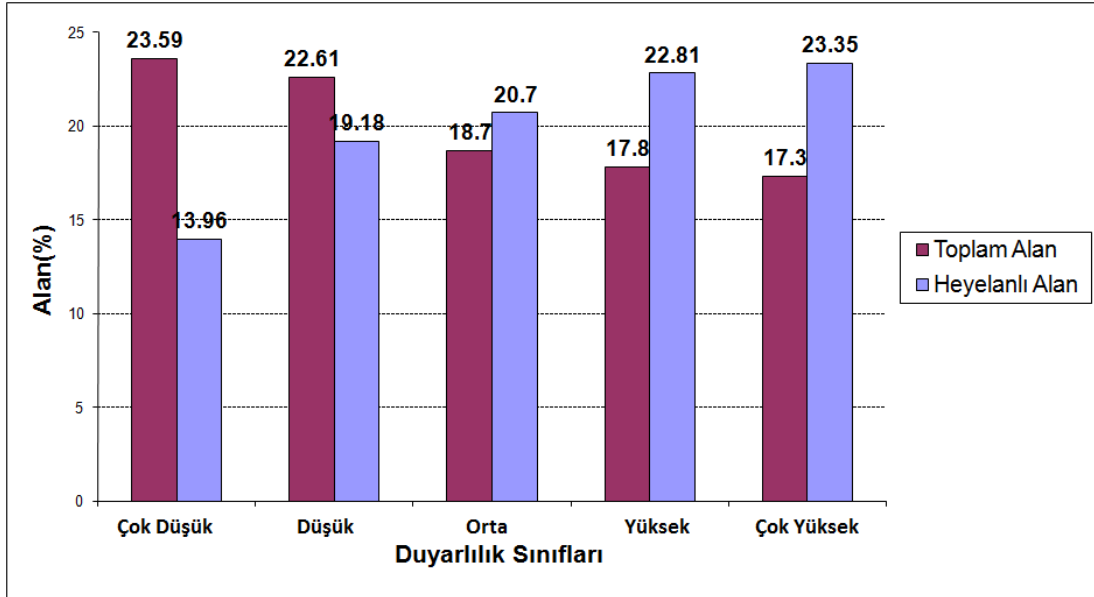
Elde edilen duyarlılık haritasının doğruluğunun belirlenebilmesi için modellemeye yani analize katılmayan toplam heyelanların %35'i ile heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Performansı yüksek haritalarda, yüksek veya çok yüksek duyarlı sınıfta yer alan alanların inceleme alanı içerisinde yüzdelerinin minimum olması beklenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzde oranlarının yüksek olması beklenmektedir (Dağ, 2007, 2011). Doğruluk değerlendirmesinde kullanılan heyelanların % 13.96'sı çok düşük, %19.18'i düşük, %20.70'si orta, %22.81'i yüksek ve %23.35'i ise çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).



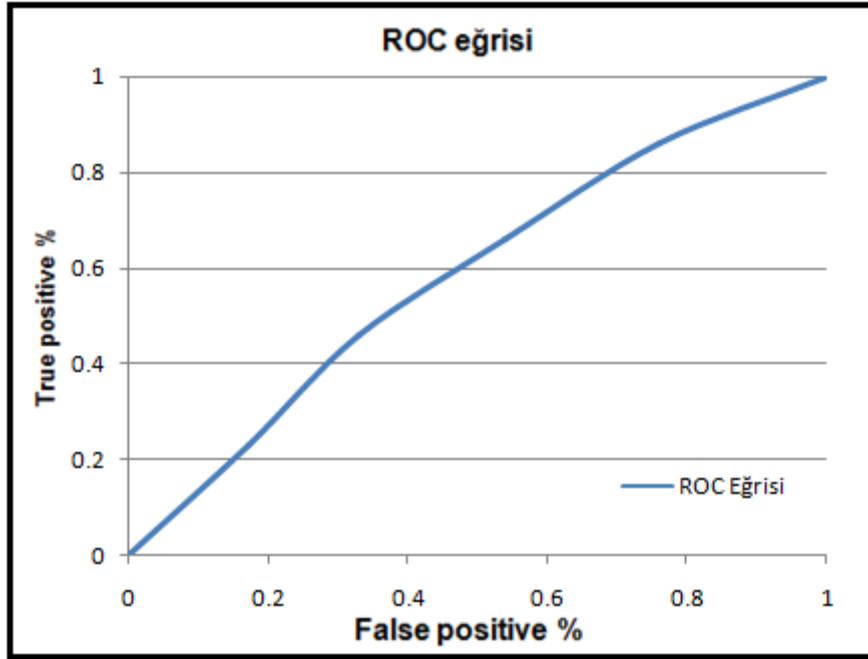
Şekil 6. Frekans oranı yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası

Diğer bir test ve başarı değerlendirmesi için Eğri Altındaki Alan yöntemi kullanılmıştır. EAA yönteminde bu alana ilişkin değer 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer 1 olması uyumun mükemmel olduğunu, 0.5 olması ise rastgele bir uyum olduğunu göstermektedir (Demir 2011). EAA yönteminde ROC ( Relative Operating

Characteristic) eğrisi çizilmiş ve bunun için, heyelan duyarlılık haritalarının her bir sınıfına düşen toplam ve heyelanlı piksellerden yararlanılmıştır. EAA değerlendirmesinden elde edilen değeri heyelan duyarlılık haritası için 0.672 olarak bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 7. Duyarlılık sınıfları ve Heyelanların duyarlılık sınıflarındaki alanların yüzdeleri



Şekil 8. ROC eğrisi

Bu değer, frekans oranı yöntemi kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Frekans oranı yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde araştırmacılar tarafından sıkça kullanılan ve diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçların elde edildiği bir yöntemdir. Frekans oranı değerlerine göre eğim derecesi az, daha çok kuzeye bakan yamaçlar, hemen hemen tüm fay yakınlık değerleri, Alibaba formasyonu, 1226-1353m arası topografik yüksekliğe sahip yamaçlar ile heyelanlar arasındaki ilişkinin yüksek olduğu

görülmüştür. Yamaç eğimi az ( $20^\circ <$ ) olan yamaçlarda heyelanlı piksellerin fazla olması ve frekans oranı değerlerine göre heyelanların ilişkisinin bu çalışmada eğim derecesi az yamaçlarla daha fazla olmasının öncelikle litoloji ve zemin durumuyla ilişkilendirilebileceği ve sonrasında depremin bu yamaçlarda meydana getirdiği dinamik etkiyle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda faya yakın veya uzak ( $>900$ ) yamaçların heyelanla ilişkisine bakıldığında ise frekans oranı değerlerinin tüm yakınlık sınıflarında 1'e yakın ve üstünde olduğu

görülmektedir. Bu da faya belli yakınlıkta olan yamaçların depremin yarattığı dinamik etkiden litolojik birimlerin özellikleri ve zeminlerin kendi sahip olduğu zemin büyütmesi değeri de dikkate alındığında farklı oranlarda etkilendikleri düşünülmektedir. Bu çalışma depremin yarattığı dinamik etkinin heyelanlar üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Tabiki heyelanların oluşumunu tek bir nedene bağlamak mümkün değildir. Heyelan gelişimi, nedenden sonuca kadar sürekli olaylar dizisidir. Çoğunlukla birçok nedenin aynı zamanda mevcut olduğu ve en sonunda hangi nedenin denge bozulmasını meydana getirdiğinin karar verilmesinin güç ve yanlış olduğu, çoğu kez son etkenin dengesi esasen bozulma sınırına gelmiş olan toprak kütlelerini harekete geçirmek için bir tetikleyici olduğu ve sadece son etkeni neden olarak kabul etmenin yanlış olacağı düşünülmektedir. Bölgenin KAFZ yakın olması diğer tüm etkilerin yanında yamacın dengesini bozan son etkenin depremin olabileceği gözardı edilmemelidir. Bunun hangi büyüklüklerdeki depremlerin olabileceği de bölge için yeni bir çalışma konusu olabilir. Heyelana duyarlı alanların tesbiti sonrasında bu alanlarda alınacak tüm tedbirler Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı ve diğer heyelanlar sonrası yaşanan can ve mal kayıplarının azaltılmasını hatta önlenmesini sağlayacaktır. Bölgede bu ve benzer çalışmaların, özellikle il ve ilçe merkezli çalışmaların daha fazla yapılması, bu anlamda konuyla ilgili bilim dallarının birlikte çalışması ve sonrasında yapılacak planlamalara altlık oluşturacak benzer değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Heyelan duyarlılığı yüksek bölgelerde yapılacak her türlü planlamada detaylı saha incelemesi yapılmalı, zemin etüt çalışmalarına ek olarak geoteknik değerlendirmeler sonucu gerekli önlemler mutlaka alınmalıdır.

## 6. Kaynaklar

- Akgün A, Kincal C, Pradhan ., 2012. Application of remote sensing data and GIS for landslide risk assessment as an environmental threat to Izmir city (west Turkey), *Env mon and ass*, 184: 9, 5453-5470.
- Akgün A, Sezer EA, Nefeslioglu HA, Gökçeoğlu C, Pradhan B., 2011. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Comp Geo*, 38, 1. 23-34.
- Akgün A., Erkan O., 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey, *Arab J Geosci*, 9: 165, DOI 10.1007/s12517-015-2142-7
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood–frequency ratio and weighted linear combination models, *Environ. Geol.* 54, 1127–1143.
- Atkinson PM, Massari R., 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the central apennines, Italy, *Geomorphology*.doi:10.1016/j.geomorph.2011.02.001.
- Baykal, F., 1952. Recherchesgeologiques la region de Kelkit-Şiran (Nord-East de L’Anatolie): Rev.Fac.Sc.Üniv.İst., Ser. B.T.17, fas, 4, 325-340.
- Bednarik M, Yilmaz I, Marschalko M., 2012. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec-Sared landslide area in south-west Slovakia, *Nat Hazards* 64(1), 547–575.
- Bergougnan, H., 1975. Presence de troisunitescharrie'es a la borduresuddesPontides dans le Haut-Kelkit. Ages et sensdemises en place: *C.R. Ac. Sci.*, 280, 2199-2201, Paris.
- Bergougnan, H., 1982, Remnants of a Pre-Late Jurassic ocean in northernTurkey: Fragments of Permian - TriassicPaleo-Tethys? Discussion. *GeologicalSociety of AmericaBulletin*, 93, 929- 932.
- Bijukchhen SM, Kayastha P, Dhital MR., 2013. A comparative evaluation of heuristic and bivariate statistical modelling for landslide susceptibility mappings in Ghurmi–Dhad Khola, east Nepal, *Arab J Geosci*, 6, 2727–2743.
- Bourenane H., Guettouche M. S., Bouhadad Y., Braham M.,2016. Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods, *Arab J Geosci*, 9: 154, DOI 10.1007/s12517-015-2222-8.



- Brenning, A., 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(6), 853–862.
- Bui DT, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB., 2011. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzy inference system and GIS, J.Comp Geosci, 45, 199-211.
- Clerici A, Perego S, Tellini C and Vescovi P., 2006. A GIS-Based Automated Procedure for Landslide Susceptibility Mapping by the Conditional Analysis Method: The Baganza Valley Case Study (Italian Northern Apennines), EnvGeo, 50, 941-961.
- Dağ, S., 2007, Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.
- Dağ, S., Bulut, F., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye) Jeoloji Mühendisliği Dergisi,36, 1.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,1, 2, 151-176.
- Dahal RK, Hasegawa S, Nonomura A, Yamanaka M, Takuro M, Nishino K.,2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping, Environ Geol, 54:311-324.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Zhang, X.H., 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study, Engineering Geology, 61, 257–271.
- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A. and Hack, R., 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India), Geomorphology, 114, 4, 627–637.
- Demir G, Aytekin M, Akgün A, İkizler SB, Tatar O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, Nat Haz, 65, 1481–1506.
- Demir G, Aytekin M, Akgün A., 2015. Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey), Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-014-1332-z.
- Demir, G., 2011. Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı
- Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC, Dhital MR, Althuwaynee OF., 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya, Nat Hazards, 65:135–165.
- Dewitte O, Chung C, Cornet Y, Daoudi M, Demoulin A., 2010. Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: a likelihood ratio-based approach in W Belgium, Geomorphology, 122, 153–166.
- Ercanoglu M, Kasmer O, Temiz N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping, Bull Eng Geol Environ, 67:565–578.
- Erener A., Mutlu A., Düzgün H.Ş., 2016. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM), Engineering Geology, 203, 45–55.
- Ghosh S, Carranza EJM., 2010. Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rocksliding in Darjeeling Himalaya, India, Geomorphology, 122:1–24.
- Gorsevski PV, Jankowski P., 2010. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets

- and Kalman fitler, Comput Geosci, 36:1005–1020.
- Gökçeoğlu C, Sönmez H, Nefeslioğlu HA, Duman TY and Can T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity, Eng Geol 81, 65-83.
- Gökçeoğlu C., Nefeslioğlu A.H., Türer D., Akgün A., Ayaş Z., Temimhan M., 2014. Determination Of Coastal Border Line: An Integrated Approach For A Part Of Antalya Coast (Turkey), Arab J Geosci, 1-10.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostanci, H.T., ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity controlled slope failure zoning for a granitoid complex: A fuzzy approach. Rock Mechanics and Engineering, Volume 5: Surface and Underground Projects, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1–25.
- Gürsoy, H., 1995, The main tectonic structures of the Kelkit (Gümüşhane) region and their relationship with the regional tectonic structures, Edited by A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl, S. Örcen, Proceedings of the International Symposium of the Geology of the Black Sea Region, p. 292-299, 7-11 September 1992, Ankara
- Kavzoğlu T, Sahin EK, Çölkesen I., 2013. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression, Landslides, doi:10.1007/s10346-013-0391-7.
- Lee S, Pradhan B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, Landslides, 4:33–41.
- Lee S., 2005. Application of Logistic Regression Model and Its Validation for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Remote Sensing Data, Int. J. Remote Sensing 26, 1477-1491.
- Lee, S., TuDan, N., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, Environmental Geology, 48, 778–787.
- Nandi A, Shakoor A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Eng Geol, 110:11–20.
- Nebert, K., 1961. Kelkit çayı ve Kızılırmak giriş sahalarının jeolojik yapısı, M.T.A. Enst. Yay. Ankara.
- Nefeslioglu H, Duman TY, Durmaz S., 2008b. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of turkey), Geomorphology, 94(3–4):401–418.
- Nefeslioglu H, Gokceoglu C, Sonmez H., 2008a. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, Eng Geol, 97(3/4):171–191.
- Nourani V, Pradhan B, Ghaffari H, Sharifi S S., 2014. Landslide susceptibility mapping at Zonouz Plain, Iran using genetic programming and comparison with frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, Nat Hazards, 71:523–547 DOI 10.1007/s11069-013-0932-3.
- Oh HJ, Lee S, Chotikasathien W, Kim CH, Kwon JH., 2009. Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand, Environ Geol, 57:641–651.
- Oh H-J, Pradhan B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, Comp. Geosc., 37(9):1264-1276.
- Ozdemir A., 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS, Environ Geol, 57:1675–1686.
- Pistocchi, A., Luzi, L., Napolitano, P., 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods, Environmental Geology, 41, 765–775.
- Polat, A. (2011). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Suşehri Havzası'ndaki Bölümünün Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri.

- C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 256 s.
- Pourghasemi HR, Goli Jirandeh A, Pradhan B, Xu C, Gokceoglu C., 2013. Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS, J Earth Syst Sci, 122(2):349–369.
- Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C, Deylami Moezzi K., 2012. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS, Geomat Natl Hazards Risk, doi:10.1080/19475705.2012.662915.
- Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C, Mohammadi M, Moradi HR., 2012. Application of weights-of evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, Arab J Geosci., doi:10.1007/s12517-012-0532-7.
- Pradhan B and Youssef AM., 2010. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models, Arab J Geosci, 3:319–326.
- Pradhan B, Singh RP, Buchroithner MF., 2006. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data, Adv Space Res, 37:698–709.
- Pradhan B., 2010a. Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches, J Ind Soc Rem Sens, 38(2):301–320.
- Pradhan B., 2010b. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, Advncs Space Res, 45(10):1244–1256.
- Pradhan B., 2011. Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with Geo-information techniques to landslide susceptibility mapping and their comparison with logistic regression modeling, Environmental and Ecological Statistics, 18: 3. 471-493.
- Pradhan B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS, Computers & Geosciences, 51, 350-365.
- Regmi AD, Yoshida K, Pradhan B, Pourghasemi HR, Khumamoto T, Akgun A., 2013. Application of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models, and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya, Arab J Geosci, doi:10.1007/s12517-012-0807-z.
- Saha AK, Gupta RP, Sarkar I, Arora MK, Csaplovics E., 2005a. An approach for GIS—based statistical landslide susceptibility zonation—with a case study in the Himalayas, Landslides, 2:61–69.
- Saha AK, Gupta RP, Sarkar I, Arora MK, Csaplovics E., 2005b. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Int J Remote Sens, 23(2):357–369.
- Shahabi H, Khezri S, Ahmad B B, Hashim M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, Catena, 115, 55–70.
- Son J., Suh J., Park H.D., 2016. GIS-based landslide susceptibility assessment in Seoul, South Korea, applying the radius of influence to frequency ratio analysis, Environ Earth Sci, 75:310, DOI 10.1007/s12665-015-5149-1.
- Sterlacchini S, Ballabio C, Blahut J, Masetti M, Sorichetta A., 2011. Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps, Geomorphology, 125:51–61.
- Şengör, A.M.C., Görür N, Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ. 37 (in honor of J.C. Crowell), ed. KT Biddle, N Christie-Blick, pp. 227–64
- Şengör, A.M.C. (1979). The North Anatolian Transform Fault: its tectonic significance. J. Geol. Soc. London, 136:269–82.

- Tatar, O., Gürsoy, H., Altunel, E., Akyüz, H.S., Topal, T., Şahin, M., Kavak, K.Ş., Çakır, Z., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L., Dikmen, Ü., Türk, T., Poyraz, F., Hastaoğlu, K.Ö., Zabcı, C., Karabacak, V., Akın, M., Akpınar, Z., Polat, A., Gürsoy, Ö., Demir, G., Ayazlı, İ.E., Yalçın, Ç., Yavaşoğlu, H., Karaman, H. ve Erden, T. (2009). Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, Cilt 1 (Neotektonik, Paleosismoloji, GPS, Heyelan Duyarlılık ve Radar Interferometri), DPT Proje No 2006K-120220, 868 s
- Tatar, O., Türk, T., Gürsoy, H., Hastaoğlu, K., Ayazlı, E., Poyraz, E., Gürsoy, Ö., Zabcı, C., Demir, G., Dikmen, Ü., Akın, M., Mesci, L., Koçbulut, F., Kavak, K.Ş., Sezen T.F. ve Polat, A., 2007. Kelkit vadisi afet bilgi sistemi (kabis) altyapısının oluşturulması, Ulusal coğrafi bilgi sistemleri kongresi, K.T.Ü, Trabzon, s.102.
- Tien Bui D, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB., 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam) : a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, *Catena*, 96, 28-40.
- Van Den Eeckhaut M, Marre A, Poesen J., 2010. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France), *Geomorphology*, 115:141–155.
- Van Den Eeckhaut M, Reichenbach P, Guzzetti F, Rossi M, Poesen J., 2009. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium, *Nat Hazard Earth Sys*, 9:507–521.
- Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium), *Geomorphology*, 76, 392–410.
- Van Westen CJ, Rengers N, Soeters R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Nat Hazards*, 30:399–419.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation, *ITC-Journal*, 4, 393-399.
- Wang L. J., Guo M., Sawada K., Lin J., Zhang J., 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network, *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 1, p. 117-136, DOI 10.1007/s12303-015-0026-1.
- Wang, L.-J., Sawada, K., Moriguchi, S., 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy.” , *Comput. Geosci.* 57, 81–92.
- Wu Y., Li W., Liu P., Bai H., Wang Q., He J., Liu Y., Sun S., 2016. Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China, *Environ Earth Sci*, 75:422, DOI 10.1007/s12665-015-5194-9
- Xu C, Xu X, 2013. Controlling parameter analyses and hazard mapping for earthquake-triggered landslides: an example from a square region in Beichuan County, Sichuan Province, China, *Arab J Geosci*, 6:3827–3839.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., Yomralioglu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena*, 85, 274–287.
- Yeon Y-K, Han J-G, Ryu KH., 2010. Landslide susceptibility mapping in Inje, Korea, using a decision tree, *Eng Geol*, 116:274–283.
- Yetkil, V., 2009, Gölova (Sivas) Güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri,” Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 74 s.
- Yılmaz, A., 1983, Tokat (Dumanlıdağı) ile Sivas (Çeltekdağı) dolaylarının temel jeoloji

özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu:  
MTA. Dergisi 99-100, 1-18.

Yılmaz, A., 1985, Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları arasının temel jeolojik özellikleri ve yapısal evrimi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 28, 79-92.

Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2010. Kuzey Anadolu Fayı' nın Suşehri ile Gölova (Agvanis) arasındaki bölgede atımı. Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi, 27 (2), 89-96.

Yılmaz I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression,

artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), Comput Geosci, 35:1125–1138.

Zhao C., Chen W., Wang Q., Wu Y., and Yang B. 2015. A comparative study of statistical index and certainty factor models in landslide susceptibility mapping: a case study for the Shangzhou District, Shaanxi Province, China, Arab J Geosci, 8:9079–9088, DOI 10.1007/s12517-015-1891-7.

## Aslanpençesi (*Alchemilla ellenbergiana*) Ekstrelerinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi

*Determination of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Lady's Mantle (Alchemilla ellenbergiana) Extracts*

Tuba ACET<sup>\*1,a</sup>, Kadriye ÖZCAN<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 24.04.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 20.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 21.11.2017

### Öz

Bu çalışmada, Gümüşhane bölgesi halk tıbbında kullanılan *Alchemilla ellenbergiana* (aslanpençesi) bitkisinin farklı polariteye sahip çözücülerle (hekzan, etil asetat, etanol ve metanol) hazırlanmış ekstrelerinin toplam fenolik miktarları, antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri araştırıldı. Toplam fenolik miktarı gallik asit eşdeğeri olarak spektrofotometrik yöntemle ölçüldü ve en yüksek değerler metanol ve etanol ekstrelerinde tespit edildi. Ekstrelerin antioksidan aktiviteleri ABTS [2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)] ve DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemleriyle spektrofotometrik olarak belirlendi ve troloks eşdeğeri olarak hesaplandı. Antimikrobiyal aktivite disk difüzyon yöntemiyle patojen mikroorganizmalar üzerine test edildi. Sonuç olarak bitkinin etanol ve metanol ekstrelerinin antioksidan aktivitesi diğer ekstrelerden anlamlı olarak yüksek bulundu ( $p<0.05$ ). Benzer olarak, etanol ve metanol ekstrelerinin antimikrobiyal aktivitesi de diğer ekstrelerden yüksek bulundu.

**Anahtar kelimeler:** ABTS, *Alchemilla ellenbergiana*, antimikrobiyal aktivite, antioksidan aktivite, disk difüzyon, DPPH

### Abstract

In this study, different polarity solvent (hexane, ethyl acetate, ethanol and methanol) extracts of *Alchemilla ellenbergiana* (Lady's Mantle), which used in folk medicine plant in Gümüşhane region, were investigated in terms of total phenolic contents, antioxidant and antimicrobial activity. Total phenolic contents were measured by spectrophotometric method as gallic acid equivalent and detect in the highest in ethanol and methanol extracts. Antioxidant activity of extracts were determined by ABTS [2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt] and DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) methods by spectrophotometric method and calculated as trolox equivalent. Antimicrobial activity was tested against to pathogen microorganisms by disc diffusion method. As a result, it has been found that ethanol and methanol extracts of plant have high antioxidant and antimicrobial activity ( $p<0.05$ ). Similarly, it has been found that antimicrobial activity of ethanol and methanol extracts higher than others.

**Keywords:** ABTS, *Alchemilla ellenbergiana*, antimicrobial activity, antioxidant activity, disc diffusion, DPPH

\*a Tuba ACET; tubaacet@hotmail.com; Tel: (0 456) 233 10 00 (dahili: 1881); orcid.org/000-0002-0981-9413

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-4913-6035

## 1. Giriş

Ülkemizde genellikle “aslanpençesi” adıyla bilinen *Alchemilla* L. cinsi Rosaceae (Gülgiller) familyasına ait çok yıllık otsu bir bitkidir. 1000’den fazla tür ile temsil edilen *Alchemilla* cinsi genellikle holarktık yayılım göstermekle beraber, Etiyopya’nın Ümit Burnu’ndan, Doğu Afrika Dağları’na kadar, Madagaskar, Güney Hindistan, Seylan ve Cava adası bölgelerinde bulunmaktadır (Izmailow, 1981). *Alchemilla*’nın Avrasya taksonları Rothmalen tarafından iki seksiyona ayrılmıştır. Bu seksiyonlar Pentaphyllon Rothm. ve Brevicaulon Rothm.’dur. Aynı araştırmacıya göre bunlara ait taksonların bir kısmı geniş yayılışlı, bir kısmı da endemiktir (Rothmalen ve Repert, 1937). Türkiye florasındaki kayıtlara göre, Türkiye’de yayılım gösteren *Alchemilla* türlerinin tamamı *Alchemilla* seksiyonuna aittir. Bu seksiyon 3 subseksiyon (*Chirophyllum Rothmn*, *Heliandrosium Rothmn* ve *Calycanthum Rothmn*) ve 6 seriye (*Saxatiles Bus*, *Sericeae Bus*, *Pubescentes Bus*, *Vulgares Bus*, *Elatae Rothmn* ve *Calycinae Bus*) ayrılmıştır (Hayırhoğlu vd., 1997). Bunların pek çoğu Kuzey Anadolu’da bulunmaktadır (Davis, 1970). Özellikle, iklimsel ve coğrafi özellikleri bakımından farklı özelliklere sahip Gümüşhane ilinin sarp yamaçlarında *Alchemilla ellenbergiana* ROTHM. türü, 2000-3000 m. yüksekliklerde geniş yayılım göstermektedir (Tubives) ve bölge halkı tarafından tıbbi amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Literatürde de, *Alchemilla* türlerinin pek çok bölgede kullanıldığı ve antioksidan, antimikrobiyal, diüretik, tonik, üreme bozukluklarını giderici, hücre yenileyici ve antidiyabetik olmak üzere pek çok önemli özelliği olduğu ileri sürülmüştür (Viegi vd., 2003; Altundag ve Öztürk, 2011; Kaya ve Arturan, 2016; Ozbek vd., 2017).

Bitkiler, hayatın sürdürülebilmesi için, başlıca besin kaynağı olmasının yanı sıra, sağlığımız için oldukça önemli olan fenolik ve flavonoidler gibi çeşitli fitokimyasallar da içerirler (Gülçin vd., 2011). İçerdikleri zengin fitokimyasallar onların yüzyıllar boyunca kullanılmalarını sağlamıştır ve günümüzde de pek çok ilaç tıbbi bitkilerden elde edilmektedir (Ozdemir ve Alpınar, 2015). Ayrıca, Dünya Sağlık Örgütü’nün raporlarına göre, dünya nüfusunun % 80’i öncelikli sağlık bakımı için bitkisel ilaçları kullanmaktadır (Güler vd., 2015). Son yıllarda, çeşitli etnobotanik çalışmalardan söz edilmiş olsa da (Güler vd., 2015; Paksoy vd., 2015; Sargin, 2015) özellikle Gümüşhane

bölgesinde kullanılan tıbbi bitkilerin bilimsel kaydı henüz net değildir. Bu nedenle, yaptığımız çalışma ile Gümüşhane ilinde halk arasında yara iyileştirici, iltihap kurutucu veya besin katkısı gibi amaçlarla, çeşitli yöntemler ile kullanılan aslanpençesi bitkisinin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışma, Gümüşhane ilinde yayılım gösteren *Alchemilla ellenbergiana* türüne ait yapılmış ilk çalışmadır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Bitkilerin eldesi

Bitkiler Artabel eteklerinde yer alan Gülaçar köyü sakinlerinden temin edildi. Tür tayini, Gümüşhane Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü’nde oluşturmuş olduğumuz bitki herbaryumunda TAA 1605 kodu ile muhafaza edilerek; “Rothmalen in Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 50. 1941” nomenklatür referansı temel alınarak Yrd. Doç. Dr. Tuba ACET tarafından yapıldı. Toplanan bitkiler direkt güneş ışığına maruz bırakılmadan 2 hafta boyunca kurutuldu ve kurutulmuş bitkiler mekanik öğütücü (Fritsch P-15, Germany) yardımıyla toz haline getirildi.

### 2.2. Bitki Ekstrelerinin Eldesi

Bitki ekstre eldesi için toz haldeki bitki parçacıkları kullanılmıştır. Ekstraksiyon için farklı polariteye sahip hekzan (Merck), etil asetat (Merck), etanol (Merck) ve metanol (Merck) tercih edilmiştir. Ekstraksiyon, 10 g bitki üzerine 200 ml solvent eklenerek 37°C, 125 rpm’de 24 saat boyunca çalkalanarak gerçekleştirilmiştir. 24 saat sonra kağıt kaba filtre yardımıyla bitki parçacıkları solventten uzaklaştırılmıştır. Vakum altında 37°C’yi aşmayan sıcaklıkta solvent evaporatör (Heidolf) yardımıyla uzaklaştırılmış ve elde edilen kuru ekstre analizlerde kullanılmak üzere 4°C’de muhafaza edilmiştir. Toplamda 4 ekstre elde edilmiştir. Her ekstre için 10 mg/ml stok solüsyon DMSO (dimetil sülfoksit-Sigma Aldrich) kullanılarak hazırlanmış ve analizlerde stok solüsyon kullanılmıştır.

### 2.3. Toplam Fenolik Tayini

Ekstrelerin toplam fenolik içeriği Folin-Ciocaltaeu yönteminde küçük değişiklikler yapılarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür (Slinkard vd., 1977). Yöntem üzerinde küçük değişiklikler yapılmış ve 2 saat oda sıcaklığında bekletilerek 750 nm dalga boyunda mikropilaka okuyucu (Biorad) ile ölçüm yapılmıştır. Reaksiyon 31.25 µl

ekstre solüsyonu, 125 µl folin reaktifi (1:9) ve 93.75 µl %1 sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) eklenerek toplamda 250 µl hacimde mikropilaka kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-150 µg/ml konsantrasyon aralığında gallik asit standart eğrisi oluşturulmuş ve hesaplamalar standart eğrisi referans alınarak yapılmıştır. Toplam fenolik miktarı gallik asit eşdeğeri mg GAE/g ekstre olarak hesaplanmıştır.

## 2.4. Antioksidan Aktivite Tayini

### 2.4.1. ABTS Yöntemi

Örneklerin antioksidan kapasitesi Re ve ark., (1999) tarafından geliştirilen spektrofotometrik ölçüm yönteminde küçük değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. Kısaca, 7mM ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)] ve 2.45 mM potasyum persülfat (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) kullanılarak ABTS solüsyonu (OD: 0.7) hazırlanmış ve antioksidan aktivite tespitinde kullanılmıştır. 80 µl ekstre solüsyonu üzerine 160 µl ABTS solüsyonu eklenerek 6. dakikada mikropilaka okuyucuda 750 nm dalga boyunda ölçüm yapılmıştır. Troloks standart eğrisi çizilmiş ve sonuçlar troloks eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. DPPH radikali giderme aktivitesi % inhibisyon değerleri ise aşağıda verilen formül ile hesaplandı:

$$\% \text{ İnhibisyon} = [(A_{\text{Kontrol}} - A_{\text{Ekstre}}) / A_{\text{Kontrol}} \times 100]$$

A<sub>Kontrol</sub>: Kontrol absorbans değeri

A<sub>Ekstre</sub>: Bitki ekstresinin absorbans değeri

ABTS'nin % 50'sinin inhibisyonunu sağlayan ekstre ve standart madde konsantrasyonu IC<sub>50</sub> olarak tanımlanır. Bu değer, % inhibisyon-ekstre konsantrasyonu grafiğinden elde edilen doğru denklemden hesaplandı ve sonuçlar µg/ml olarak verildi.

### 2.4.2. DPPH Yöntemi

Örneklerin radikal süpürme aktivitesi (DPPH) Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından açıklanan yöntemde küçük değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kısaca, metanol kullanılarak çözülen 0.1 mM DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) kullanılarak spektrofotometrik olarak 490 nm dalga boyunda mikropilaka okuyucu ile ölçüm yapılmıştır. 125 µl ekstre çözeltilisi üzerine 125 µl DPPH eklenmiş ve 45 dakika oda sıcaklığında bekletilerek ölçüm yapılmıştır. Standart olarak troloks kullanılmış ve sonuçlar troloks eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.

DPPH radikali giderme aktivitesi % inhibisyon değerleri ise aşağıda verilen formül ile hesaplandı:

$$\% \text{ İnhibisyon} = [(A_{\text{Kontrol}} - A_{\text{Ekstre}}) / A_{\text{Kontrol}} \times 100]$$

A<sub>Kontrol</sub>: Kontrol absorbans değeri

A<sub>Ekstre</sub>: Bitki ekstresinin absorbans değeri

DPPH'in % 50'sinin inhibisyonunu sağlayan ekstre ve standart madde konsantrasyonu IC<sub>50</sub> olarak tanımlanır. Bu değer, % inhibisyon-ekstre konsantrasyonu grafiğinden elde edilen doğru denklemden hesaplandı ve sonuçlar µg/ml olarak verildi.

## 2.5. Antimikrobiyal Aktivite Tayini

Ekstrelerin 10 mg/ml konsantrasyon stokları kullanılarak disk difüzyon yöntemiyle antimikrobiyal aktivite belirlenmiştir (CLSI, 2007). *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *MRSA* ATCC 43300, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Yersinia enterocolitica* ATCC 27729, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Candida albicans* DSMZ 5817 ve *Candida albicans* ATCC 10231) test organizma olarak kullanıldı. Öncelikle test organizmaların taze kültürleri hazırlandı ve 0,5 MacFarland bulanıklığına seyreltilerek eküvyon yardımıyla Müller-Hinton agar petri üzerine inokülasyonu gerçekleştirildi. Test organizma uygulanmış petri üzerine 6 mm boş disk yerleştirildi ve disk üzerine 20 µl ekstre solüsyonu emdirildi. Petriler 2 saat 4°C'de bekletilerek ekstrelerin agara difüzyonu sağlandı. Pozitif kontrol olarak aynı konsantrasyonda kloramfenikol ve nistatin kullanıldı. 37°C'de 48 saat inkübasyon sonrasında diskler çevresinde oluşan zon çapları ölçüldü.

## 3. İstatistiksel Analizler

Tüm ölçümler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirildi. Sonuçlar SPSS (version 11.5 for Windows 2000, SPSS Inc.) programında, One-way ANOVA ile hesaplandı ve önemli farklılıklar Duncan'ın çoklu sıra testleri ile belirlenip p<0.05 değerleri anlamlı olarak kabul edildi.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Ekstre Verimi

Bitki ekstraksiyonu için dört farklı polaritede solvent kullanılmıştır. *Alchemilla ellenbergiana* türüne ait bitkilerden takip eden ekstraksiyon ile elde edilen metanol, etanol, etil asetat ve hekzan



ekstre verimleri Tablo 1’de verilmiştir. Ekstrelerin % verimi Tablo 1 de verildiği gibi en yüksek 10.3 olarak metanol ekstresinde elde edilirken en düşük % verim 1.6 olarak hekzan ekstresinde tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** *Alchemilla ellenbergiana*'nın özüt verimleri

Ekstraksiyon solventi	% verim
Metanol	10.3
Etanol	9.5
Etil asetat	5.6
Hekzan	1.6

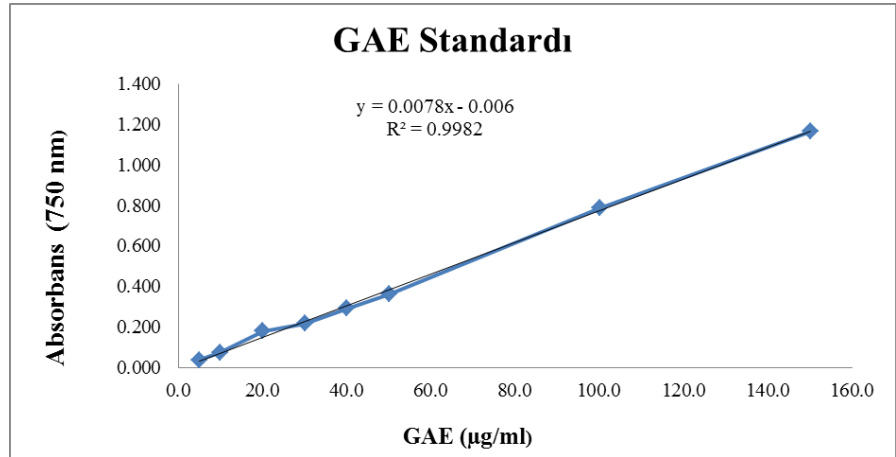
#### 4.2. Toplam Fenolik Miktarı

Çözeltilerin absorbanları mikropilaka okuyucu da 750 nm’de okunarak toplam fenolik miktarları; Şekil 1’de standart gallik asitle çizilen kalibrasyon eğrisinden (Şekil 1), mg gallik aside eşdeğer

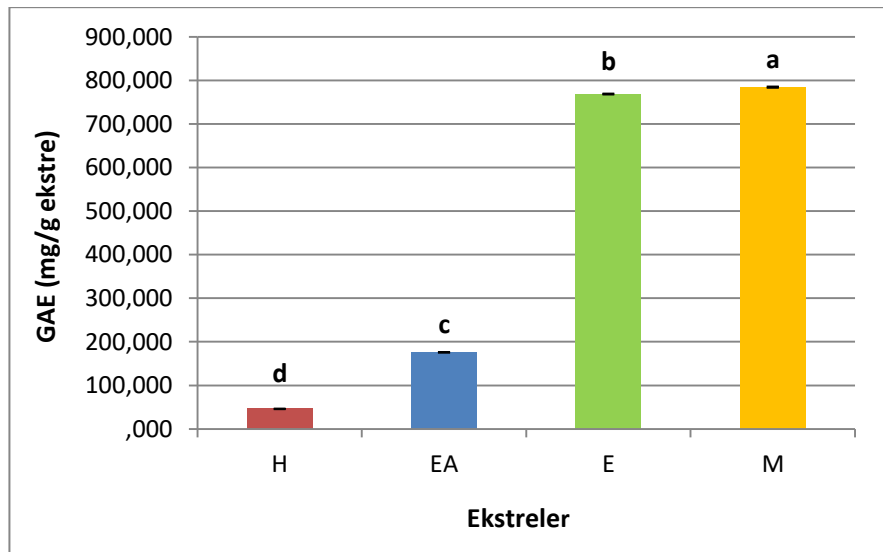
olacak şekilde hesaplandı. Ekstrelerin toplam fenolik miktarları farklılık göstermekte ve en yüksek fenolik içerik metanol ekstresi (777.2 mg/g ekstre GAE) ve etanol ekstresinde (750 mg/g ekstre GAE) bulunurken en düşük fenolik içerik ise hekzan ekstresinde (47.5 mg/g ekstre GAE) tespit edilmiştir (Şekil 2).

Denev ve ark. (2014) *Alchemilla glabra* yaprakları aseton ekstresi ile yaptıkları çalışmada toplam fenolik miktarını 429 mg /100 g olarak rapor etmişlerdir. Yine, *Alchemilla mollis* ile yapılan bir çalışmada fenolik miktarı %70 metanol ekstresinde 184.79 mg GAE/g ekstre olarak tespit etmişlerdir (Karatoprak vd., 2017). Ayrıca, *Alchemilla cimilensis* bitkisi ile yapılan bir çalışmada en yüksek toplam fenolik miktarı etil asetat ekstresinde 67.86 mg GAE/g ekstre olarak bulunmuştur (Kaya ve Artuvan, 2015). *Alchemilla ellenbergiana*'nın diğer *Alchemilla* türlerinden daha yüksek fenolik miktarına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

**Şekil 1.** Toplam fenol miktarı için gallik asit ile hazırlanan standart grafiği



**Şekil 2.** Farklı çözücülerle hazırlanmış *Alchemilla ellenbergiana* ekstrelerinin toplam fenol miktarları.



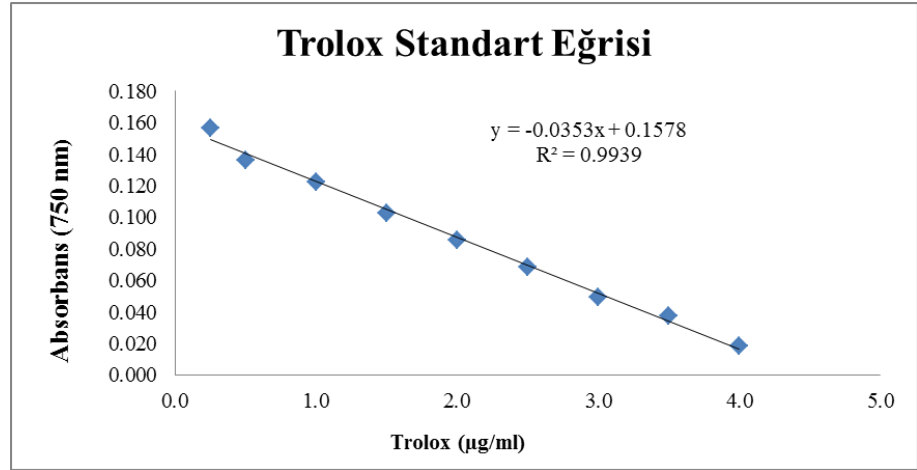
a, b, c, d Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistik olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır ( $p < 0.05$ ). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir.

### 4.3. Antioksidan Aktivite Tayini

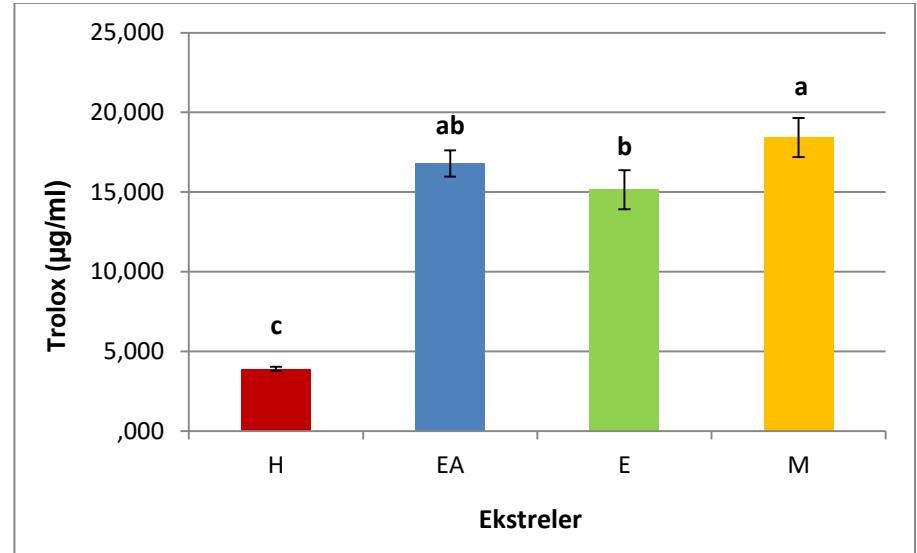
Farklı çözücüler ile elde edilen ekstrelerin antioksidan kapasitelerine, serbest radikallerin süpürülmesini ifade eden ABTS ve DPPH yöntemleri ile belirlendi. ABTS sonuçları, Şekil 3'te çizilen trolox grafiğine eşdeğer olacak şekilde hesaplandı ve buna göre grafik çizildi (Şekil 4). Yapılan hesaplamalarda ABTS radikal süpürme etkisi TAEC (trolox eşdeğerliği antioksidan kapasite) olarak hesaplanmış olup en yüksek TAEC değeri metanol ekstresinde (109.9

µg/ml) ve takiben etanol ekstresinde (100.2 µg/ml) bulunurken en düşük etki hekzan ekstresinde (3.9 µg/ml) tespit edilmiştir. Bitki ekstralarına ait IC<sub>50</sub> değerleri 39.88<sup>c</sup>±1.54 ile 187.64<sup>a</sup>±1.79 µg/ml arasında bulunmuştur (Tablo 2). IC<sub>50</sub> değerinin düşük değerde olması, ekstrenin ya da standartların ABTS radikali giderme aktivitelerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda, metanol ekstresinin ABTS radikali giderme aktivitesi, diğer ekstralardan önemli derecede yüksektir. Metanol ekstresini etil asetat>etanol>hekzan takip etmektedir (Tablo 2).

Şekil 3. ABTS aktivitesi için Trolox ile hazırlanan standart grafiği



Şekil 4. Farklı çözücülerle hazırlanmış *Alchemilla ellenbergiana* ekstralarının ABTS değerleri <sup>a, b, c, d</sup> Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.



DPPH sonuçları Şekil 5'te çizilen trolox grafiğine eşdeğer olacak şekilde hesaplandı (Şekil 6). Yapılan hesaplamalarda DPPH radikal süpürme etkisi en yüksek etanol ekstresinde (243.6 µg/ml) bulunmuş ve metanol ekstresinin (243.1 µg/ml) de çok yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. En düşük DPPH radikal süpürme aktivitesi ise yine hekzan ekstresinde (7.1 µg/ml)

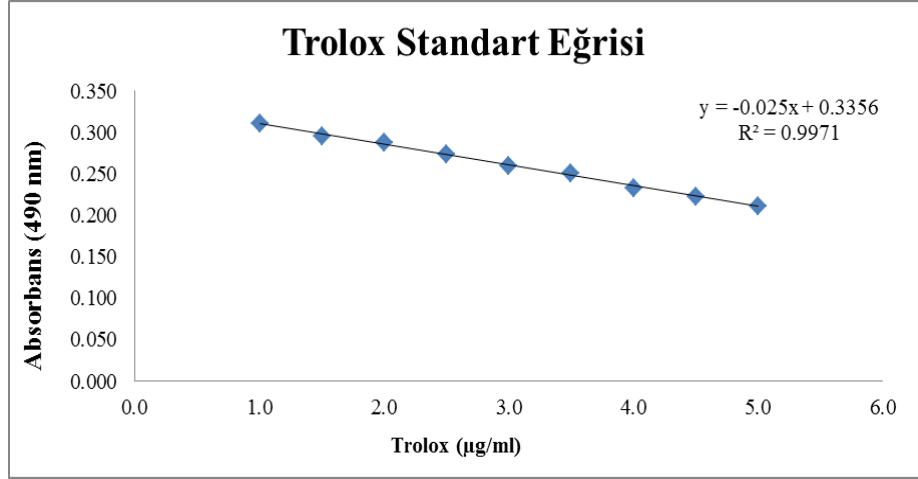
belirlenmiştir (Tablo 2). Yapılmış farklı araştırmalarda *Alchemilla* türlerinin metanol ekstralarının antioksidan aktivitelerinin yüksek olduğu rapor edilmiştir (Usta vd., 2013; Denev vd., 2014). Denev ve ark. (2014)'nın *Alchemilla glabra* bitki ekstraları üzerine yaptıkları çalışmada, DPPH aktivitesi 135 mg/100 g estre olarak bulunmuştur. Açıkça görülmektedir ki,

DPPH metodunda çalışılan bitkide etanol ve metanol ekstreleri yüksek süpürücü etki göstermektedir.

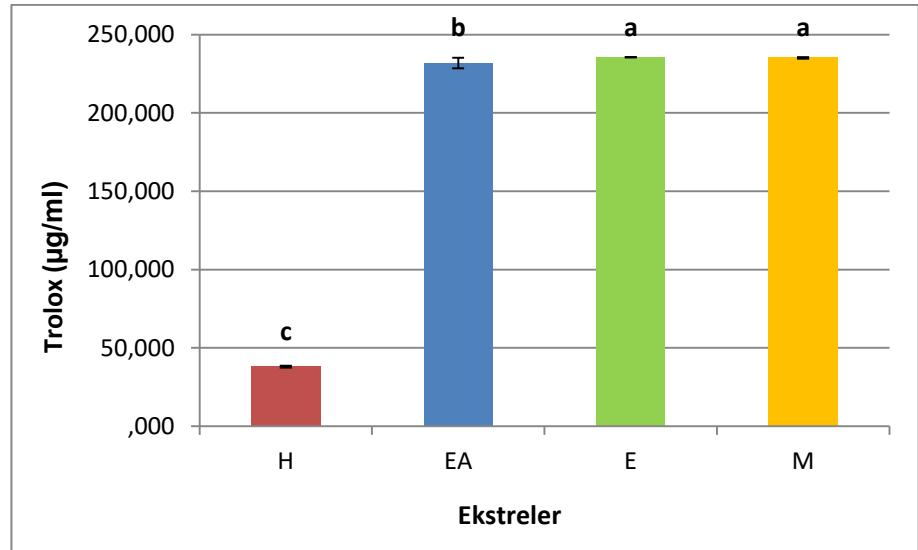
Bitki ekstrelerine ait IC<sub>50</sub> değerleri 27.46<sup>b</sup>±0.03 ile 144.34<sup>a</sup>±1.70 µg/ml arasında bulunmuştur (Tablo 2). IC<sub>50</sub> değerinin düşük değerde olması, ekstrenin ya da standartların ABTS radikali giderme aktivitelerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda, etanol, metanol ve etil asetat

ekstrelerinin DPPH radikal süpürme etkileri anlamlı olarak birbirine yakın olup; yüksek aktivite göstermiştir. Hegzan aktivitesi ise diğerlerine göre oldukça düşük aktivite sergilemiştir. Elde edilen veriler, literatüre uygunluk göstermektedir. Örneğin, *Alchemilla vulgaris* bitkisi ile yapılmış bir çalışmada, metanol ekstresine ait IC<sub>50</sub> değeri 19.62 µg/ml olarak bulunmuştur (Nikolova vd., 2012).

Şekil 5. DPPH aktivitesi için troloks ile hazırlanan standart grafiği



Şekil 6. Farklı çözücülerle hazırlanmış *Alchemilla ellenbergiana* ekstrelerinin DPPH değerleri <sup>a, b, c, d</sup> Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.



#### 4.4. Antimikrobiyal Aktivite Tayini

Ekstrelerle ait antimikrobiyal aktivite denemelerinde en iyi aktivite *P. aeruginosa* dışında tüm test organizmalara karşı inhibisyon gösteren etanol ekstresinde tespit edilirken en verimsiz sonuç tek organizmaya karşı aktivite ile hegzan ekstresinde bulunmuştur. Bitkinin etanol ekstresi *Candida albicans* (ATCC 10231) için pozitif kontrol nistatinden daha etkili bulunmuştur. Etil asetat ekstresi etanolden sonra

en yüksek antimikrobiyal aktivite göstermiştir (Tablo 3). Tüm ekstrelerde *Pseudomonas aeruginosa* patojenine karşı etki görülmemiş ve bu nedenle Tablo 3'te bu organizmaya yer verilmemiştir. *Alchemilla glabra* ekstrelerinin antimikrobiyal aktivitesi üzerine yapılan çalışmada (Denev vd., 2014) da *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes* ve *Pseudomonas aeruginosa* üzerine aktivite tespit edilmemiştir.

**Tablo 2:** Ekstrelerin Antioksidan Aktiviteleri

Ekstreler	ABTS IC <sub>50</sub> (µg/ml)	DPPH IC <sub>50</sub> (µg/ml)
Hegzan	187.64 <sup>a</sup> ±1.79	144.34 <sup>a</sup> ±1.70
Etil asetat	43.68 <sup>bc</sup> ±1.23	28.05 <sup>b</sup> ±0.59
Etanol	48.61 <sup>b</sup> ±1.27	27.46 <sup>b</sup> ±0.03
Metanol	39.88 <sup>c</sup> ±1.54	27.52 <sup>b</sup> ±0.05

± standart sapma, n=3, sütunlardaki harfler P<0.05 istatistiksel düzeyde ekstrere arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir.

**Tablo 3:** Ekstrelere ait antimikrobiyal aktivite sonuçları (\*inhibisyon zon çapı mm)

	<i>E. faecalis</i>	MRSA	<i>K.pneumoniae</i>	<i>Y. enterocolitica</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>C. albicans</i> DSMZ	<i>C. albicans</i> ATCC
<b>Metanol ekstresi</b>	–	12	–	12	–	14	–
<b>Etanol ekstresi</b>	12	11	11	11	10	12	18
<b>Etil asetat ekstresi</b>	14	13	11	12	–	12	13
<b>Hekzan ekstresi</b>	–	–	–	10	–	–	–
<b>Kloramfenikol</b>	15	15	12	12	10	–	–
<b>Nistatin</b>	–	–	–	–	–	15	15

Çalışmamızda, *P. aeruginosa*'ya karşı aktivite bulunmaması literatüre uygunluk göstermektedir. Yine aynı çalışmada, *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae*'ye karşı 9 mm, *Candida albicans*'a karşı 11 mm inhibisyon zonu gözlenmiştir. Bununla beraber, *Alchemilla ellenbergia* bitki ekstralarının antimikrobiyal aktivitesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Şöyle ki, etanol ekstresi *Candida albicans* üzerine 18 mm inhibisyon zonu ile kontrol olarak kullanılan nistatinden (15 mm) daha yüksek inhibisyon sergilemiştir. Ayrıca, metisilin dirençli *S. aureus* (MRSA) üzerine etil asetat ve metanol ekstraları sırasıyla 13 mm ve 12 mm inhibisyon gösterirken; *K. pneumoniae* üzerine etanol ve etil asetat ekstraları 11 mm ile eşit biçimde inhibisyon göstermişlerdir. Bu değerler, pozitif kontrol olan kloramfenikole yakın veya biraz düşük olsa da bahsedilen literatüre göre daha yüksek inhibisyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Farklı *Alchemilla* türlerinin antimikrobiyal aktivitesinin araştırıldığı çalışmalarda farklı ekstralarının Gram (+) ve Gram (-) bakteriler ile *Candida* türleri üzerine etkili sonuçlar gösterdikleri tespit edilmiştir (Usta vd., 2013; Denev vd., 2014).

## 5. Sonuç

*Alchemilla ellenbergiana* bitkisi ile ilgili literatürde yeterli kaynak bulunmamakla birlikte

bu çalışma ile bitkinin toplam fenolik miktarı, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi kısmen aydınlatılmıştır. Araştırmada, toplam fenolik miktarı yükseldikçe ekstrelerde antioksidan kapasitenin de arttığı gözlenmiştir. Saeed ve vd. (2016)'daki çalışmada halk tıbbında kullanılan bazı bitkilerin yüksek antioksidan aktivitelerinin olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber, kullanımı daha yaygın ve sağlıklı kabul edilen etanol ekstresinin yüksek antioksidan ve antimikrobiyal aktivite potansiyeli barındırması nedeniyle, ileri çalışmalar yapılarak gıda takviyesi veya gıda katkı maddesi olarak kullanılma potansiyelinin irdelenmesi gerekmektedir. Gerekli çalışmalar tamamlandığında bitkinin etanol ekstresinin, piyasada mevcut kimyasalların yerine alternatif doğal madde olarak kullanılma ihtimalinin olabileceği tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın amacı, Gümüşhane bölgesinde yetişen ve halk tıbbında yaygın olarak kullanılmakta olan *Alchemilla ellenbergiana* bitkisinin farklı polariteye sahip çözücüler ile hazırlanmış ekstralarının gerçekte herhangi bir biyolojik aktiviteye sahip olup olmadığının belirlenmesidir. Bu sebeple, ekstraların antioksidan kapasiteleri ve antimikrobiyal aktiviteleri araştırıldı. Antioksidan kapasite tespiti için benzer çalışmalarda yaygın olarak kullanılmakta olan ABTS ve DPPH yöntemleri; antimikrobiyal aktivite içinse yine ilk olarak

başvurulan yöntemlerden disk difüzyon yöntemi kullanıldı. Bu çalışmada elde edilen verilerle, ilk kez bu bitkinin biyolojik aktivitesi ortaya konuldu. Bu yönüyle, çalışma literatüre katkı sağlamıştır ve ileri çalışmalara da yön verebileceği düşünülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- Altundag, E. ve Ozturk, M., 2011, The 2nd International Geography Symposium GEOMED2010, Ethnomedicinal studies on the plant resources of east Anatolia, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 756–777.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C., 1995, Use of free radical method to evaluate antioxidant activity, *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards), 2007, Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. 17th Informational Supplement, M100-S17, 27:1.
- Davis, P.H., 1970. *Lathyrus L.* In: Davis PH (ed.) *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 3, 328-369. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Denev, P., Kratchanova, M., Ciz, M., Lojek, A., Vasicek, O., Blazheva, D., Nedelcheva, P., Vojtek, L., ve Hyrs, P., 2014, Antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities of herb extracts. *Acta Biochimica Polonica*, 61, 359–367
- Gülçin, I., Topal, F., Sarıkaya, S. B. Ö., Bursal, E., Bilsel, G., ve Gören, A.C., 2011, Polyphenol Contents and Antioxidant Properties of Medlar (*Mespilus germanica L.*). *Academy of Chemistry of Globe Publications*, EISSN:1307-6167.
- Güler, B., Manav, E. ve Ugurlu, E., 2015, Medicinal plants used by traditional healers in Bozuyuk (Bilecik–Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 173, 39–47.
- Hayırlıoğlu-Ayaz, S., ve Beyazoğlu, O., 1997, The chromosome numbers of five new *Alchemilla L.* (Rosaceae) records for Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 21, 385-389.
- [http://www.tubives.com/index.php?sayfa=1&tax\\_id=3736](http://www.tubives.com/index.php?sayfa=1&tax_id=3736)
- Izmailow, R., 1981, Karyological studies in species of *Alchemilla L.* from the Calycinae Bus. (section Brevicaulon Rothm.), *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 23, 117-130.
- Kaya, B. ve Artuvan, Y., 2016, Investigation of antioxidant and antimicrobial effect, phenolic compounds of *Alchemilla cimilensis*, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(1), 27-54.
- Nikolova, M., Dincheva, I., Vitkova A. ve Badjakov, I., 2012, Phenolic Acids and Free Radical Scavenging Activity Of *Alchemilla Jumrukzalica* Pawl., *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 3(3), 802-804.
- Ozbek, H., Acikara, O. B., Keskin, I., Kirmizi, N. I., Ozbilgin, S., Oz, B. E., Kurtul, E., Ozrenk, B. C., Tekin, M. ve Saltan, G., 2017, Evaluation of hepatoprotective and antidiabetic activity of *Alchemilla mollis*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 86, 172-176.
- Ozdemir, E. ve Alpınar, K., 2015, An ethnobotanical survey of medicinal plants in western part of central Taurus Mountains: Aladaglar (Nigde-Turkey), *Journal of Ethnopharmacology*, 166, 53–65.
- Paksoy, M.Y., Selvi, S. ve Savran, A., 2015, Ethnopharmacological survey of medicinal plants in Ulukisla (Nigde-Turkey), *Journal of Herbal Medicine*, 6(1), 42-48.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., ve Rice-Evans, C., 1999. Article in *Free Radical Biology and Medicine*, Doi: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3. Source: Pubmed.
- Rothmaler, W., 1937, Systematische Vorarbeiten zu einer Monographie der Gattung *Alchemilla (L.) Scop.* VII. Aufteilung der Gattung und Nomenklatur, *Feddes Repert*, 42, 146–173.
- Saeed, A., Rehman, S.U., Akram, M., Bhatti, M.Z., Naz, R., Latif, A., Ali, A., Ahmad, A ve Saeed, A., 2016, Evaluation of Antioxidant Effects and Inhibitory Activity of Medicinal Plants against Lipid Peroxidation Induced by Iron and Sodium Nitroprusside in the Mouse Brain. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 38, 333.

- Sargin, S. A., 2015, Ethnobotanical survey of medicinal plants in Bozyazı district of Mersin, Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 173, 105–126.
- Slinkard, K. ve Singleton, V.L., 1977, Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
- Şeker Karatoprak, G., İlgün, S. ve Koşar, M., 2017, Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Alchemilla mollis* (Buser) Rothm, *Chemical Biodiversity*, 14, n/a, e1700150. Doi:10.1002/cbdv.201700150.
- Usta, C., Yildirim, A. B. ve Turker, A. U., 2014, Antibacterial and antitumour activities of some plants grown in Turkey. *Pharmaceutical Biotechnology, Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(2), 306-315.
- Viegi, L., Pieroni, A., Guarrera, P.M. ve Vangelisti, R., 2003, A review of plants used in folk veterinary medicine in Italy as basis for a databank. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(2-3), 221-244.
- Zengin, G., Guler, G. O., Aktumsek, A., Ceylan, R., Picot, C. M. N.ve Mahomoodally, M.F., 2015, Enzyme Inhibitory Properties, Antioxidant Activities, and Phytochemical Profile of Three Medicinal Plants from Turkey. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Pharmacological Sciences*, Article ID 410675.

## ThermoWood Metoduna Göre Isıl İşlem Görmüş ve Su-Bazlı Vernikler Uygulanmış Ahşap Malzemeler Üzerinde Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Etkisine Karşı YüzeY Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

*Determination of Surface Roughness Against the Effect of Accelerated UV Aging on Water-Based Varnish Applied and Heat treated Wood Materials According to ThermoWood Method*

Ümit AYATA<sup>1,a</sup>, Nevzat ÇAKICIER<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Oltu Meslek Yüksekokulu, Ormancılık ve Orman Ürünleri Programı, Oltu/Erzurum

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 17.05.2017 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 26.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 27.11.2017

### Öz

Bu çalışmanın amacı, ısıl işlem görmüş (ThermoWood) bazı ağaç türlerinde kullanılan su-bazlı vernik katmanlarının hızlandırılmış UV yaşlandırma direncine karşı yüzeY pürüzlülüğünün belirlenmesidir. Bu amaçla Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), Sapsız Meşe (*Quercus petraea L.*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) odunlarına, ThermoWood metoduna göre 190 °C'de 2 saat ve 212 °C'de 1 ve 2 saat süreler ile ısıl işlem uygulanmıştır. Sonra malzeme yüzeylerine su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler uygulanmıştır. Elde edilen malzemeler, UV-A 340 nm florasan lambalarının bulunduğu UV yaşlandırma cihazında 144, 288 ve 432 saat süre boyunca (ASTM G 154-06) yaşlandırılmaya maruz bırakılmıştır. Bu periyotlar sonlarında yüzeY pürüzlülüğü ISO 4287 (1997) değerleri ölçülmüştür. Sonuçlara göre; kullanılan su bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin ısıl işlem görmüş ağaç malzeme yüzeylerinde, yaşlandırma sonlarında yüzeY pürüzlülüğü değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Isıl işlem, Su-bazlı vernik, UV yaşlandırma, YüzeY pürüzlülüğü

### Abstract

The purpose of this work is to determine of surface roughness against the effect accelerated UV resistance of water-based varnish layers applied on heat treatment wood (ThermoWood) surfaces. For this purpose, heat treatment was carried out at 190 °C for 2 hours and at 212 °C for 1 hour and 2 hours according to the ThermoWood method for Scots pine (*Pinus sylvestris L.*), Sessile Oak (*Quercus petraea L.*) and Oriental Beech (*Fagus orientalis L.*). Then water based single and double component varnishes were applied to the material surfaces. The resulting materials were subjected to aging for 144, 288 and 432 hours (ASTM G 154-06) on a UV aging device with UV-A 340 nm fluorescent lamps. Surface roughness ISO 4287 (1997) values were measured after these periods. According to the results; The surface roughness values of the water-based single and double component varnishes used in the heat treated wood material surfaces were found to decrease after aging.

**Keywords:** Heat Treatment, UV Aging, Water-Based Varnish, Surface roughness

\*b Nevzat ÇAKICIER; nevatcakicier@duzce.edu.tr; Tel: (0380) 542 11 37; orcid.org/0000-0001-6566-7541

a orcid.org/0000-0002-6787-7822

## 1. Giriş

Odonun, doğal dayanıklılığa sahip bir malzeme olduğu için yüzyıllardır çok yönlü ve yoğun bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte diğer tüm biyolojik maddeler gibi çevre faktörlerinin bozundurma etkisine açıktır. Bu bozundurma olayında ana faktör ultraviyole ışınlarının (UV) etkisidir. Bununla birlikte, açık hava etkisiyle odunda meydana gelen diğer değişiklikler ise; yüzey ve yüzeye yakın kısımlarda meydana gelen renk değişimi, çatlaklar, yüzey yapısının bozunması ve yağmur suyunun etkisiyle yıkanma olarak özetlenebilir (Temiz 2005).

Ahşap malzemenin korunması için çeşitli metotlar (emprenye, asetillendirme, ısıtma işlemi vb.) geliştirilmiştir. Bu metotlar içinde kimyasal işlem uygulamadan ahşabı korunmasına yönelik olan metot ısıtma işlemi metodudur.

Geçmişten günümüze farklı ısıtma işlem metotları (Finland - ThermoWood, Holland - Plato Wood, Germany - Oil Heat Treatment, France - Bois Perdue, Rectification, vb.) bulunmaktadır.

Yapılan çeşitli çalışmalarda ısıtma işlem sonrasında ahşap malzemede meydana gelen olumlu değişimler belirlenmiştir. Aytin vd. (2015) çalışmalarında, yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench) odununun ThermoWood yöntemine göre 190°C'de 1 saat ve 2 saat ile 212°C'de 1 saat ve 2 saat varyasyonlarında yapılan ısıtma işlem uygulamaları sonrasında yüzey kalitesinin iyileşmesine yol açtığını bildirmişlerdir.

Altınok vd. (2010) çalışmalarında, ısıtma işlem uygulamasından sonra ağaç malzemelerde, tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk özelliklerini önemli oranlarda düşürdüğü, şişme ve hacimsel çekme, su geçirgenlik direncinde önemli derecede direnç artışı görülürken ahşap malzemenin çarpılma veya burulma özellikleri üzerine de olumlu etkisinin bulunduğu belirtilmiştir.

Fakat ısıtma işlem görmüş ahşap malzemenin kullanım yerinde bulunduğu dış ortam şartlarına (don, sıcaklık, güneş ışını vb.) karşı olan direncini arttırmak için, üst yüzey koruyucu (verniki, boya vb.) kimyasallarının kullanılması gerekmektedir.

Bu konunun araştırılması ile ilgili olarak Kesik vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, TS EN 351-1'e göre 150°C'de 2 saat süre ile bezir yağı içerisinde ısıtma işlemi tabii görmüş ve görmemiş

sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu örneklerinden elde edilen deney örnekleri yüzeylerine su bazlı vernik ve su bazlı boya uygulanmıştır. Uygulama sonunda yapılan yapışma ve sertlik deneyleri verilerine göre vernik ve boyanın ısıtma işlem görmüş ağaç malzeme yüzeyine iyi bir yapışma sağlamış olduğu bildirilmiştir.

Kazan (2009) tarafından yapılan bir çalışmada; ısıtma işlem görmüş (100°C, 125°C ve 150°C sıcaklıklarda ve 2 saat, 4 saat ve 6 saat sürelerde) ve su bazlı vernikler ile verniklenmiş Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Kestane (*Castanea sativa* M.) ağacına ait deney numuneleri üzerinde sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma direnci araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre çift komponentli verniğin tek komponentli verniğe göre daha üstün olduğu belirlenmiştir.

Çeşitli yüzey işlemleri ile kaplanmış ahşap malzemelerin yaşlandırma (doğal veya yapay) sonlarında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişimlerini belirlemek için Richter vd. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, ön hazırlık işlemlerinin iyi yapılmadığı ağaç malzeme yüzeylerinde boya ve vernik emiliminin daha fazla tüketime sebep olduğu, en iyi yüzey pürüzlülük performansının iyi hazırlık işlemi görmüş malzeme yüzeylerinde elde edildiği ve vernik ile boya tüketim miktarının da yarı yarıya azaldığı bildirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, ThermoWood metoduna göre 190 °C'de 2 saat ve 212 °C'de 1 ile 2 saat sürelerde ısıtma işlem görmüş ve su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler ile verniklenmiş sarıçam, Doğu kayını ve sapsız meşe odunlarından üretilen malzemelerin hızlandırılmış QUV yaşlandırma cihazında, boya endüstride tercih edilen altı gün ve katları olan; 144, 288 ve 432 saat süreler ile UV ışınlarına maruz kalmasıyla meydana gelen yüzey pürüzlülüğüne ait değişikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Örnek Ağaçların Elde Edilmesi

Örneklerin hazırlanmasında ülkemizde başta mobilya sektöründe, kaplama ve kontrplak alanlarında en çok kullanılan; sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve sapsız meşe (*Quercus petraea* L.) türleri tercih edilmiştir.



Çalışmada kullanılan ağaç malzemeler, Düzce yöresindeki fabrikalardan rastgele seçim yöntemine göre 510x110x20 mm boyutlarında taze halde ölçülendirilerek alınmıştır.

Ağaç malzemenin ardaksız, budaksız, düzgün lifli, büyüme kusurları olmayan, öz ve diri odun kısımları karışık halde alınmıştır. Deney örnekleri eşit olarak radyal ve teğet kesit olmak üzere seçilmiştir (Sönmez ve Söğütü 2009).

### 2.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Bu araştırmada, 3 adet ağaç türü (Sarıçam, Doğu kayını ve Meşe) x 3 adet ısıtma işlemi (190 °C’de 2 saat, 212 °C’de 1 ve 2 saat) x 2 adet vernik türü (su-bazlı tek ve çift bileşenli vernikler) x 4 adet yaşlandırma uygulaması (0, 144 saat, 288 saat ve 432 saat) olmak üzere toplamda 72 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

Keresteler ortalama 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nemli iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilerek rutubetlerinin %12’ye gelmesi sağlanmıştır (TS 642 1997).

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Isıtma İşlemi Uygulaması

Bu çalışmada kullanılan ağaç malzemeler, Bolu-Gerede de bulunan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.’nde tercih edilmekte olan; 190°C’de 2 saat, 212°C’de 1 saat ve 2 saat sürelerinde ThermoWood yöntemine göre ısıtma işlemine tabi tutulmuştur (Anonymous, 2003).

Isıtma işlemi görmüş keresteler TS 642 (1997) standardına göre ortalama 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nemli iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletildikten sonra deneysel çalışmalara geçilmiştir.

Daha sonra test örnekleri endüstriyel uygulamalara uygun olarak kalibre zımpara makinesinde önce 100, 120 ve daha sonra 180 nolu zımpara ile zımparalanmıştır (Ayata 2014).

### 2.2.2. Su-Bazlı Verniklerin Uygulanması

Ağaç malzeme dış ortam şartlarında (soğuk, sıcak vb.) çatlama, kırılma gibi önemli olumsuzluklara maruz kalmaktadır. Bu olumsuz sonuçları azaltmak için esnek film katmanı oluşturan ve çevreye duyarlı su bazlı vernikler tercih edilmiştir.

### 2.2.2.1. Astar Vernik Uygulaması

Isıtma işlemi görmüş ahşap keresteleri 180 nolu zımpara ile zımparalanmış 500x100x14 mm boyutlarında temiz ölçüsüne getirilmiştir.

Isıtma işlemi görmüş sarıçam, kayın ve meşe keresteleri; DUAL Boya Firması’ndan temin edilen ve firma önerilerine göre uygulamaya hazır hale getirilen AQUACOOl FX 6150 kodlu biyosit ve lignin koruyucu içeren renksiz astar ile 10 sn’lik daldırma periyoduna göre iki kat olarak uygulanmıştır.

Katlar arasında 20 °C ortam sıcaklığında 3 saat bekledikten sonra kuruyan vernik filmi 400 nolu su zımparası ile zımparalanmış ve tozlar temizlendikten sonra ikinci kat uygulaması yapılmıştır.

Tam kuruması sağlanan astar katı, 400 numara zımpara ile zımparalanarak tozlar temizlendikten sonra su bazlı tek ve çift bileşenli son kat vernik uygulamalarına geçilmiştir (Ayata 2014).

### 2.2.2.2. Su-Bazlı Tek ve Çift Bileşenli Verniklerin Uygulaması

Son kat su bazlı tek bileşenli vernik uygulamasında Dual Boya Firmasının AQUACOOl FX 7680/00 Dış Mekân renksiz son kat verniği kullanılmıştır.

Son kat su bazlı çift bileşenli vernik uygulamasında Dual Boya Firmasının AQUACOOl 0820/00 Dış Mekân renksiz son kat verniği (vernik + AQUACOOl AX 0115 sertleştirici (%25) + su (%10)) kullanılmıştır.

Su-bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin uygulamasında endüstriyel uygulamalara uygun olarak Tablo 1’de verilen miktarlarda tatbik edilmiştir. Uygulamada tabanca uç açıklığı 2.0 mm olan üstten hazneli püskürtme tabancası kullanılmıştır.

Püskürtme tabancası ile endüstriyel yüzey uygulaması yönelik olarak numune yüzeyine dik ve uzaklığı 20-25 cm olacak şekilde paralel hareket ettirilerek, her katta önce liflere dik sonra liflere paralel olmak üzere çapraz kat yapılmıştır. Uygulamadaki hava basıncı 2 bar olarak seçilmiştir.

Su bazlı tek bileşenli vernik uygulamasında birinci kat uygulandıktan sonra 20 °C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş

katman 400 nolu su zımparası ile zımparalandıktan sonra ikinci kat uygulanmıştır.

Uygulama sırasında Tablo 4’de verilen verniklere ait katı madde miktarlarının oranlarına göre film katman kalınlıklarının birbirine eşit olmasına özen gösterilmiştir (Ayata 2014).

Su bazlı çift bileşenli vernik uygulamasında birinci kat uygulandıktan sonra 20 °C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş katman 400 nolu su zımparası ile hafifçe zımparalandıktan sonra ikinci kat uygulanmıştır.

**Tablo 1.** Vernik uygulamaları (Ayata 2014)

Tek bileşenli vernik uygulaması		
FX 6150 UV Koruyucu Astar Daldırma yöntemi	1. kat 130 g/m <sup>2</sup>	25 g/m <sup>2</sup>
	2. kat 70 g/m <sup>2</sup>	13 g/m <sup>2</sup>
FX 7680 Son Kat Vernik Pistole yöntemi	1. kat 140 g/m <sup>2</sup>	61 g/m <sup>2</sup>
	2. kat 140 g/m <sup>2</sup>	61 g/m <sup>2</sup>
Toplam Katı Madde		160 g/m <sup>2</sup>
Çift bileşenli vernik uygulaması		
FX 6150 UV Koruyucu Astar Daldırma yöntemi	1. kat 130 g/m <sup>2</sup>	25 g/m <sup>2</sup>
	2. kat 70 g/m <sup>2</sup>	13 g/m <sup>2</sup>
FX 0820 2K Son Kat Vernik Pistole yöntemi	1. kat 105 g/m <sup>2</sup>	40 g/m <sup>2</sup>
	2. kat 105 g/m <sup>2</sup>	40 g/m <sup>2</sup>
	3. kat 105 g/m <sup>2</sup>	40 g/m <sup>2</sup>
Toplam Katı Madde		158 g/m <sup>2</sup>

**Tablo 2.** Uygulanan vernikler hakkında bilgiler (Ayata 2014)

Vernik Türleri	Bileşeni	Yoğunluk	pH	Katı Madde (%)	Uygulama Metodu	Viskozite	Uygulanan Miktar (g/m <sup>2</sup> )
FX 6150 UV koruyucu astar	Akrilik reçine, biyosit ve UV koruyucu	1.02	9.2	19±2	Tercihen daldırma yöntemi, rulo, fırça, bez, sünger	DIN 4 kabında 20°C’de 11 saniye	Tek katta 100
FX 7680 dış mekân parlak vernik	Akrilik ve alifatik PU reçine	1.05	9.3	42±2	Pistole, fırça	DIN 6 kabında 20°C’de 45-55 saniye	100-140
FX 0820 dış mekân parlak vernik 2K	Alifatik PU dispersiyon	1.03	8.5	32±2	Pistole, basınçlı pompa	DIN 4 kabında 20°C’de 35-45 saniye (AX 015 sertleştirici katılmış hali ile)	60-100
AX 0115 sertleştirici	Suda çözünen alifatik poli izosiyanat	-	-	66-72	-	-	-

İkinci kat uygulamasından sonra 20 °C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş katman 400 nolu su zımparası ile hafifçe zımparalandıktan sonra üçüncü kat uygulanmıştır.

Uygulama sırasında Tablo 4’de verilen verniklere ait katı madde miktarlarının oranlarına göre film katman kalınlıklarının birbirine eşit olmasına özen gösterilmiştir.

Üretici firma tarafından takım halinde temin edilen su-bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin bazı teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Ayata 2014).

### 2.2.3. Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Uygulaması Öncesi Deney Örneklerinin Hazırlanması

Isıl işlem görmüş ve su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler ile verniklenmiş 500x100x14 mm boyutlarındaki örnekler, yaşlandırma cihazına ait panel tutuculara uygun olarak, 120x80x14 mm boyutlarında kesildikten sonra elde edilen malzemelerin vernik bulunmayan açık kenarları, yaşlandırma uygulamaları sırasında herhangi bir olumsuz etkilere maruz kalmaması için aynı tür vernik ile verniklenerek yaşlandırma işlemlerine hazır hale getirilmiştir (Ayata 2014).

### 2.2.3.1. Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Uygulaması

Sarıçam, kayın ve meşe odunlarına ait deney örneklerine, su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler uygulandıktan sonra iklimlendirme laboratuvarında %12 rutubet için  $20\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\%65\pm 3$  bağıl nem şartlarında üç hafta süreyle kurumaya bırakılmıştır (Ayata 2014).

Daha sonra verniklenmiş deney örnekleri ASTM G 154-06 (2006) standardına (15 dakika su sprej, 8 saat UV) ait yaşlandırma ortam koşullarının modifiye edilmesiyle hazırlanmış (0.67 ışık şiddeti, 18 dakika su sprej, 2 saat UV ve  $50^\circ\text{C}$  ortam sıcaklığı) ve UV-A 340 florasan lambalarının olduğu yaşlandırma cihazında (QUV accelerated weathering tester) 144, 288 ve 432 saat süreleri boyunca UV yaşlandırma etkilerine bırakılmıştır (Ayata 2014).

### 2.2.4. Katı Madde Tayini

Katı madde tayininin amacı; eşit kalınlıkta katman hazırlayabilmek için vernik veya boyanın katman yapma özelliğini tespit etmektir.

Bunun için; ASTM D 1644-01 (2006) esaslarına uyularak; vernikler, darası önceden alınan  $\varnothing 75\pm 5$  mm'lik konkav saat camına  $2\pm 0.2$  g olacak şekilde damlalık ile konulmuş, daha sonra etüvde  $60^\circ\text{C}$ 'de ağırlıkça sabit hale gelene kadar bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözücüler tamamen buharlaştırılarak yeniden tartımları yapılmıştır. Katı madde miktarları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K_m = [(V_u - \text{Ç}_b) / V_u] \times 100 \quad (1)$$

$$V_u = G - D, \quad (2)$$

$$\text{Ç}_b = G - E, \quad (3)$$

Burada;

$V_u$  = Uygulanan vernik (g),

$\text{Ç}_b$  = Buharlaşan çözücü (g),

$K_m$  = Katı madde (%)

$G$  = Yaş ağırlık (g),

$D$  = Dara (g),

$E$  = Kuru ağırlık (g).

### 2.2.5. Emprenye Retensiyon Oranlarının Belirlenmesi

Firma önerilerine göre uygulamaya hazır hale getirilen AQUACOOl FX 6150 kodlu renksiz astar verniğinin uygulanmasında kısa süreli emprenye daldırma metodu kullanılmış olup,

deney numuneleri 10 saniye süre ile emprenye maddesi içerisinde 2 defa bırakılmıştır. Emprenye edilen örneklerin absorbe ettikleri çözücü miktarları ve net kuru madde miktarları TS 5723 (1988) standardında belirtilen esaslar çerçevesinde aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Bozkurt vd. 1993).

$$\text{Retensiyon} = \frac{G \times C}{V} \times 10 \quad \text{kg/m}^3 \quad (4)$$

Eşitlikte;

$G$  = Örnek tarafından absorbe edilen çözücü miktarı ( $m_1 - m_0$ ) (g)

$m_0$  = Emprenye öncesi ağırlık (g)

$m_1$  = Emprenye sonrası yaş ağırlık (g)

$C$  = Çözücü konsantrasyonu

$V$  = Odun örneğinin hacmi ( $\text{cm}^3$ )'dir.

$$\text{Retensiyon} = \frac{\text{Moes} - \text{Moeö}}{\text{Moeö}} \times 100 \quad (5)$$

Eşitlikte;

$\text{Moes}$  = Emprenye sonrası numunenin tam kuru ağırlığı (g)

$\text{Moeö}$  = Emprenye öncesi numunenin tam kuru ağırlığı (g)

$C$  = Çözücü konsantrasyonu (%).

### 2.2.6. Kuru Film Kalınlıkları

Çalışmada kullanılan verniklerin kuru film katman kalınlıkları Şekil 1'de gösterilen PosiTector 200 cihazında ASTM D 6132 (2008) standardında belirtilen esaslara uyularak belirlenmiştir.

Çeşitli mikron kalınlıklarına sahip film tabakaları ile kalibresi doğrulanan cihazın probu, vernikli ahşap malzeme üzerine damlatılan jel (DeFelsko marka – Ultrasonic couplant)'in üstüne gelecek şekilde bastırılmaktadır.

Cihaz ultrasonik olarak çoklu sinyal gönderdikten hemen sonra tarama yapması ile otomatik olarak mikron kalınlığına ait değer ekranda okunmaktadır (Ayata 2014).

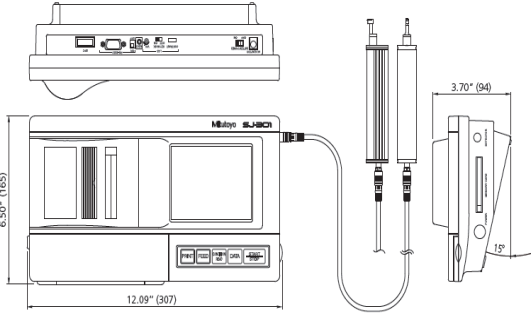


Şekil 1. PosiTector 200 cihazı (Ayata 2014).

### 2.2.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, ardışık profil değişikliklerini ölçebilen Mitutoyo SurfTest SJ-301 dokunmalı (iğneli) yüzey pürüzlülük ölçüm aleti kullanılmıştır (Şekil 2).

Cihaz, pürüzlülük ölçümünde, 5 µm çaplı elmas ucunu örnek yüzeyinde aşağıya-yukarıya hareket ettirerek yüzeydeki girinti ve çıkıntıların profilini çıkararak, ölçüm yapmaktadır (Korkut 1999; Ayata 2014).



**Şekil 2.** Mitutoyo surfTest SJ-301 cihazının dış görünüşü (Portable Surface roughness tester surfTest Sj-301 kullanım kılavuzu 1998).

Her yaşlandırma periyodu sonunda yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Alet ölçme hızı 10 mm/dak ve iğne çapı 4 µm olarak seçilmiştir. Ölçme liflere dik yönde yapılmış, değerlendirme uzunluğu (tarama uzunluğu)  $L_t=15$  mm, örnekleme uzunluğu (sınır dalga boyu  $\lambda=2,5$  mm seçilerek pürüzlülük değeri  $\pm 0,5$  mm duyarlılıkta belirlenmiştir (Korkut 1999; Ayata 2014).

Ölçmelerde tarama iğnesinin örnek yüzeylerinde kusurlara (çizik, kesik vb.) yol açmaması için alet tarama kolu yükü 10 gramdan düşük tutulmuş; tarama iğnesi ucu hücre boşluklarına takıldığında ölçme tekrarlanmıştır. Ölçme ortamı gürültü kaynaklarından uzak tutulmuş, aletin yerleştirildiği masa titreşimleri önleyici yalıtkan bir malzeme ile kaplanmıştır. Ayrıca ortam sıcaklığının 18-22°C arasında olmasına özen gösterilmiştir (Korkut 1999).

Örneğin ve cihazın yer düzlemine paralelliği kontrol ve ayar edildikten sonra  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}=R_y$  değerleri ISO 4287 (1997) standardına göre belirlenmiştir. Her numunede toplam on ölçüm yapılmıştır. Ölçme hassasiyetinin sürekliliği için her yaşlanma periyotlarında kalibrasyon tekrar yapılmıştır (Ayata 2014).

### 2.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi

İstatistiksel analiz sonuçları, 10'ar adet ölçüm sayısı alınarak, kontrol örnekleri (yaşlandırma öncesi) ile yaşlandırma uygulaması sonrasında tahribatların olduğu örneklerin karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.

Bu çalışmada, 3 adet ağaç türü (Sarıçam, Doğu kayını ve Meşe) x 3 adet ısıl işlem (190 °C'de 2 saat, 212 °C'de 1 ve 2 saat) x 2 adet vernik türü (su-bazlı tek ve çift bileşenli vernikler) x 4 adet yaşlandırma uygulaması (0, 144 saat, 288 saat ve 432 saat) x 3 adet yüzey pürüzlülük faktörü ( $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$ ) x 10 adet ölçüm sayısı olmak üzere toplamda 2160 adet ölçüm alınmıştır.

İstatistiksel değerlendirmeler için MSTATC istatistik paket programı kullanılmıştır.

Çoklu varyans analizi "ANOVA" testleri sonucunda, ağaç türü, ısıl işlem, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodu faktörlerinin, ağaç malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü testlerine göre faktör etkileri ve karşılıklı etkileşimleri belirlenmiştir. Duncan testi ve LSD (en küçük önemli fark) kritik değerleri yardımıyla karşılaştırmalar yapılarak homojenlik grupları oluşturularak farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığı sorgulanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Kullanılan Verniklerin Özelliklerine Ait Bulgular

#### 3.1.1. Katı Madde Oranlarının Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan verniklerin katı madde miktarlarına ilişkin sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. En yüksek katı madde oranı; su bazlı tek bileşenli vernikte, en düşük ise emprenye renksiz dolgu verniği FX 6150'de elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Kullanılan verniklerin katı madde miktarları (%).

Vernik Çeşidi	Katı Madde Oranı (%)
Emprenye Dolgu Renksiz FX 6150 UV	19.45
Su Bazlı Tek Bileşenli Vernik (FX 7680)	43.26
Su Bazlı Çift Bileşenli Vernik (FX 0820 2K + AX 0115 sertleştirici)	37.78

### 3.1.2. Emprenye Retensiyon Oranlarının Belirlenmesine ve Kuru Film Kalınlıklarına İlişkin Bulgular

ThermoWood metoduna göre ısı işlem görmüş sarıçam, kayın ve meşe odunlarının retensiyon oranları Tablo 4’de verilmiştir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemelere uygulanan 2 defa 10 saniyelik emprenye işleminin sonunda; en yüksek net kuru madde miktarı ve retensiyon oranı; 212 °C’de 2 saat ısı işlem görmüş sarıçam örneğinde, en düşük ise 190 °C’de 2 saat ısı işlem görmüş kayın örneğinde elde edilmiştir. Isıl işlem süresi ve

sıcaklığın artmasına paralel olarak net kuru madde miktarı ve % retensiyon miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Su bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin kuru film kalınlıklarına ilişkin ölçüm sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5’e göre katman kalınlığı en yüksek 212 °C’de 2 saat ısı işlem görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş meşede, en düşük 212 °C’de 1 saat süre ile ısı işlem görmüş ve tek bileşenli vernik ile verniklenmiş kayında elde edilmiştir.

**Tablo 4.** ThermoWood metoduna göre ısı işlem görmüş ağaç türlerine ait net kuru madde miktarları ve % tutunma oranları.

Ağaç türü	Isıl işlem	Net kuru madde miktarları (kg/m <sup>3</sup> )	% Tutunma
Sarıçam	190°C’de 2 saat	9.8089	10.34
	212°C’de 1 saat	12.2580	11.86
	212°C’de 2 saat	12.9515	14.05
Kayın	190°C’de 2 saat	6.2698	4.09
	212°C’de 1 saat	6.8494	4.94
	212°C’de 2 saat	7.5817	5.41
Meşe	190°C’de 2 saat	6.5139	4.57
	212°C’de 1 saat	6.6969	5.20
	212°C’de 2 saat	6.8342	5.25

**Tablo 5.** Kuru film kalınlıkları.

Ağaç türü	Isıl işlem	Vernik çeşidi	Katman kalınlığı (µm)
Sarıçam	190°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	139.80
		Çift Bileşenli	155.00
	212°C’de 1 saat	Tek Bileşenli	140.80
		Çift Bileşenli	155.40
	212°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	144.00
		Çift Bileşenli	154.60
Kayın	190°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	137.00
		Çift Bileşenli	152.00
	212°C’de 1 saat	Tek Bileşenli	136.40
		Çift Bileşenli	151.80
	212°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	139.00
		Çift Bileşenli	152.40
Meşe	190°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	142.00
		Çift Bileşenli	153.80
	212°C’de 1 saat	Tek Bileşenli	147.00
		Çift Bileşenli	156.60
	212°C’de 2 saat	Tek Bileşenli	148.60
		Çift Bileşenli	158.20

### 3.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine İlişkin Bulgular

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem görmüş, farklı ağaç malzemelerin, su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler ile verniklendikten sonra yaşlandırma uygulamasına maruz bırakılan deney örneklerinde elde edilen ortalama yüzey

pürüzlülüğü  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri ait Çoklu Varyans analizi (ANOVA) belirlenmiş ve bu sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri için yapılan varyans analiz sonucuna göre ağaç türü, ısı işlem, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodu faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı

etkileşimleri anlamlı çıktığı belirlenmiştir ( $\alpha=0.05$ ).

Tablo 7'ye göre ağaç türü düzeyinde yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  değeri en yüksek sarıçamda, en düşük meşede,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri en yüksek meşede, en düşük sarıçamda belirlenmiştir.

Isıl işlem düzeyinde, yüzey pürüzlülüğü  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri en yüksek  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat ısıtma işlemi görmüş örneklerde, en düşük  $190^\circ\text{C}$ 'de 2 saat ısıtma işlemi görmüş örneklerde elde edilmiştir.

Vernik çeşidi faktörü düzeyinde yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  değeri en yüksek çift bileşenli vernikte,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri en yüksek tek bileşenli vernikte, en düşük  $R_a$  değeri tek bileşenli vernikte ve en düşük  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleri çift bileşenli vernikte elde edilmiştir.

Yaşlandırma periyodu düzeyinde yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  değeri en yüksek kontrol örneklerinde, en düşük 432 saatlik UV yaşlandırmaya maruz kalmış örneklerinde,  $R_z$  değeri en yüksek 144 ve 288 saatlik UV yaşlandırmaya maruz kalmış örneklerinde, en düşük kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

$R_{max}$  değeri en yüksek 144 saatlik UV yaşlandırmaya maruz kalmış örneklerinde, en düşük kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

Tekli, ikili ve üçlü karşılaştırma sonuçlarını topluca görmek amacıyla, ağaç türü – ısıtma işlem – vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8'e göre ağaç türü - ısıtma işlem - vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu etkileşimi düzeyinde, yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  değeri en yüksek,  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş sarıçamın kontrol örneklerinde, en düşük  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve tek bileşenli vernik ile verniklenmiş meşenin 432 saatlik UV yaşlandırma periyoduna ait örneklerde elde edilmiştir.

$R_z$  değeri için ağaç türü - ısıtma işlem - vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu etkileşimi düzeyinde, yüzey pürüzlülüğü en yüksek,  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve tek bileşenli vernik ile verniklenmiş meşenin 144 saatlik UV yaşlandırma yapılan örneklerinde, en düşük  $190^\circ\text{C}$ 'de 2 saat ve  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş sarıçamın kontrol ve  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat

süre ile ısıtma işlemi görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş kayın kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

$R_{max}$  değeri için ağaç türü - ısıtma işlem – vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu etkileşimi düzeyinde, yüzey pürüzlülüğü en yüksek,  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve tek bileşenli vernik ile verniklenmiş meşenin 144 saatlik UV yaşlandırma yapılan örneklerinde, en düşük  $212^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş kayının kontrol örneklerinde ve  $190^\circ\text{C}$ 'de 2 saat süre ile ısıtma işlemi görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş sarıçamın kontrol örneklerinde belirlenmiştir.

Aytin (2013) çalışmasında, yabani kiraz odununda ısıtma işlem sonrasında yüzey düzgünlüğünün arttığını,  $R_a$  değerinin sıcaklık ve süre artışına bağlı olarak daha küçük değerler aldığını bildirmiştir. Ayrıca higroskopik karakteri yüksek bileşenlerin ısıtma işlemle birlikte odundan uzaklaşması ile artan hidrofobik özellik ve düşük denge rutubeti içeriği nedeniyle odun-su ilişkisinin kısıtlanması yüzeyde meydana gelebilecek deformasyonu azaltabileceği gibi yüksek sıcaklıklarda ligninin plastikleşmesi ve kapalı bir yüzey teşkili ile yüzeydeki deformasyonları azaltabilecek bir etken olduğunu ifade etmiştir.

Özcan vd. (2012) sarıçam, Doğu kayını, beyaz meşe ve Uludağ göknarında ısıtma işlem ve yüzey kabalığının yapıştırma direncine etkisini belirlerken, en yüksek  $R_a$ 'nın beyaz meşede görüldüğünü, ısıtma işlemin tüm ağaç türlerinde yüzey kalitesini iyileştirdiğini bildirmiştir.

Unsal ve Ayrılmis (2005) çalışmalarında, termal olarak modifiye edilmiş okalıptüs odununun liflere dik yöndeki yüzey pürüzlülüğü (ortalama pürüzlülük) değerinin, ısıtma işlem sıcaklığı ve işlem süresi uzadıkça azaldığı bildirilmiştir.

Korkut ve Budakçı (2010) çalışmalarında ısıtma işlem ile ağaç malzemedeki yüzey pürüzlülüğünün azaldığını bildirirken, ısıtma işlem süresince özellikle  $160^\circ\text{C}$  üzerindeki sıcaklıklarda ahşap malzemedeki ısıtmanın etkisiyle ligninin termoplastikleşme özelliği kazanacağı ve yoğunluğunun artabileceği belirtilmiştir.

Bakar vd. (2013) yüksek sıcaklık uygulanmış ağaç malzemelerde yüzey kalitesinin iyileştiğini belirterek bunun hücre çeperindeki biyokimyasal değişimlerden kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir.

**Tablo 6.** Ağaç türü, ısıtma işlemi, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodunun yüzey pürüzlülüğü  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Test	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P, $\alpha=0.05$
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )	Ağaç Türü (A)	2	97.242	48.621	2397.3387	0.0000*
	Isıtma işlemi (B)	2	21.327	10.664	525.7938	0.0000*
	Etkileşim (AB)	4	24.450	6.112	301.3859	0.0000*
	Vernik Çeşidi (C)	1	129.991	129.991	6409.4024	0.0000*
	Etkileşim (AC)	2	44.987	22.494	1109.0855	0.0000*
	Etkileşim (BC)	2	5.944	2.972	146.5334	0.0000*
	Etkileşim (ABC)	4	4.987	1.247	61.4710	0.0000*
	Yaşlandırma Periyodu (D)	3	15.630	5.210	256.8813	0.0000*
	Etkileşim (AD)	6	5.142	0.857	42.2554	0.0000*
	Etkileşim (BD)	6	5.206	0.868	42.7816	0.0000*
	Etkileşim (ABD)	12	7.826	0.652	32.1562	0.0000*
	Etkileşim (CD)	3	3.302	1.101	54.2670	0.0000*
	Etkileşim (ACD)	6	1.855	0.309	15.2421	0.0000*
	Etkileşim (BCD)	6	2.139	0.356	17.5749	0.0000*
	Etkileşim (ABCD)	12	6.954	0.579	28.5723	0.0000*
	Hata	648	13.142	0.020		
	Toplam	719	390.122			
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_z$ )	Ağaç Türü (A)	2	4541.083	2270.542	3219.7018	0.0000*
	Isıtma işlemi (B)	2	436.132	218.066	309.2250	0.0000*
	Etkileşim (AB)	4	745.529	186.382	264.2962	0.0000*
	Vernik Çeşidi (C)	1	4957.334	4957.334	7029.6609	0.0000*
	Etkileşim (AC)	2	2265.133	1132.567	1606.0162	0.0000*
	Etkileşim (BC)	2	158.012	79.006	112.0328	0.0000*
	Etkileşim (ABC)	4	153.600	38.400	54.4525	0.0000*
	Yaşlandırma Periyodu (D)	3	546.902	182.301	258.5084	0.0000*
	Etkileşim (AD)	6	333.118	55.520	78.7287	0.0000*
	Etkileşim (BD)	6	189.990	31.665	44.9020	0.0000*
	Etkileşim (ABD)	12	225.207	18.767	26.6126	0.0000*
	Etkileşim (CD)	3	172.851	57.617	81.7027	0.0000*
	Etkileşim (ACD)	6	124.568	20.761	29.4402	0.0000*
	Etkileşim (BCD)	6	54.394	9.066	12.8554	0.0000*
	Etkileşim (ABCD)	12	200.810	16.734	23.7295	0.0000*
	Hata	648	456.971	0.705		
	Toplam	719	15561.971			
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_{max}$ )	Ağaç Türü (A)	2	17867.533	8933.766	5168.4551	0.0000*
	Isıtma işlemi (B)	2	2341.601	1170.801	677.3437	0.0000*
	Etkileşim (AB)	4	4136.502	1034.125	598.2730	0.0000*
	Vernik Çeşidi (C)	1	12991.828	12991.828	7516.1671	0.0000*
	Etkileşim (AC)	2	9885.774	4942.887	2859.6102	0.0000*
	Etkileşim (BC)	2	1182.314	591.157	342.0023	0.0000*
	Etkileşim (ABC)	4	1657.320	414.330	239.7024	0.0000*
	Yaşlandırma Periyodu (D)	3	661.943	220.648	127.6515	0.0000*
	Etkileşim (AD)	6	522.510	87.085	50.3813	0.0000*
	Etkileşim (BD)	6	698.824	116.471	67.3819	0.0000*
	Etkileşim (ABD)	12	1191.351	99.279	57.4361	0.0000*
	Etkileşim (CD)	3	354.037	118.012	68.2737	0.0000*
	Etkileşim (ACD)	6	502.873	83.812	48.4879	0.0000*
	Etkileşim (BCD)	6	282.185	47.031	27.2087	0.0000*
	Etkileşim (ABCD)	12	988.566	82.380	47.6596	0.0000*
	Hata	648	1120.080	1.729		
	Toplam	719	56385.241			

\*: Anlamlı ( $\alpha = 0.05$ 'e göre)

Yapılan başka bir çalışmada ortamda rutubet varsa yaşlandırmadaki sıcaklık etkisinin termoliz, termolitik ve pirolitik tahribata neden olduğunu, ayrıca yüksek sıcaklıklarda birbiri ile bağ kurarak

sertleşmeye başlayan polimerlerde, sıcaklık  $32^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulsa bile bağlarda kopmalar ve katman kayıplarının görülebileceği bildirmiştir. (Çakıcıer ve Korkut 2009; Feller 1994).

Söğütlü ve Sönmez (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, 144 saatlik hızlandırılmış yaşlandırma süresinden sonra katmanda ışık etkisi ile bozunmanın başladığını ve UV ışınların etkisiyle yüzey pürüzlülüğünün de arttığı, en fazla artışın meşe odununda görüldüğü bildirilmiştir.

Çakıcıer (2007) tarafından yapılan araştırmada, vernik katmanı yüzey pürüzlülüğünde farklı katman kalınlığı uygulamalarının önemli etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Özellikle, su bazlı tek bileşenli verniğin iki kat uygulandığı örneklerde, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilirken, yaşlandırma süresi uzadıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görüldüğü, 144 saatlik yaşlandırma süresinin sonunda ışık etkisi ile bozunmanın başladığını belirtilmiştir. Yang vd. (2001) yaptıkları çalışmada, yaşlandırma

işleminin başlangıcında sadece katman parlaklığında hızlı bir azalma görüldüğünü, işlemin ileri aşamalarında yüzey geriliminin arttığını, kabarcıklanma oluşumunun gözlemlendiğini ve daha sonra kılcal çatlaklıkların oluşması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmişlerdir.

#### 4. Sonuçlar

Araştırma sonuçlarına göre, ağaç türü düzeyinde yüzey pürüzlülüğü değerleri en yüksek meşede, en düşük sarıçamda tespit edilmiştir. Bu durum, denemelerde kullanılan ağaç türlerinin tekstürleri ve ahşap malzemeye uygulanan ısı işlem sonrasında meydana gelebilecek yüzey değişiklikleri ve anatomik özelliklerdeki farklılaşmalardan kaynaklanmış olabilir.

**Tablo 7.** Ağaç türü, ısı işlem, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodu değişkenlerinde yüzey pürüzlülüğü  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  ölçümlerine ait Duncan testleri ve LSD sonuçları.

Test	Faktör	X	HG	LSD +	
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )	Ağaç Türü	Sarıçam	0.67	C	0.02535
		Kayın	0.78	B	
		Meşe	1.50	A*	
	Isıl İşlem	190°C'de 2 Saat	0.81	C	0.02535
		212°C'de 1 Saat	1.22	A*	
		212°C'de 2 Saat	0.91	B	
	Vernik Çeşidi	Tek Bileşenli	1.41	A*	0.02070
		Çift Bileşenli	0.56	B	
	Yaşlandırma Periyodu	Kontrol	0.75	D	0.02927
		144 Saat	1.14	A*	
		288 Saat	1.07	B	
		432 Saat	0.96	C	
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_z$ )	Ağaç Türü	Sarıçam	3.58	C	0.1505
		Kayın	4.43	B	
		Meşe	9.28	A*	
	Isıl İşlem	190°C'de 2 Saat	5.01	C	0.1505
		212°C'de 1 Saat	6.84	A*	
		212°C'de 2 Saat	5.45	B	
	Vernik Çeşidi	Tek Bileşenli	8.39	A*	0.1229
		Çift Bileşenli	3.14	B	
	Yaşlandırma Periyodu	Kontrol	4.33	C	0.1738
		144 Saat	6.49	A*	
		288 Saat	6.44	A	
		432 Saat	5.80	B	
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_{max}$ )	Ağaç Türü	Sarıçam	5.37	C	0.2357
		Kayın	6.42	B	
		Meşe	16.42	A*	
	Isıl İşlem	190°C'de 2 Saat	7.74	C	0.2357
		212°C'de 1 Saat	11.91	A*	
		212°C'de 2 Saat	8.56	B	
	Vernik Çeşidi	Tek Bileşenli	13.65	A*	0.1925
		Çift Bileşenli	5.16	B	
	Yaşlandırma Periyodu	Kontrol	7.78	C	0.2722
		144 Saat	10.25	A*	
		288 Saat	9.92	B	
		432 Saat	9.65	B	

X: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, \*: En yüksek yüzey pürüzlülük değerlerini ifade etmektedir.



**Tablo 8.** Ağaç türü - ısıtma işlem - vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu dörtlü etkileşimine ait yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$ ) ölçümlerinin Duncan testi ve LSD değeri sonuçları.

Test	Oduun türü	Isıl işlem	Vernik çeşidi	N	Yaşlandırma periyodu												
					Kontrol			144 saat			288 saat			432 saat			
					X	S	HG	X	S	HG	X	S	HG	X	S	HG	
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )	Sarıçam	TW <sub>1</sub>	Tek	10	0.47	0.11	abcdefghi	0.49	0.05	abcdefg	0.69	0.08	UVWXY	0.56	0.05	YZabcd	
			Çift	10	0.24	0.02	m	0.31	0.04	ijklm	0.44	0.03	defghi	0.41	0.05	fghijk	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	0.83	0.14	QRST	1.32	0.17	JK	0.95	0.09	OPQ	0.84	0.12	QRST	
			Çift	10	0.29	0.06	klm	0.75	0.06	STUV	0.58	0.06	XYZab	0.77	0.08	RSTU	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	0.72	0.10	TUVW	1.16	0.08	LM	1.55	0.17	FG	0.88	0.09	PQR	
			Çift	10	0.68	0.10	UVWXY	0.35	0.11	ijklm	0.54	0.07	Zabcde	0.25	0.02	m	
	Kayın	TW <sub>1</sub>	Tek	10	0.63	0.09	VWXYZ	1.08	0.08	MN	1.36	0.15	IJK	1.00	0.09	NOP	
			Çift	10	0.40	0.05	fghijkl	0.74	0.09	TUVW	0.79	0.06	RSTU	0.59	0.07	XYZa	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	0.84	0.13	QRST	1.11	0.06	MN	1.25	0.02	KL	1.39	0.10	HIJ	
			Çift	10	0.28	0.07	lm	0.40	0.05	fghijkl	0.45	0.04	cdefghi	0.62	0.14	WXYZ	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	0.93	0.13	PQ	1.44	0.19	GHIJ	0.79	0.09	RSTU	1.06	0.02	MNO	
			Çift	10	0.37	0.04	ghijklm	0.43	0.02	efghij	0.36	0.03	hijklm	0.35	0.03	ijklm	
	Meşe	TW <sub>1</sub>	Tek	10	1.34	0.22	JK	2.36	0.29	D	1.96	0.16	E	1.50	0.14	FGH	
			Çift	10	0.48	0.03	abcdefgh	0.57	0.02	XYZabc	0.63	0.03	VWXYZ	0.50	0.05	abcdef	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	2.56	0.28	C	3.83	0.61	A*	2.59	0.28	C	3.41	0.27	B	
			Çift	10	0.57	0.10	XYZabc	1.49	0.12	FGHI	1.14	0.10	LM	0.94	0.13	OPQ	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	1.59	0.24	F	2.28	0.20	D	2.36	0.25	D	1.49	0.18	FGHI	
			Çift	10	0.28	0.05	lm	0.46	0.10	bdefghi	0.77	0.10	RSTU	0.83	0.12	QRST	
	Yüzey pürüzlülüğü ( $R_z$ )	Sarıçam	TW <sub>1</sub>	Tek	10	2.83	0.40	YZabc	2.71	0.45	Zabc	3.83	0.40	TUVW	3.23	0.28	VWXYZ
				Çift	10	1.23	0.13	h	1.56	0.22	efgh	2.86	0.38	YZabc	2.44	0.24	abcd
			TW <sub>2</sub>	Tek	10	4.47	0.75	RST	5.62	0.49	NO	5.59	0.98	NOP	4.49	0.63	RST
				Çift	10	1.40	0.44	h	3.11	0.37	WXYZa	2.82	0.43	YZabc	3.14	0.63	WXYZa
			TW <sub>3</sub>	Tek	10	4.09	0.52	STU	6.55	1.03	KLM	8.23	1.04	I	5.34	0.58	OPQ
				Çift	10	3.84	0.43	TUVW	1.62	0.31	efgh	3.55	0.64	UVWXY	1.44	0.18	gh
Kayın		TW <sub>1</sub>	Tek	10	4.16	0.58	RSTU	5.83	0.29	MNO	6.93	0.89	KL	5.68	0.56	NO	
			Çift	10	2.71	0.36	Zabc	4.00	0.44	TU	4.24	0.29	RSTU	3.76	0.46	TUVW	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	4.82	0.68	QRS	6.18	0.41	MN	6.92	0.38	KL	8.00	0.75	I	
			Çift	10	1.34	0.25	h	2.16	0.36	cdefg	2.60	0.47	Zabc	3.63	0.44	UVWX	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	4.88	0.50	PQR	7.91	1.57	I	4.80	0.32	QRS	6.11	0.63	MN	
			Çift	10	2.99	0.53	XYZab	2.44	0.23	abcd	2.20	0.22	cdef	1.78	0.21	defgh	
Meşe		TW <sub>1</sub>	Tek	10	9.12	1.78	H	15.47	2.01	D	14.31	2.33	E	10.90	1.16	G	
			Çift	10	2.73	0.40	Zabc	3.00	0.44	XYZab	3.88	0.53	TUV	2.62	0.46	Zabc	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	12.60	1.24	F	23.71	1.21	A*	16.76	1.83	C	21.46	1.53	B	
			Çift	10	3.02	0.50	XYZab	7.71	0.60	IJ	7.13	0.84	JK	5.72	0.45	NO	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	10.26	1.31	G	14.90	1.63	DE	13.06	1.42	F	10.31	0.98	G	
			Çift	10	1.51	0.28	fgh	2.29	0.33	bcd	4.39	0.57	RST	6.27	0.61	LMN	
Yüzey pürüzlülüğü ( $R_{max}$ )		Sarıçam	TW <sub>1</sub>	Tek	10	4.62	0.68	XYZabc	4.33	0.64	YZabcde	5.20	1.15	VWXYZa	4.19	0.55	Zabcde
				Çift	10	1.83	0.49	j	2.38	0.25	hij	5.48	0.83	TUVWXY	4.28	0.46	Zabcde
			TW <sub>2</sub>	Tek	10	6.14	0.53	RSTUV	7.51	1.02	OPQ	7.48	1.61	OPQ	6.56	1.40	QRST
				Çift	10	2.13	0.43	ij	4.32	0.49	Zabcde	4.40	0.71	YZabcde	5.25	1.34	UVWXYZ
			TW <sub>3</sub>	Tek	10	6.14	0.40	RSTUV	9.11	0.84	KLM	11.67	0.93	HI	7.86	1.14	OP
				Çift	10	6.39	1.02	QRSTU	3.00	0.58	fghi	6.10	1.26	RSTUV	2.47	0.32	ghij
	Kayın	TW <sub>1</sub>	Tek	10	5.91	1.12	RSTUVW	7.99	1.12	MNOP	9.53	1.20	KL	7.92	1.33	NOP	
			Çift	10	4.16	0.99	Zabcde	5.67	1.46	STUVWX	6.99	0.97	PQR	4.93	1.60	WXYZa	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	7.90	1.76	OP	8.06	0.80	MNOP	9.06	1.10	KLMN	12.01	2.09	HI	
			Çift	10	1.86	0.49	ij	3.65	1.24	bcd	4.53	0.60	XYZabcd	6.20	1.40	RSTUV	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	6.69	1.53	QRS	9.70	1.35	K	6.57	1.62	QRST	8.48	2.13	LMNO	
			Çift	10	4.78	1.26	WXYZab	4.58	0.74	XYZabc	3.36	0.89	efgh	3.54	0.64	cdefg	
	Meşe	TW <sub>1</sub>	Tek	10	12.41	1.37	H	26.75	1.52	C	22.40	1.71	D	20.18	2.21	E	
			Çift	10	4.19	0.59	Zabcde	4.76	0.72	WXYZab	6.25	0.54	RSTUV	3.39	0.75	defgh	
		TW <sub>2</sub>	Tek	10	37.79	2.84	B	48.14	4.71	A*	26.60	2.69	C	38.31	1.59	B	
			Çift	10	5.14	0.86	VWXYZa	11.72	0.99	HI	10.14	0.58	JK	10.93	1.43	IJ	
		TW <sub>3</sub>	Tek	10	10.93	0.59	IJ	18.87	0.88	FG	21.43	1.38	D	17.94	0.96	G	
			Çift	10	2.05	0.50	ij	4.05	0.71	abcdef	11.38	1.43	HI	9.31	0.82	KL	

LSD  $R_a$  + 0.1242, LSD  $R_z$  + 0.7373, LSD  $R_{max}$  + 1.155

N: Ölçüm sayısı, X: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, S: Standart sapma, \*: En yüksek yüzey pürüzlülük değerleri,

TW<sub>1</sub>: 190°C'de 2 saat, TW<sub>2</sub>: 212°C'de 1 saat, TW<sub>3</sub>: 212°C'de 2 saat

Isıl işlem düzeyinde, yüzey pürüzlülüğü değerleri, en yüksek 212°C'de 1 saatte, en düşük 190°C'de 2 saatte elde edilmiştir. Buna göre, düşük ve orta derecede uygulanan ısıl işlem sıcaklığının yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırıcı, yüksek derecede

uygulanan ısıl işlem sıcaklığının ise azaltıcı etkide bulunduğu söylenebilir.

Bu araştırmada ısıl işlem süresi arttıkça pürüzlülüğün arttığı tespit edilmiştir. Bunun da

sebebi olarak ThermoWood yöntemine göre yapılan ısıtma işlem uygulamasının etüv ortamına göre yapılan çalışmalardan daha homojen bir uygulama olduğu, ağaç malzemenin iç bölgesindeki daha derin kısımlara kadar nüfuz edebildiği ve ayrıca liflerin ThermoWood metodunda odunun yanmasını engelleyen koruyucu buharın yüzey yapısını değiştirmiş olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Vernik çeşidi düzeyinde yüzey pürüzlülüğü değerleri en yüksek tek bileşenli vernikte, en düşük çift bileşenli vernikte elde edilmiştir. Bu durumda, ağaç malzemenin boşluklarını tam olarak dolduramayan tek bileşenli vernik katmanlarının ısıtma işlem ve yaşlandırma uygulamalarının da etkisiyle en fazla pürüzlülük değeri verdiği söylenebilir. Araştırmada kullanılan çift bileşenli vernik formülasyonunda bulunan alifatik poliüretan reçinenin izosiyanat (sertleştirici) ile reaksiyonu sonucu edilen iki bileşenli verniğin katmanındaki yüzey geriliminin az olacağı için pürüzlülükte azalmaya yol açmış olabileceği söylenebilir.

Yaşlandırma periyodu düzeyinde yüzey pürüzlülüğü değerleri en yüksek 144 saatlik UV yaşlandırma örneklerinde, en düşük kontrol örneklerinde tespit edilmiş, bütün yaşlandırma periyotları arasında sadece  $R_a$  değerlerinde %95 güven aralığı düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlenmiştir. Buna göre, gerek ısıtma işlem gerekse yaşlandırma işlemlerinin birlikte uygulandığı su çözücülü vernik katmanlarında uzun süreli yaşlandırma işlemlerinin ilk aşamalarında pürüzlülük değerinin arttığı, daha sonraki aşamalarda ise azaldığı tespit edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma “Isıtma işlem görmüş (ThermoWood) bazı ağaç türlerinde kullanılan su-bazlı vernik katmanlarının hızlandırılmış UV yaşlandırma etkisine karşı direncinin belirlenmesi” başlıklı doktora tezinden üretilmiş ve Düzce Üniversitesi BAP-2012.02.HD.078 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

## 5. Kaynaklar

Altınok, M., Perçin, O., Doruk, Ş., 2010. Isıtma işleminin (Thermo-Process) ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23, 71-84.

Anonymous, 2003. ThermoWood Handbook, Finnish ThermoWood Association, Helsinki-Finland.

ASTM D 1644-01, 2006. Standard Test Methods for Nonvolatile Content of Varnishes. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

ASTM D 6132, 2008. Standard test method for nondestructive measurement of dry film thickness of applied organic coatings using an ultrasonic gage.

ASTM G 154-06, 2006. Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials, ASTM, USA, 2-8.

Ayata, Ü., 2014. Isıtma işlem görmüş (ThermoWood) bazı ağaç türlerinde kullanılan su-bazlı vernik katmanlarının hızlandırılmış UV yaşlandırma etkisine karşı direncinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.

Aytin, A., 2013. Yabancı kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench) odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulamasının etkisi, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce.

Aytin, A., Korkut, S., ve Çakıcıer, N., 2015. Yabancı kiraz odununda bazı yüzey karakteristikleri üzerine ThermoWood® yöntemi ile ısıtma işleminin etkisi, Selçuk-Teknik Dergisi, Özel Sayı-1 (UMK-2015), 539-554.

Bakar, B.F.A., Hiziroğlu, S., Tahir, P.M., 2013. Properties of some thermally modified wood species, Materials and Design, 43, 348-355.

Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin N., 1993. Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 3779 (425), 125 ve 429.

Çakıcıer, N., 2007. Ağaç malzeme yüzey işlemleri katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi İstanbul, İstanbul.

Çakıcıer, N., ve Korkut, D.S., 2009. Ahşap yüzeylere uygulanan kaplama katmanlarında yaşlandırma testleri, Düzce

- Üniversitesi, Ormanlık Dergisi, 5 (1) 75-90.
- Feller, R.L., 1994. Accelerated Aging, Photochemical and Thermal Aspects, Printed in the United States of America.
- ISO 4287, 1997. Geometrical product specifications surface texture profile method terms, definitions and surface texture parameters, International Standart Organization.
- Kazan, B., 2009. Su bazlı vernik uygulanmış yüzey üzerindeki ısı işlemin etkileri, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar.
- Kesik, H.İ., Vurdu, H., Çağatay, K., Özkan, O.E., Öncel, M., 2015. Yağlı Isıl işlem görmüş sarıçam odununda koruyucu katmanların yapışma ve sertlik özellikleri, Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 15 (2) 261-266.
- Korkut S., and Budakci M., 2010. The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood, *Wood Research*, 55 (1) 67-78.
- Korkut, S., 1999. Kereste üretiminde yüzey kalitesinin iyileştirilmesi üzerine araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Özcan, S., Özçiftçi, A., Hiziroğlu, S., Toker, H., 2012. Effects of heat treatment and surface roughness on bonding strength, *Construction and Building Materials*, 33, 7-13.
- Portable Surface Roughness Tester SurfTest Sj-301, 1998. yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanım kılavuzu.
- Richter, K., Fest, W.C., Knaebe, M.T., 1995. The effect of surface roughness on the performance of finishes, *Forest Products Journal*, 45 (7) 91-97.
- Söğütü, C., ve Sönmez, A., 2006. Değişik koruyucular ile işlem görmüş bazı yerli ağaçlarda UV ışınlarının renk değiştirici etkisi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi*, 21 (1) 151-159.
- Sönmez, A., ve Söğütü, C., 2009. Biçme İşleminde Kesiş Yönü ve Daire Testere Diş Sayısının Ağaç Malzeme Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 12 (1) 55-60.
- Temiz, A., 2005. Benzetilmiş dış hava koşullarının emprenyeli ağaç malzemeye etkileri, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- TS 5723, 1988. Ahşap koruma-emprenye maddesi nüfuz derinliğinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 642, 1997. Kondisyonlama ve / veya Deney İçin Standart Atmosferler-Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 351-1, 2010. Ahşap ve ahşap esaslı mamullerin dayanıklılığı-emprenye edilmiş masif ahşap-Bölüm 1: Emprenye maddesinin nüfuz derinliği ve tutulma miktarının sınıflandırılması. T.S.E., Ankara.
- Unsal, O., and Ayrilmis, N., 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red rum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, *Journal of Wood Science*, 51, 405-409.
- Yang, X.F., Vang, C., Tallman, D.E., Bierwagen, G.P., Croll, S.G., and Rohlik, S., 2001. Weathering degradation of a polyurethane coating, polymer degradation and stability, 74, 341-351.

# Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği

*Landslide Susceptibility Analysis by Fuzzy Adaptive Resonance Theory (FuzzyART)  
Method: Tonya (Trabzon) Example*

**Aykut AKGÜN\***

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

• Geliş tarihi / Received: 25.10.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 29.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 04.12.2017

## Öz

Bu çalışmada, şimdiye kadar heyelan duyarlılık analizi ile ilgili literatürde kullanılmamış olan bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (FuzzyART-BURT) olarak isimlendirilen ve esasında bir küme sınıflandırıcı olan yöntemin, heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç için, çalışma alanı olarak çoğunlukla sığ kayma yüzeyli heyelanların sıklıkla izlendiği ve bu nedenle geçmişten günümüze heyelan nedenli afet sürecine maruz kalan Trabzon iline bağlı Tonya ilçesi seçilmiştir. İlk olarak çalışma alanına ait, heyelan duyarlılık analizinde ihtiyaç duyulan hazırlayıcı nedenlerden litoloji, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi (AGİ) ve topoğrafik nemlilik indeksi (TNİ) verileri elde edilmiştir. Alanda daha önceden meydana gelmiş ve geçmiş olay envanterini yansıtan heyelan envanter verisi çalışmada bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu verilerden ilk olarak her bir hazırlayıcı parametre için frekans oranı değerleri hesaplanmış, hesaplanan bu frekans oranı değerlerinden itibaren her bir parametrede ayırt edilen alt sınıflar için duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Belirlenen bu duyarlılık sınıfları, uygulanan BURT yönteminde eğitim parametreleri olarak kullanılmıştır. BURT ile eğitilen her bir hazırlayıcı parametre verisinden o parametreye ait duyarlılık haritası üretildikten sonra, elde edilen tüm duyarlılık haritalarının bir araya toplanması sonucunda inceleme alanına ait nihai heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Üretilen sonuç heyelan duyarlılık haritasının doğruluk analizinin yapılabilmesi amacıyla, eğri altındaki alan (ROC-EAA) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan doğrulama analizi sonucunda EAA değeri 0.72 olarak belirlenmiş olup bu değer üretilen heyelan duyarlılık haritasının oldukça başarılı bir kestirime sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Doğal afet, Duyarlılık, Heyelan, Trabzon

## Abstract

*In this study, use of the method called as fuzzy adaptive resonance theory (FuzzyART) which is essentially a cluster classifier and has never been used in landslide susceptibility literature was aimed in producing of landslide susceptibility map. For this purpose, Tonya district belonging to Trabzon city where shallow seated landslides occasionally happens and exposed to several landslide-based hazards was chosen as study area. Initially, lithology, altitude, slope gradient, slope aspect, stream power index (SPI) and topographical wetness index (TWI) data belonging to the study area were chosen to be conditioning parameters needed for landslide susceptibility analysis. The landslide inventory data showing past case inventory was used to be independent parameter. From the conditioning parameters obtained, likelihood ratio (LR) values for each of these parameters were calculated, and based on the calculated LR values, susceptibility classes were determined for each of the sub-classes of the each parameters. These susceptibility classes were used as training parameter in the Fuzzy ART model applied. After obtaining the susceptibility maps of each parameter from each preliminary parameter database trained by FuzzyART, the final landslide susceptibility map of the study area was obtained as a result of the collection of all the susceptibility maps obtained. To perform the validation of the produced susceptibility map, area under curvature (AUC) method was used. At the end of the validation analysis, the AUC value was obtained to be 0.72, and this value shows that the susceptibility map produced has a good prediction capability.*

**Keywords:** Natural hazard, Susceptibility, Landslide, Trabzon

\*Aykut AKGÜN; aykutakgun@gmail.com; Tel: (0462) 377 35 08; orcid.org/0000-0001-5212-6447

## 1. Giriş

Heyelanlar, dünyada depremlerden sonra en fazla meydana gelen ve bu nedenle de en çok can ve mal kaybına neden olan doğa olaylarından birisi olarak bilinmektedir (İlçır, 1995). Gerek ülkemizde, gerekse dünya genelinde heyelan nedenli afetlerin sayısı özellikle iklim değişikliğine bağlı gelişen aşırı yağışlar ve bazen de meydana gelen büyük depremlerin tetikleme sonucunda meydana gelmekte, çok sayıda can ve mal kaybını da beraberinde getirmektedir. Özellikle her türlü yer seçimi (yerleşim, depolama alanı, baraj yeri, vb.), güzergâh belirlenmesi (yol, demiryolu, enerji iletim hattı vb.) gibi mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesi aşamasında proje alanının heyelan duyarlılığı açısından irdelenmesi ve gelecekte oluşabilecek heyelan nedenli problemlerin önceden kestirilerek gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanınması noktasında heyelan duyarlılık haritalarına olan gereksinim de son derece önem kazanmaktadır. Ülkemiz geneline bakıldığında gerek morfolojik yapı, gerek jeolojik birimlerin özellikleri ve gerekse de iklim koşulları nedeniyle heyelan nedenli afetlerin en çok yaşandığı alanlar Karadeniz Bölgesinin Doğu ve Batı Karadeniz bölümleri olarak görülmektedir. Son yıllarda Doğu Karadeniz Bölümünde aşırı yağışlara bağlı olarak gelişen sığ akma ve kaymalar neticesinde ciddi sayıda can ve mal kaybı ile karşılaşıldığı, bu nedenle de ciddi ekonomik kayıpların meydana geldiği bilinmektedir.

Sözü edilen bu değerlendirmelerden yola çıkıldığında, gerek dünyada gerekse de ülkemizde heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile ilgili çalışmalar son yirmi yıldır önemli bir ivme kazanarak gelişmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalara bakıldığında, ülkemizde çok sayıda araştırmacının, farklı parametreler, değişik değerlendirme yöntem ve süreçleri ile çok sayıda katkı sağladığı söylenebilir (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Çevik ve Topal, 2003; Süzen ve Doyuran, 2004; Nefeslioğlu vd., 2008; Yılmaz, 2009; Dağ vd., 2011; Demir vd., 2013; Kavzoğlu vd., 2014; Eker vd., 2015; Erener vd., 2016; Akgün ve Erkan, 2016; Gurocak vd., 2017).

Heyelan duyarlılık amaçlı yapılan çalışmalarda, kullanılan parametrelerin seçimi daha çok çalışma alanındaki heyelanların gelişim sürecini önemli ölçüde denetleyen parametrelere gözetilerek seçilirken (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001), bu parametrelerin değerlendirilmesinde ise esas olarak dört yöntem grubunda yer alan

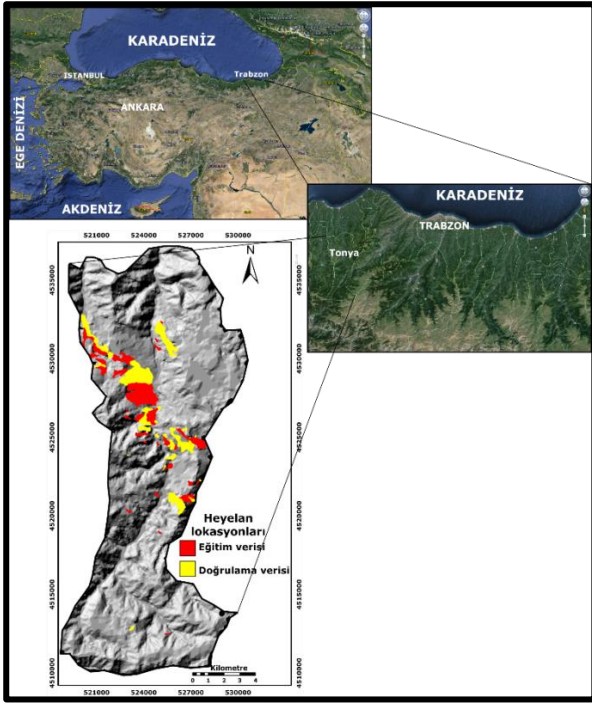
yaklaşımlardan yararlanılmıştır. Bu yaklaşımlar: a) deterministik (Carrara vd., 1995; Guzetti vd., 1999; Chacon vd., 2006; Thiebes, 2011; Akgün ve Erkan, 2016), b) sezgisel (Castellanos Abella ve Van Westen 2007; Akgün 2012; Nefeslioglu vd., 2013; Roodposhti vd., 2013 ), c) istatistiksel (Süzen ve Doyuran, 2004; Çan vd., 2005; Akgün ve Bulut 2007; Nefeslioğlu vd., 2008; Kınca vd., 2009; Pradhan vd. 2010; Sezer, vd., 2011; Althuwaynee vd., 2012; Akgün vd., 2012; Ösna vd., 2014) ve d) heyelan envanterine dayalı olasılıksal yaklaşımlar (Sezer vd., 2011; Akgün vd., 2011; Pradhan, 2011; Melchiorre, vd., 2011) olarak bilinmektedir. Bu yöntemler içerisinde yer alan ve yöntemin yapısal özellikleri gereği hem sezgisel, hem de olasılıksal olarak gruplandırılabilir veri madenciliği ve esnek hesaplama yaklaşımları olan yöntemlerde (yapay sinir ağları, karar ağacı, genetik algoritma, bulanık çıkarsama sistemleri, destek vektör makinaları) son on yıldır sıklıkla kullanılmakta olan yöntemler arasında yer almaktadır (Akgün vd., 2012; Nefeslioğlu vd., 2010; Ercanoğlu vd., 2016; Romer ve Ferentinou, 2016; Çölkesen vd., 2016).

Bu çalışmada da, yapay sinir ağları ile bulanık mantık yaklaşımlarını birleştiren bir yöntem olan ve Fuzzy ARTMAP olarak literatürde isimlendirilen bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (BURT) kullanılarak bir heyelan duyarlılık haritası üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, IDRISI Selva V17.0 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yazılımındaki arayüz uygulaması kullanılmıştır. Bu yöntem, literatürde heyelan duyarlılık haritalaması için ilk kez kullanılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Bu çalışmada inceleme alanı olarak Trabzon iline bağlı, Tonya ilçesi seçilmiştir. Tonya ilçesi, Trabzon il sınırları içerisinde heyelan olaylarından en fazla etkilenen ilçelerin başında gelmektedir (Şekil 1). İlçede topoğrafyanın oldukça sarp, yüzeylenen litolojik birimlerin oldukça ayrılmış ve yıllık ortalama yağış değerinin 2200 mm civarında (URL-1) olması nedeniyle saha gerek sığ ve derin heyelanların, gerekse de kaya düşmesi türünden kütle hareketlerinin gelişmesine son derece açıktır.

Çalışma alanında yüzeylenen birimler, çoğunlukla volkanik ve volkano-klastik birimler olarak ayırt edilmektedir. Bu birimlerin yaşı Jura'dan başlayıp Geç Kretase ile devam eden ve Eosen ile sonlanan bir sıralanma sunmaktadır (MTA, 1998) (Şekil 2).



Şekil 1. İnceleme alanına ait lokasyon haritası

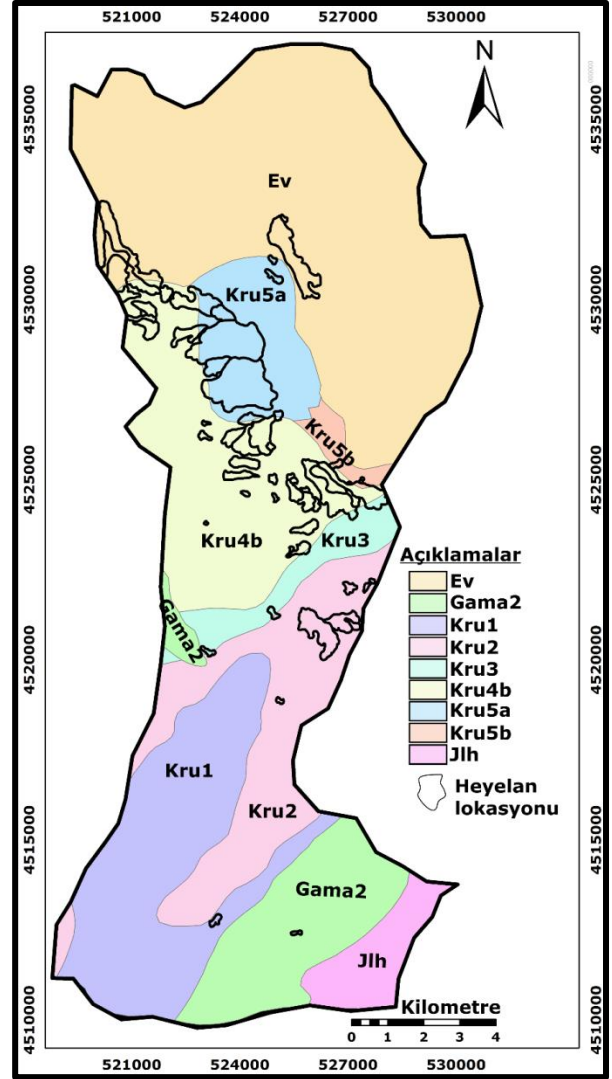
Alanda Eosen yaşlı birimler bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan, yer yer kumlu kireçtaşı ara katkılarında oluşan (Ev) ile gösterilen birimler ile (Gama2) olarak simgelenen granit, granodiyorit, kuvars diyorit ve dolerit karakterinde litolojilerle temsil edilmektedir (Şekil 2). Geç Kretase yaşlı birimler (Kru1, Kru2, Kru3, Kru4b, Kru5a) bazalt, andezit, dasit, riyodasit ve piroklastlarından oluşurken, (Kru5b) kumlu resifal kireçtaşı birimi olarak ayırtılmaktadır (Şekil 2). En yaşlı birim olarak Liyas-Dogger yaşlı bazalt, andezit, dasit ve piroklastları sahada yüzlek vermektedir. Bu birimlerin alansal dağılımına bakıldığında yaklaşık %35'lik oranla (Ev) birimleri başı çekmektedir. Gerek volkanik ve volkano-klastik birimler, gerekse de intrüzif birimler yüksek derecede ayrılmış olup, ayrışma kalınlığı yer yer 5-10 m arasında değişim göstermektedir. Bu değişim, beraberinde sığ akma ve kaymalara da hazırlayıcı ortam sunmaktadır.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, inceleme alanına ait heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması amacıyla, alanda heyelan gelişimini baskın olarak denetlediği gözlenen litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi (AGİ) ve topoğrafik nemlilik indeksi parametreleri kullanılmıştır.

Bu amaçla, alana ait 1:100.000 ölçekli Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (1998) tarafından hazırlanan jeoloji haritası ArcGIS 10.0

CBS yazılımı kullanılarak vektör veri formatında sayısallaştırılmış, daha sonra mekânsal çözünürlüğü 25 m olan raster veri formatına dönüştürülmüştür.



Şekil 2. İnceleme alanına ait litoloji haritası.

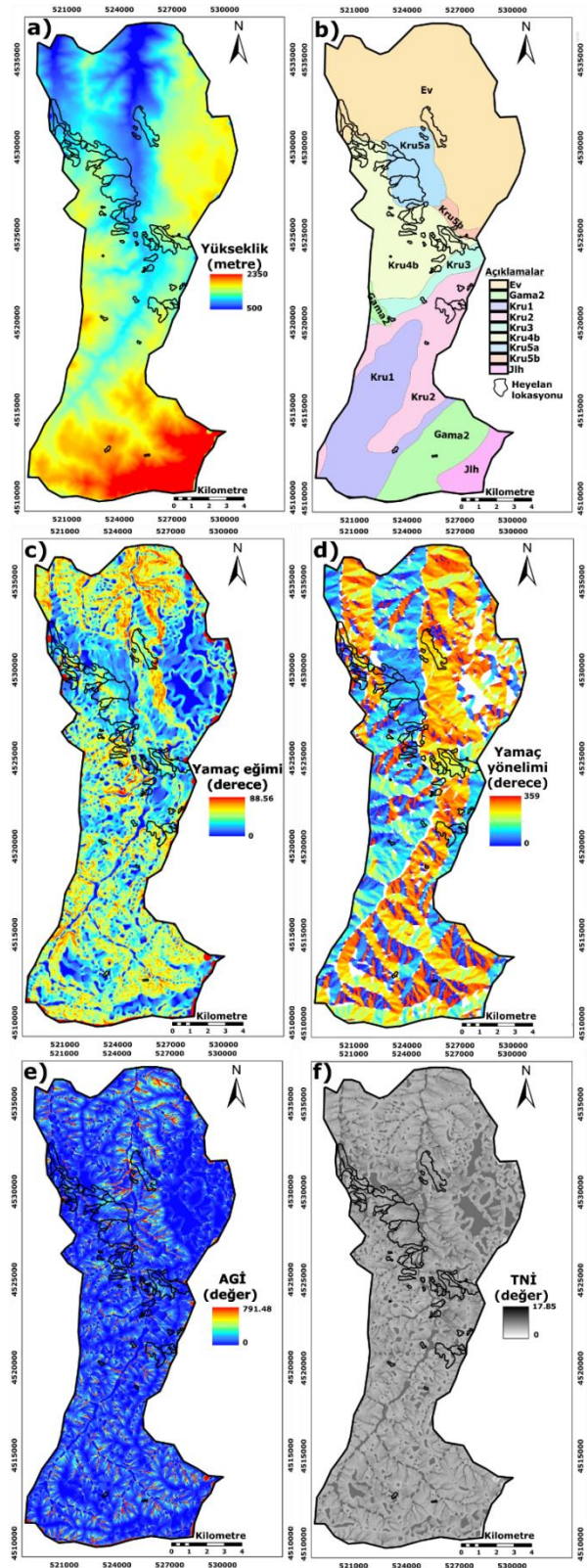
USGS (1993)'e göre 1:25.000 ölçekli haritalarda konumsal doğruluk gereği mekânsal çözünürlüğün  $\pm 12.5$  m olması önerilmektedir. Buna karşın literatürde bu konuda bir görüş birliği de bulunmamakta olup, çalışma alanındaki heyelanların 1:25.000 ölçekte haritalanabilir olmaları alansal olarak 25 m mekânsal çözünürlükle gösterilebilmelerini olanaklı kılmaktadır. Alana ait ve Harita Genel Komutanlığı tarafından hazırlanan 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden eş yükseklik eğrileri 10 m'de bir olmak üzere vektör veri formatında sayısallaştırılmış ve sayısal topoğrafik veri üretilmiştir. Üretilen bu sayısal topoğrafik veri üzerinden 25 m mekânsal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir.

Elde edilen SYM'den itibaren yükseklik değeri, yamaç eğim, yamaç yönelimi, AGİ (Moore vd.,1991) ve TNİ (Moore vd., 1991) haritaları yine raster veri formatında ve 25 m mekânsal çözünürlüğe sahip olarak üretilmiştir.

Çalışmada bağımlı değişken olarak değerlendirilen ve eğitim alanlarının oluşturulmasında kullanılan heyelan envanter verisi için Duman vd. (2007) tarafından üretilen 1:25.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanter Verisinden yararlanılmıştır. Bu haritada, alanda meydana gelmiş heyelanlar zaman bilgisinden yoksun olarak yalnızca mekânsal alan belirteci şeklinde gösterilmektedir. Vektör veri formatında hazırlanmış bu haritadan çalışma alanındaki heyelanlar 25 m mekânsal çözünürlüğe sahip olacak şekilde raster formatına dönüştürülmüştür. Alanda tanımlanmış heyelanlar aktivitelerine göre "aktif" ve "eski" heyelan olarak ayırt edilmiştir. Söz konusu heyelanların hemen hemen tamamına yakını Varnes (1978) sınıflandırmasına göre sığ düzlemsel kayma ve akma niteliği göstermektedir. Heyelan envanter verisine dayalı duyarlılık analiz modellerinde, envanter verisinin modeldeki örneklem modelleri literatürde farklılıklar göstermektedir (Süzen ve Doyuran 2004; Nefeslioğlu vd. 2008; Yılmaz 2010; Dağdelenler vd. 2015; Akgün ve Erkan, 2016).

Bu çalışmalarda, envanter verisi kullanılırken kayan kütlelerin hareket etmemiş olan bölgesinden itibaren geriye doğru belirli bir mesafede oluşturulacak bir tampon bölgenin modele katılması, birikim zonu olarak adlanan kütlelerin ise örneklem dışı bırakılması önerilmektedir. Buna karşın, tüm kütlelerin de örneklem verisi olarak kullanılabilirdiği ifade edilmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada envanter verisi örneklem sürecinde kütlelerin bütünü alınarak modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Carpenter vd. (1991) tarafından sinir ağlarına dayandırılmış "Uyarlanabilir rezonans teorisi" (URT) biyolojik kavramsal bilgi işleme teorisinden evrilmiş bir yöntemdir. URT yöntemi, özellikle duraylılık-plastisite ikilemini çözmek, önemsenir geçmiş öğrenmeyi önleme ve fakat herhangi bir zamanda ortaya çıkabilen yeni bilginin eski bilgiyle entegre olması için yeterince uyarlanabilir kalmasını sağlamak için yüksek derecede bir duraylılık sağlamayı amaçlar (Carpenter, 1989). URT modellerinin geniş bir tanımı ve bu konuda kavramsal yaklaşımlara yönelik detay bilgiler Carpenter vd. (1991), Carpenter vd. (1992) ve Mannan vd. (1998) de bulunabilir.



**Şekil 3.** Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan hazırlayıcı parametreler: a)Yükseklik, b) Litoloji, c) Yamaç eğimi, d) Yamaç yönelimi, e) AGİ, f) TNİ.

Carpenter vd. (1992), BURT yaklaşımını bulanık analog girdi desenli (0-1 arası gerçel sayılar) vektörleri yöneten ve daha önce öğrenilmiş durumları unutmaksızın sürekli olarak öğrenmeye

izin vererek bu vektörleri birleştiren bir kümeleme (sınıflandırma) algoritması olarak tanımlamıştır. BURT yaklaşımı hem denetimsiz hem de denetimli veri sınıflandırma özelliği olan bir mimariye sahiptir. Bu çalışmada, BURT yaklaşımının denetimli sınıflandırma özelliğinden yararlanılmıştır.

BURT yaklaşımına ait mimari Şekil 4’de sunulmuştur. Denetimsiz sınıflandırmada, F1 (girdi) ve F2 (kategori) olmak üzere iki tabaka yer almaktadır. Bu iki tabaka URTa modelini oluşturur. F1 tabakası girdi nitelik vektörlerini temsil etmekte ve dolayısıyla her ölçüm boyutunda nöronlara sahip olmaktadır. BURT yaklaşımı, n-boyutlu girdi vektörleri aşağıda verilen eşitlik (1)’e işlenebilsin diye ikinci bir girdi boyutuna sahiptir.

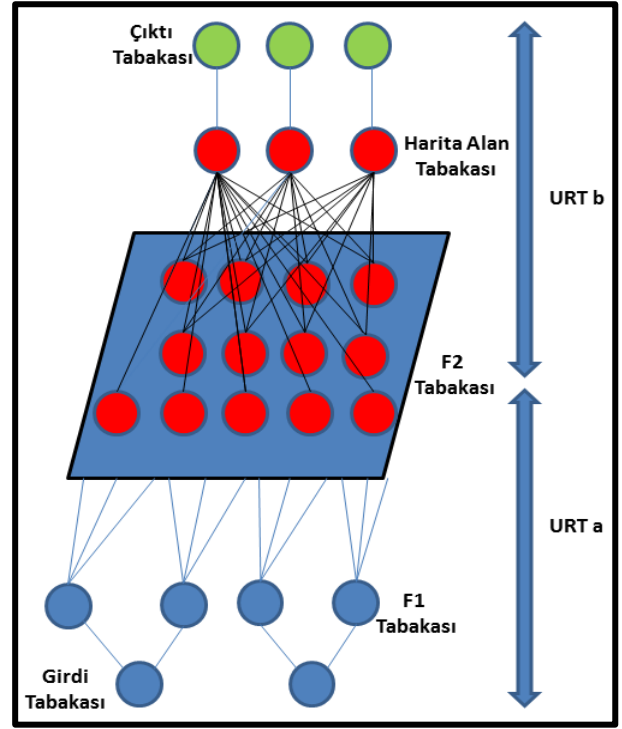
$$I = (a, a^c) = (a_1, a_2, \dots, a_n, 1-a_2, \dots, 1-a_n) \quad (1)$$

F2 tabakasındaki nöronlar otomatik olarak belirlenebilir. Diğer bir ifadeyle F2 tabakası tek bir nöronla başlar ve öğrenme işlemi boyunca dinamik olarak büyür.

Denetimli sınıflandırmada, denetimsiz sınıflandırmadan farklı olarak ilave iki tabaka daha bulunur. Bunlar “harita alan” ve “çıktı” tabakalarıdır. Bu iki tabaka URTb modelini oluşturur. Çıktı ve harita alan tabakalarının her biri “m” nöronlarından oluşmakta olup burada m çıktı sınıfının boyutunu ifade etmektedir. Bu her iki tabaka arasında bire bir bir bağlantı mevcuttur (Şekil 4).

Yukarıda kavramsal bilgisi verilen BURT modeli uygulanmadan önce, çalışma alanı için üretilen hazırlayıcı nedenler ve heyelan envanter verisi kullanılarak her bir hazırlayıcı faktör ve bu faktörler altında ayırt edilmiş alt sınıflara ait benzerlik oranı (BO) (Lee vd., 2004) değerleri hesaplanmıştır. BO yöntemi, kısaca belirli bir doğal olayın (heyelan) meydana gelmesinin, aynı olayın meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade etmektedir. Eğer benzerlik oranı 1’den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1’den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır (Akgün ve Türk, 2010). Bu kapsamda elde edilen BO değerleri aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Elde edilen BO değerleri kullanılarak hazırlayıcı parametre haritaları yeniden sınıflandırılmış ve BO değerine göre sınıflandırılmış parametre haritaları üretilmiştir.



Şekil 4. Heyelan duyarlılık modellemesinde kullanılan BURT yaklaşımına ait mimari.

BO değerlerinin yüksek olduğu alanlar doğal olarak heyelan duyarlılığının yüksek, BO değerinin düşük olduğu yerler ise heyelan duyarlılığının düşük olduğunu ifade etmektedir. Bu durum dikkate alındığında, Tablo 1’de verilen BO değerleri 1 ile 5 arasında olmak üzere 1 “Çok düşük”, 5 “çok yüksek” duyarlılığı temsil edecek şekilde normalize edilmiştir. Normalize edilmiş değerler kullanılarak BO değerine göre yeniden sınıflandırılmış haritalar tekrar bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur.

Böylelikle, BO değerlerinden itibaren her bir hazırlayıcı parametre için bir heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Elde edilen bu her bir parametre tabanlı duyarlılık haritası BURT modelinde bir eğitim seti, diğer hazırlayıcı parametreler ise girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Bu kapsamda, 6 hazırlayıcı parametre haritasının her birinden üretilen sınıflandırma setleri ve bu seti temsil eden parametre dışındaki diğer 5 parametre girdi verisi olarak kullanılmak üzere 6 duyarlılık haritası elde edilmiştir. Sözü edilen bu yöntemle ait akış diyagramı Şekil 5’de verilmiştir.

Elde edilen 6 duyarlılık haritası aritmetik olarak toplanmak suretiyle de inceleme alanına ait sonuç heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 6).

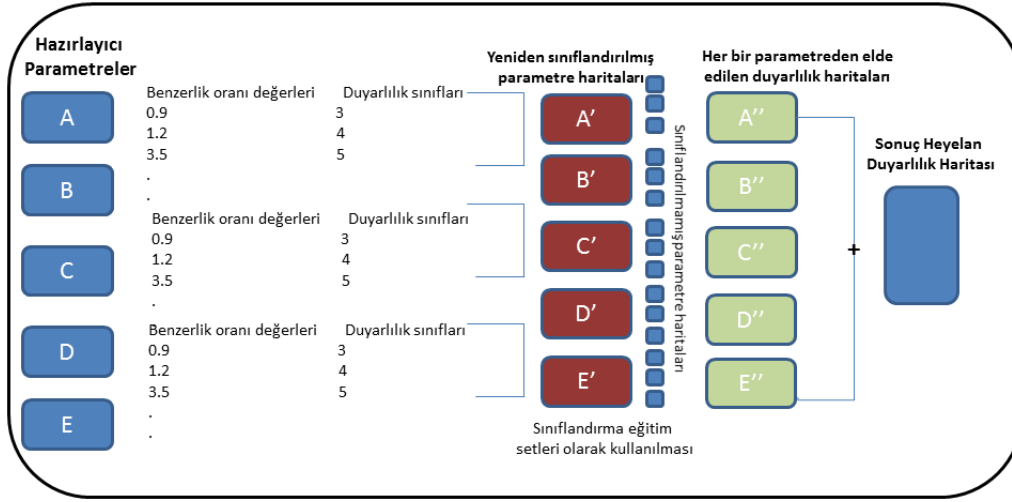


**Tablo 1.** Benzerlik oranı değerleri ve karşılık gelen duyarlılık sınıfları.

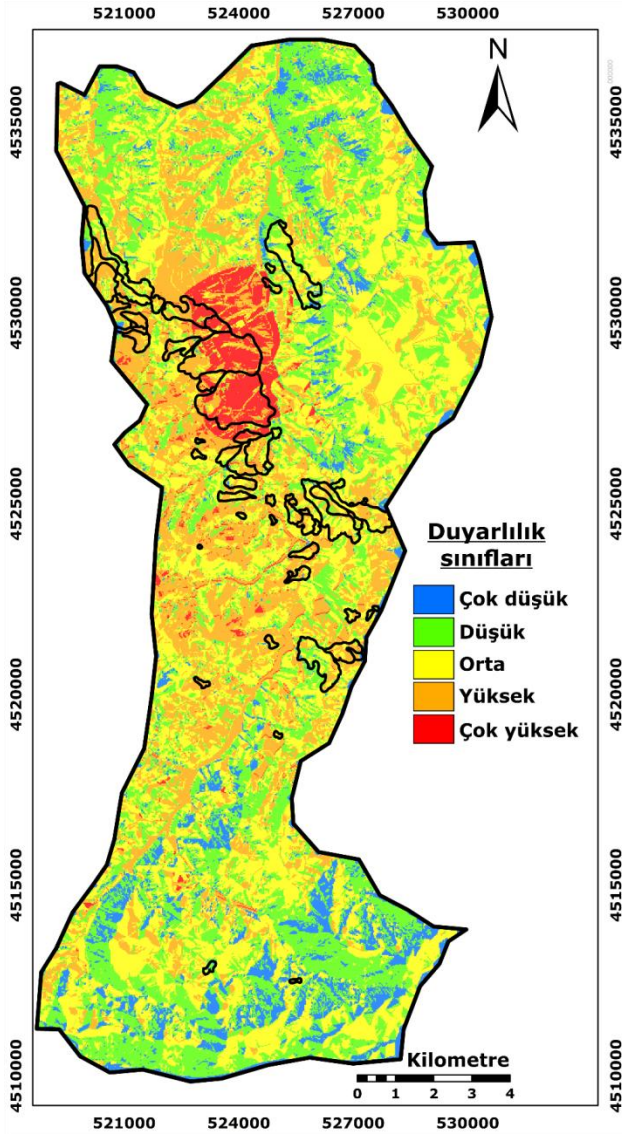
Yamaç yönelimi (derece)	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel (a)	Piksel sayısı	%Piksel (b)	BO değeri (b/a)	Duyarlılık Sınıfları
Düz	69855	21.60	2498	22.94	1.06	3
0-45	31409	9.71	2451	22.51	2.32	5
45-90	34071	10.53	1988	18.26	1.73	4
90-135	22391	6.92	891	8.18	1.18	3
135-180	18755	5.80	468	4.30	0.74	2
180-225	25222	7.80	535	4.91	0.63	2
225-270	45228	13.98	964	8.85	0.63	2
270-315	41475	12.82	528	4.85	0.38	1
315-359	35094	10.85	565	5.19	0.48	2
Toplam	323500	100.01	10888	100.00		
Yamaç eğimi (derece)	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel	Piksel sayısı	%Piksel	BO değeri	Duyarlılık Sınıfları
0-10	67076	20.73	2201	20.21	0.97	4
10-20	92685	28.65	4629	42.51	1.48	5
20-30	100987	31.22	2851	26.18	0.84	3
30-40	49827	15.40	940	8.63	0.56	2
40-50	7500	2.32	197	1.81	0.78	3
50-60	5425	1.68	70	0.64	0.38	1
Toplam	323500	100.00	10888	100.00		
TNİ	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel	Piksel sayısı	%Piksel	BO değeri	Duyarlılık Sınıfları
0-4	4960	1.53	95	0.87	0.57	1
4_8	233520	72.19	7557	69.41	0.96	2
8_12	78258	24.19	2979	27.36	1.13	4
12_16	6019	1.86	226	2.08	1.12	3
>16	743	0.23	31	0.28	1.24	5
Toplam	323500	100.00	10888	100.00		

Tablo 1'in devamı

AGİ	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel	Piksel sayısı	%Piksel	BO değeri	Duyarlılık Sınıfları
0-150	252187	77.96	8988	82.55	1.06	5
150-300	38875	12.02	1144	10.51	0.87	4
300-450	11267	3.48	246	2.26	0.65	1
450-600	5500	1.70	132	1.21	0.71	2
600-750	3132	0.97	68	0.62	0.65	1
>750	12539	3.88	310	2.85	0.73	3
Toplam	323500	100.00	10888	100.00		
Litoloji	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel	Piksel sayısı	%Piksel	BO değeri	Duyarlılık Sınıfları
Kru1	48574	15.05	0	0.00	0.00	1
Kru5	3363	1.04	78	0.72	0.69	2
Kru5a	19904	6.17	4208	38.65	6.27	5
Gama2	29644	9.18	43	0.39	0.04	1
Jlh	10471	3.24	0	0.00	0.00	1
Kru3a	299	0.09	0	0.00	0.00	1
Kru4b	48430	15.01	4751	43.64	2.91	4
Kru2	38281	11.86	774	7.11	0.60	2
Kru3	9246	2.86	371	3.41	1.19	3
Ev	115288	35.72	663	6.09	0.17	2
Toplam	323500	100.23	10888	100.00		
Yükseklik (m)	HEYELANSIZ PİKSELLER		HEYELANLI PİKSELLER			
SINIF	Piksel sayısı	%Piksel	Piksel sayısı	%Piksel	BO değeri	Duyarlılık Sınıfları
0-250	3988	1.23	9	0.08	0.07	2
250-500	16526	5.11	126	1.16	0.23	3
500-750	42565	13.16	3337	30.65	2.33	5
750-1000	69037	21.34	4994	45.87	2.15	4
1000-1250	76413	23.62	2347	21.56	0.91	3
1250-1500	61816	19.11	32	0.29	0.02	1
1500-1750	27932	8.64	43	0.39	0.05	1
1750-2000	12972	4.01	0	0.00	0.00	1
>2000	12251	3.79	0	0.00	0.00	1
Toplam	323500	100.01	10888	100		



Şekil 5. Bu çalışmada önerilen duyarlılık haritalama modeline ait akış diyagramı.



Şekil 6. BURT modeli yardımıyla Tonya ilçesi için üretilen heyelan duyarlılık haritası.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

BURT yaklaşımı ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirmesinin yapılması amacıyla "Eğri Altındaki Alan" (EAA) yöntemi kullanılmıştır. EAA yöntemi, bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir (Yeşilnacar ve Topal, 2005; Nandi ve Shakoore, 2009; Yılmaz, 2010; Akgün ve Türk, 2010). İdeal model, EAA değerinin 1'e yakın olduğu durumu gösterirken, 0.5'e yakın bir değer, söz konusu modelin doğruluğunun oldukça az olduğunu işaret etmektedir (Fawcett, 2006). EAA yöntemini inceleme alanında uygulamak amacıyla, heyelan oluşmuş ve heyelan oluşmamış alanlardan rastgele seçilen pikseller kullanılarak hazırlanmış temsil edici bir veri seti kullanılmıştır. Bu işlem sonucuna göre, EAA eğrisinin altında kalan alan BURT yaklaşımı ile üretilen heyelan duyarlılık haritası için 0.72 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

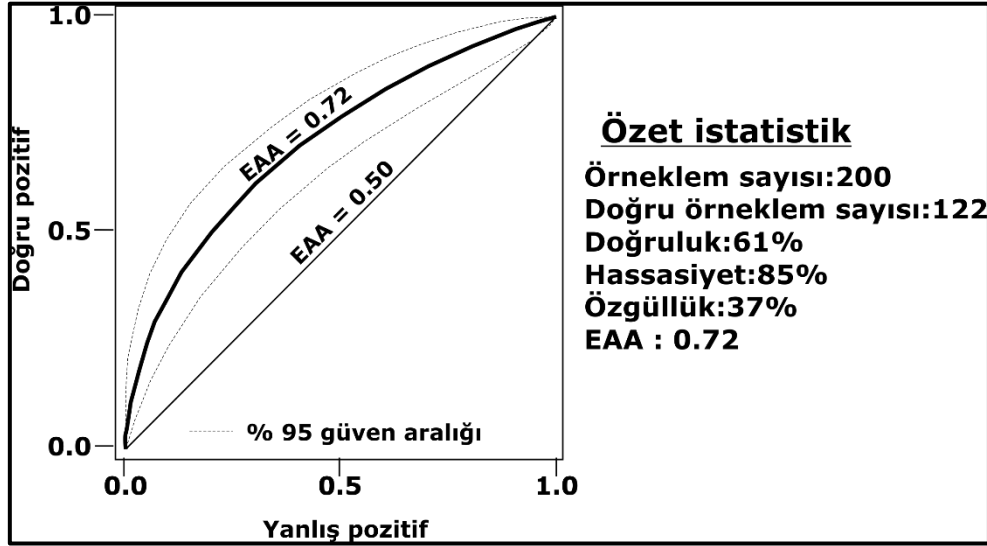
Elde edilen bu EAA değeri uyarınca inceleme alanı için üretilen heyelan duyarlılık haritasının, alandaki duyarlı alanları oldukça başarılı bir şekilde tahmin edebildiği anlaşılmaktadır.

Uluslararası heyelan duyarlılık ile ilgili literatüre bakıldığında, yapay sinir ağları ve bulanık mantık tabanlı yöntemlere dayalı çok sayıda modellenmenin olduğu görülmektedir. Bu yöntemler çoğunlukla "geri yayımlı ileri besleme (feed forward with back propagation)" tabanlı yöntemler olup "uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarsama sistemleri (ANFIS) gibi bulanık sistemlere dayalı yapay sinir ağı yöntemlerinin de

son yıllarda kullanıldığı görülmektedir (Sezer vd., 2011; Pradhan, 2013).

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık literatüründe daha önce kullanılmamış, ancak temel mimarisi ve çözüm algoritmaları uyarınca diğer sinir ağı yöntemlerine benzerlik gösteren BURT yaklaşımı ilk kez uygulanmıştır. Yararlanılan model ve

uygulanan yaklaşımlar itibarıyla elde edilen sonucun oldukça kullanılabilir ve kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, BURT yaklaşımı ile üretilen heyelan duyarlılık haritası, mekânsal planlama ve karar verme süreçlerinde karar vericiler tarafından kullanılabilir nitelikte görülmektedir.



**Şekil 7.** BURT yaklaşımı ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına ait EAA yöntemiyle doğruluk değerlendirmesi.

## 5. Kaynaklar

Akgün, A. ve Bulut, F., (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, Environmental Geology, 51, 1377-1387.

Akgün, A. ve Erkan, O., 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information systems-based multivariate statistical and deterministic models: In an artificial reservoir area at Northern Turkey, Arabian Journal of Geosciences, 9,165,1-15.

Akgün, A. ve Türk, N., 2010. İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34(2), 85-112.

Akgün, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multicriteria decision and

likelihood ratio methods: case study at Izmir, Turkey, Landslides, 9(1), 93-106.

Akgün, A., Sezer E.A., Nefeslioglu, H.A., Gökçeoğlu, C. ve Pradhan, B., 2012. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, Computers and Geosciences, 38(1), 23-34.

Althuwaynee, O.F., Pradhan B, ve Lee, S., 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping, Computers and Geosciences, 44, 120-135.

Carpenter, G. A., 1989. Neural Network Models for Pattern Recognition and Associative Memory, Neural Networks, 2, 243-257.

Carpenter, G. A., Grossberg, S., Markuzon, N., Reynolds, J. H., ve Rosen, D. B., 1992. Fuzzy ARTMAP: A Neural Network Architecture for Incremental Supervised Learning of Analog Multidimensional Maps, IEEE Transactions on Neural Networks, 3(5), 698-713.

- Carpenter, G. A., Grossberg, S., ve Reynolds, J. H., 1991. ARTMAP: Supervised Real-Time Learning and Classification of Nonstationary Data by a Self-Organizing Neural Network, Neural Networks, 4, 565-588.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. ve Reichenbach, P. 1995, GIS technology in mapping landslide hazard. Carrara, A. and Guzzetti, F (eds.), Geographical Information Systems in assessing natural hazards, Dordrecht: Kluwer. pp.135-175.
- Castellanos Abella, E.A. ve Van Westen, C.J., 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation, Landslides, 4, 311–325.
- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T. ve El Hamdouni, R., 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems, Bulletin of Engineering Geology and Environment, 65, 341–411.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. ve Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses, Geomorphology, 72, 250– 271.
- Çevik, E. ve Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44, 949–962.
- Çölkesen, I., Kutluğ Sahin, E. ve Kavzoglu, T., 2016. Susceptibility Mapping of Shallow Landslides Using Kernel-Based Gaussian Process, Support Vector Machines and Logistic Regression, Journal of African Earth Sciences, 118, 53-64.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S. ve Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 2, 151-176.
- Dağdelenler G., Nefeslioğlu H.A. ve Gökçeoğlu C., 2016. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey), Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 575-590.
- Demir, G., Aytekin, M., Akgün, A., İkizler, S.B. ve Tatar, O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian fault zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, Natural Hazards, 65, 1481–1506.
- Duman, T. Y., Nefeslioğlu, H.A., Çan, T., Olgun, Ş., Durmaz, S., Hamzaçebi, S. ve Çörekçioğlu, Ş., 2007. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan envanter Haritası, Trabzon Paftası, MTA Özel Yayın Serisi-9.
- Eker, A.M., Dikmen, M., Cambazoğlu, S., Düzgün, H.S.B. ve Akgün, H., 2015. Evaluation and Comparison of Landslide Susceptibility Mapping Methods: A Case Study for the Ulus District, Bartın, Northern Turkey, International Journal of Geographical Information Science, 29, 132-158.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach, Environmental Geology, 41, 720–730.
- Ercanoğlu, M., Dağdelenler, G., Özsayın, E., Alkeveli, T., Sönmez, H., Özyurt, N. N., Kahraman, B., Uçar, İ. ve Çetinkaya, S., 2016. Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region, Journal of Mountain Sciences, 13, 1923-1940.
- Erener, A., Mutlu, A. ve Düzgün, H.S., 2016. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM), Engineering Geology, 203, 45-55.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis, Pattern Recognition Letters, 27, 861- 874.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses

- and image processing techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, Yerbilimleri, 23, 189-206.
- Guantanamo, Cuba, Computers and Geosciences, 37, 410-425.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostanci, H.T., ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity controlled slope failure zoning for a granitoid complex: A fuzzy approach. Rock Mechanics and Engineering, Volume 5: Surface and Underground Projects, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1–25.
- Guzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.
- Ildır, B. 1995. Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. Onalp A (ed) 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sakarya Üniversitesi, Türkiye, pp 1–9.
- Kavzoğlu, T., Şahin, E.K., ve Çölkesen, I., 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression, Landslides, 11(3), 425-439.
- Kıncal, C., Akgün, A. ve Koca, M.Y., 2009. Landslide susceptibility assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method, Environmental Earth Sciences, 59, 745-756.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004. Landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea, International Journal of Remote Sensing, 25, 2037-2052.
- M.T.A., 1998. 1:100.000 ölçekli Jeoloji Haritaları, Trabzon F42 Paftası, M.T.A. Yayınları, Ankara.
- Mannan, B. ve Roy, J., 1998. Fuzzy ARTMAP supervised classification of multi-spectral remotely-sensed images, International Journal of Remote Sensing, 19, 767-774.
- Melchiorre, C., Castellanos, E.A. Van Westen, C.J. ve Matteucci, M., 2011. Evaluation of prediction capability, robustness and sensitivity in non linear landslide susceptibility models,
- Moore, I.D., Grayson, R.B. ve Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications, Hydrological Processes, 5, 3-30.
- Nandi, A. ve Shakoor, A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Engineering Geology, 110, 11–20.
- Nefeslioğlu H.A., Sezer E.A., Gökçeoğlu, C. ve Ayaş, Z., 2013. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments, Computers and Geosciences, 59, 1–8.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. ve Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), Geomorphology, 94, 401–418.
- Nefeslioğlu, H.A., Sezer, E., Gökçeoğlu, C., Bozkır, A.S. ve Duman, T.Y., 2010. Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of İstanbul, Turkey, Mathematical Problems in Engineering, 2010, 1-15.
- Ösna, T., Sezer E.A. ve Akgün, A., 2014. GEOFIS: an integrated tool for the assessment of landslide susceptibility, Computers and Geosciences, 66, 20–30.
- Pradhan, B., 2011. Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with geoinformation techniques for landslide susceptibility analysis, Environmental and Ecological Statistics, 18, 471–493.
- Pradhan, B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS, Computers and Geoscience, 51, 350-365.
- Pradhan, B., Sezer, E.A., Gökçeoğlu, C. ve Buchroithner, M.F., 2010. Landslide susceptibility mapping by neuro-fuzzy

- approach in a landslide prone area (Cameron Highland, Malaysia), IEEE Transactions on Geosciences Remote Sensing, 48,4164–4177
- Romer, C. ve Ferentinou, M., 2016. Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment—A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa, Engineering Geology, 201, 29-44.
- Roodposhti, M.S., Rahimi, S. ve Beglou, M.J., 2013. PROMETHEE II and fuzzy AHP: an enhanced GIS-based landslide susceptibility mapping, Natural Hazards, 73, 77–95.
- Sezer, E.A., Pradhan, B. ve Gökçeoğlu, C., 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia, Expert Systems and Applications, 38, 8208–8219.
- Süzen, M.L. ve Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey, Engineering Geology, 71, 303-321.
- Thiebes, B., 2011, Landslide analysis and early warning—local and regional case study in the Swabian Alb. Doktora Tezi, University of Vienna, Vienna, 295s.
- URL-1, www.meteor.gov.tr. 25 Eylül 2017
- USGS, 1993., Data user guide 5 for DEM's. ftp://mapping.usgs.gov/pub/ti/DEM/demguide.
- Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes. Landslides Analysis and Control. Special Report. Schuster, R.L., Krizek, R.J. (eds.), National Academy of Sciences, New York. pp. 12- 33.
- Yeşilnacar, E. ve Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), Engineering Geology, 79, 251-266.
- Yılmaz, I., 2009. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68 (3), 297-306.
- Yılmaz, I., 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine, Environmental Earth Sciences, 61, 821-836.

## Bulanık C Ortalamalar Yöntemi ile Karadeniz Bölgesi Standart Süreli Yağış Şiddetlerinin Kümeleneşmesi

### *Clustering of Standard Duration Rainfall Intensity of the Black Sea Region by Fuzzy C Means Method*

Utku ZEYBEKOĞLU\*

*Sinop Üniversitesi, Boyabat Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 57200, Boyabat, Sinop*

• Geliş tarihi / Received: 15.08.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 05.12.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 05.12.2017

#### Öz

Hidrometeorolojik veriler kullanılarak yapılan mühendislik çalışmalarında, verilerin eksiksiz ve yeterli uzunlukta olması çalışmaların verimliliğini arttırmaktadır. Bölgesel mühendislik çalışmalarda ise verilerin istenen şekilde olmasının yanında uygun bölgelerin de belirlenmesi tasarım ve uygulama çalışmalarının daha verimli olmasını sağlayacaktır. Bu bölgelerin belirlenmesinde hidrometeorolojik verilerin yanında coğrafi konum verilerin de kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında Karadeniz bölgesindeki Devlet Meteoroloji İşlerine ait meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlemlenen, Standart Süreli Yağışların Şiddetlerine ait veriler kullanılarak bölgesel kümelerin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla Bulanık C Ortalamalar yöntemi kullanılmıştır. . Kümeleme çalışmaları iki farklı küme sayısı için yapılmış olup en uygun küme sayısı 4 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık C Ortalamalar, Karadeniz Bölgesi, Kümeleme Analizi, Standart Süreli Yağış Şiddeti, Türkiye

#### Abstract

*In the engineering studies using hydrometeorological data, the efficiency of the studies which are complete and sufficient length of the data increases. In the case of regional engineering studies, designation of the appropriate areas as well as the desired data will ensure that the design and application works are more efficient. Geographical location data should be used in addition to hydrometeorological data. Within the scope of this study, it was aimed to create regional clusters by using the data related to the intensity of Standart Periodic Precipitation observed in meteorological observation stations belonging to the State Meteorological Works in the Black Sea region. For this purpose, the fuzzy c-means method was used. Clustering studies were carried out for two different sets of numbers and the optimal number of sets was 4.*

**Keywords:** Fuzzy C Means Blacksea Region, Clustering Analysis, Rainfall Intensity Series of Standart Duration, Turkey

\*Utku ZEYBEKOĞLU; utkuz@sinop.edu.tr; Tel: (0368) 315 01 01; orcid.org/0000-0001-5307-8563



## 1. Giriş

Yağışın süresi, şiddeti, alansal ve zamansal değişimi vb. özelliklerinin bilinmesi; su kaynakları, tarım, kentleşme, drenaj, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörler için planlama çalışmaları ile bu sistemler üzerindeki çeşitli mühendislik yapılarının güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması ve işletilmesi için gereklidir. Hidro-meteorolojik verilerin (yağış, akış, buharlaşma, sıcaklık...) eksiksiz ve düzenli olarak kayıt altına alınması birçok sektör açısından önem arz etmektedir. Bu kayıtlar ile ilgili yapılmış basılı son çalışma DSİ ve DMİ tarafından 1990 yılında yapılmıştır ve güncel verileri içermediğinden sağlıklı çalışmalar gerçekleştirilememektedir.(Karahan, 2011)

Kümeleme analizinde genel olarak, aynı özelliklere sahip benzer verilerin bir araya toplanması ve ortak bir grup altında sınıflandırılması esas alınmaktadır. Her bir küme bir küme merkezi ile ifade edilmekte ve küme merkezinin yakınındaki veri noktaları gruplandırılarak o kümeyle dahil edilmektedir. Bu işlem, veri noktaları ile küme merkezleri arasında hesaplanan uzaklıkların minimize, küme merkezleri arasındaki uzaklıkların ise maksimize edilmesi esasına dayanmaktadır.

Hidrolojik kümeleme çalışmalarında, hidro-meteorolojik veriler yerine coğrafi özellikler kullanıldığından, bu çalışmalar sonucu elde edilen kümeler hidrolojik açıdan homojen olmazlar. Hidro-meteorolojik verilerin coğrafi konum ile birlikte kullanılması hidrolojik kümeleme çalışmalarının daha iyi sonuç vermesini sağlayabilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada hidrolojik kümelerin belirlenmesi üzerine bir çok araştırmacı farklı hidro-meteorolojik veriler üzerine farklı kümeleme yöntemleri kullanarak homojen kümeleri belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan başlıcaları Mosley (1981), Acreeman ve Sinclair (1986) , Burn (1989,1997, 2000); Lecce (2000); Burn vd. (1997), Guttman, (1993); Soltani ve Modarres, (2006), Demirel (2004), Turan (2005), Kâhya vd. (2007), Demirel vd. (2007), Isik ve Singh (2009) Fırat vd. (2012,2013), Dikbaş vd. (2011), Karahan (2011), Alemaw ve Chaoka (2016) gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarıdır.

Ancak yazarın literatür araştırması sonucunda yağış şiddetleri verileri kullanılarak yapılmış kümeleme çalışmalarının sınırlı sayıda bulunduğu görülmüştür.

Önerilen bu çalışmada Bulanık C Ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak Karadeniz bölgesindeki istasyonların Standart Süreli Yağış Şiddeti (SSYŞ) verilerine göre homojen alt bölgelere ayrılması amaçlanmaktadır. Bunun için Karadeniz bölgesinde yer alan 15 ile ait 18 meteoroloji gözlem istasyonuna ait veriler kullanılmış olup kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye Maksimum Yağışları ve Tekerrür Analizlerinde, en az 10 yıl güvenilir gözlemi olan plüviyografli istasyonların yağış verileri kullanılmaktadır. Yıllık olarak Standart Zamanlardaki (5. 10. 15. 30. 60. 120. 180. 240. 300. 360. 480. 720. 1080 ve 1440 dakika) Maksimum Yağış Değerleri (SSMY) tespit edilmektedir. Örnek veri seti Tablo 1 de bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Karadeniz Bölgesine ait gözlem yapılan 15 ile ait 18 istasyonun Standart Sürelerde Gözlenen Maksimum Yağış Değerleri (SSMY) verilerinden elde edilen Standart Süreli Yağış Şiddetleri (SSYŞ) verileri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan istasyonların coğrafi konum ve gözlem periyotlarına ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. İstasyonların çalışma alanındaki dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

### 2.2. Yöntem

#### 2.2.1. Bulanık C Ortalamalar

Bu çalışmada ortak özellik taşıyan veri setlerinin kümeleme işlemi, literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan Bulanık C-Ortalamalar (Fuzzy C-Means) yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Bezdek, 1981).

Fuzzy c-means algoritmasının en önemli özelliği olan üyelik matrisinin kümeleme üzerinde olumlu etkileri vardır. Bu matris belirsiz durumların tanımlanmasını kolaylaştırır (Azem, 2013). Ayrıca üyelik dereceleri düşük olduğundan sıra dışı verilerin etkisi azdır. Esnek bir yapıya sahiptir. Örtüşen kümeleri bulma kabiliyeti diğer bölünmeli algoritmalara göre daha fazladır.

Bulanık c-ortalamar yönteminde, kümeleme işlemi tanımlanan bir amaç fonksiyonunun

minimize edilmesiyle yapılmaktadır. Yöntem, aşağıdaki hesap adımlarına göre kümeleme işlemini yapmaktadır:

$X = \{x_j\}_{j=1}^n \subseteq R^d$  kümelenecek  $n$  adet veri setini ve  $c$  küme sayısını göstermek üzere,  $X$  veri setinin

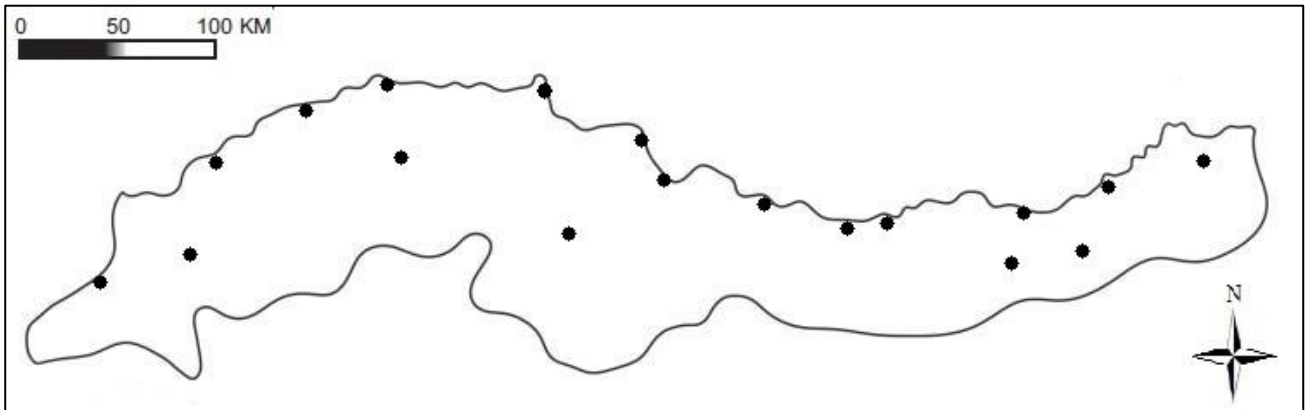
$c$  adet kümeye bölünebilmesi için  $c \times n$  boyutunda ve aşağıdaki koşulları sağlayan üyelik fonksiyonu matrisinin,  $U = [u_{ij}]$  başlangıçta rastgele olarak oluşturulmaktadır.

**Tablo 1.** SSMY Örnek Veri Seti (mm)

Gözlem Yılı	Dakika													
	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
1957	3.9	7.7	9.2	17.7	18.9	22.7	23	23.6	23.9	23.9	24.8	37.7	38.6	39.7
1958	5	8	8.8	12.1	12.1	12.5	13.6	14.7	16	16.4	18.6	23.4	35.2	46.9
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2009	8.2	10.6	13.3	15.9	19.4	21.2	21.2	25.4	26.8	32.4	42.8	51.5	58.4	61
2010	5.9	7.1	8.5	11.2	13.9	16.8	18.5	25.6	27.4	31.7	36.4	41.8	56.7	67.2

**Tablo 2.** İstasyonların Konum ve Gözlem Bilgileri

Sıra No	İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Periyodu	Rakım (m.)	Enlem (K)	Boylam (D)
1	17045	Artvin	1965-2010	613	41.1752	41.8187
2	17020	Bartın	1966-2010	33	41.6248	32.3569
3	17089	Bayburt	1966-2010	1584	40.2547	40.2207
4	17070	Bolu	1949-2010	743	40.7329	31.6022
5	17084	Çorum	1958-2010	776	40.5461	34.9362
6	17072	Düzce	1965-2010	146	40.8437	31.1488
7	17034	Giresun	1966-2010	38	40.9227	38.3878
8	17088	Gümüşhane	1966-2010	1216	40.4598	39.4653
9	17024	İnebolu	1959-2010	64	41.9789	33.7636
10	17074	Kastamonu	1948-2010	800	41.371	33.7756
11	17033	Ordu	1965-2010	5	40.9838	37.8858
12	17624	Ünye	1966-2010	16	41.143	37.293
13	17040	Rize	1940-2010	3	41.04	40.5013
14	17622	Bafra	1965-2010	103	41.5515	35.9247
15	17030	Samsun	1957-2010	4	41.3435	36.2553
16	17026	Sinop	1965-2010	32	42.0299	35.1545
17	17037	Trabzon	1957-2010	25	40.9985	39.7649
18	17022	Zonguldak	1945-2010	135	41.4492	31.7779



**Şekil 1.** İstasyonların Coğrafyada Dağılımı

$$0 \leq u_{ij} \leq 1; i = 1, 2, 3, \dots, c; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^c u_{ij}; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n u_{ij} > 0; i = 1, 2, 3, \dots, c \quad (3)$$

burada,  $u_{ij}$ ,  $i$ -nolu küme merkezinden  $j$ -nolu veri noktasına olan üyelik değerini göstermektedir. Hesaplanan üyelik değerleri kullanılarak aşağıdaki amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle kümeleme işlemi yapılmaktadır.

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2 \quad (4)$$

Burada  $m$  üyelik değerlerinin ağırlıklarını ayarlamakta kullanılan bulanıklık terimini ( $1 \leq m \leq 2$ ),  $\|\bullet\|_m$  normu ve  $V = \{v_i\}_{i=1}^c \subset R^d$  ise her bir küme merkezini içeren çözüm vektörünü göstermektedir. Bu çalışmada; Öklid normu kullanılmıştır. Küme merkezleri,

Denklem (4)'ün  $V$ 'ye göre kısmi türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesiyle aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c \quad (5)$$

Bu aşamadan sonra, hesaplanan küme merkezleri için yeni uygunluk değerleri, Denklem (4)'ün  $U$ 'ya göre kısmi türevinin alınarak sıfıra eşitlenmesi sonucu Denklem (6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$u_{ij} = \left( \frac{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \right)^{-1} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Denklem 6 kullanılarak güncellenen üyelik değerleri ile Denklem 4 ile 6 arasındaki işlemler tekrar yapılmakta ve aşağıda tanımlanan durma koşulu sağlanıncaya kadar devam etmektedir.

$$\|V^{(l+1)} - V^{(l)}\| < \zeta \quad (7)$$

Denklem 7'de,  $V^{(l+1)}$  ve  $V^{(l)}$  değerleri sırasıyla  $l+1$  ve  $l$ -inci iterasyonlardaki küme merkezlerini,  $\zeta$  ise iki iterasyon arasında sağlanması gereken hoşgörü değerini ifade etmektedir.

Bulanık C Ortalamalar yöntemi ile literatürde kullanılan diğer kümeleme yöntemlerinin tümünde karşılaşılan en önemli sorun, hesap başlangıcında ki küme sayısının seçilmesidir. Ancak, gerçekte küme sayısının ne olması gerektiği de bilinmeyen olup, veri setine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Bu nedenle, küme sayısının değerini belirlemek için çeşitli indeksleme yaklaşımları geliştirilmiş ve küme sayıları bu indeks değerlerine göre belirlenmiştir (Pal vd., 1995; Velthuzien vd., 1997; Sugar ve James, 2003; Shen vd., 2005; Zhang vd., 2008). Bu indeksleme yöntemlerinde maksimum küme sayısının önceden seçilmesi gerekmektedir. Ancak; maksimum küme sayısının belirlenmesinde araştırmacılar arasında genel bir uzlaşma bulunmamasına rağmen, araştırmacıların çoğunluğunun maksimum küme sayısının istasyon sayısının karekökünden küçük olması gerektiği konusunda uzlaştıkları Zhang vd. (2008) tarafından ifade edilmektedir.

### 2.2.2. Standart Normal Homojenlik Testi

Alexandersson tarafından geliştirilen bu yöntem birçok iklimsel ve hidrolojik büyüklüğün test edilmesinde başarı ile kullanılmıştır (Alexandersson, 1986). Bu yöntemin esnek ve basit bir kullanımı vardır. Alexandersson incelenen serinin bir "c" noktasını referans olarak ikiye böler ve Denklem (8) ile T(c) değerini hesaplar.

$$T(c) = c * \bar{z}_1 + (n-c) * c * \bar{z}_2 \quad c = 1, \dots, n \quad (8)$$

Burada

$$\bar{z}_1 = \frac{\sum_{i=1}^c \left( \frac{(y_i - \bar{y})}{\sigma} \right)}{c} \quad \text{ve}$$

$$\bar{z}_2 = \frac{\sum_{i=1+c}^n \left( \frac{(y_i - \bar{y})}{\sigma} \right)}{(n-c)}, \text{dir.}$$

Değişim eğer bir "h" noktasında meydana gelirse  $c=h$  noktasında T(c) maksimum değere ulaşır.  $T_0$  test istatistiği ise Denklem (9) ile hesaplanmaktadır.  $T_0$  test değeri tablo değerinin aşar ise sıfır hipotezi reddedilir.

$$T_0 = \max_{1 \leq c \leq n} T(c) \quad (9)$$

iterasyon sayısı ve fonksiyon değeri sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

### 3. Bulgular

Bulanık C Ortalamalar ile Karadeniz bölgesindeki istasyonların yağış şiddetlerine göre sınıflandırılmasında, istasyonlara ait standart süreli yağış şiddeti verileri ve yükselti verileri kullanılmıştır. Sınıflandırma yapılırken  $c=3$  ve  $c=4$  olarak alt kümeler belirlenmiştir. Bulanık C Ortalamalar yöntemi ile sınıflandırma yapılırken Matlab R.2015b ortamında yazılan program kullanılmıştır. Bulanık C Ortalamalar yöntemi ile küme sayısı 3 ve 4 olacak şekilde hazırlanan haritalar Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmektedir. Bulanık C Ortalamalar ile kümeleme analizi sonuçlarına göre seçilen küme sayılarına göre

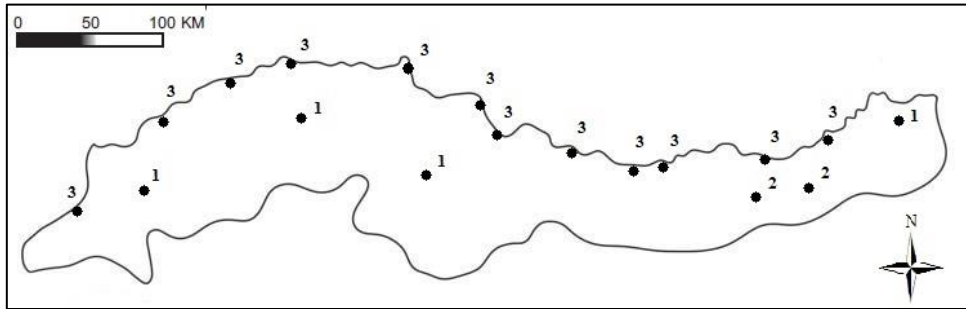
Küme sayısı 3 olarak seçildiğinde Şekil 2'de görüleceği üzere; Karadeniz sahil şeridi bir küme (3 numaralı küme), Bolu, Kastamonu, Çorum ve Artvin istasyonları ikinci kümeyi (1 numaralı küme) ve İç Doğu Karadeniz'de yer alan Gümüşhane ve Bayburt istasyonları üçüncü ve son kümeyi (2 numaralı küme) oluşturmaktadır. Küme sayısı 4 olarak seçildiği zaman Şekil 4'te de görüleceği gibi iç doğu bölümünde yer alan 2 numaralı küme ile sahil şeridindeki 3 numaralı kümelerde bir değişiklik gözükmezken, 1 numaralı kümede yer alan Artvin istasyonu 4 numaralı kümeyi oluştururken, 1 numaralı kümedeki diğer istasyonlar kümeyi oluşturmaktadır.

**Tablo 3.** Veri Sayısına Bağlı %99 ve % 95 Güven Seviyesi  $T_0$  Değerleri

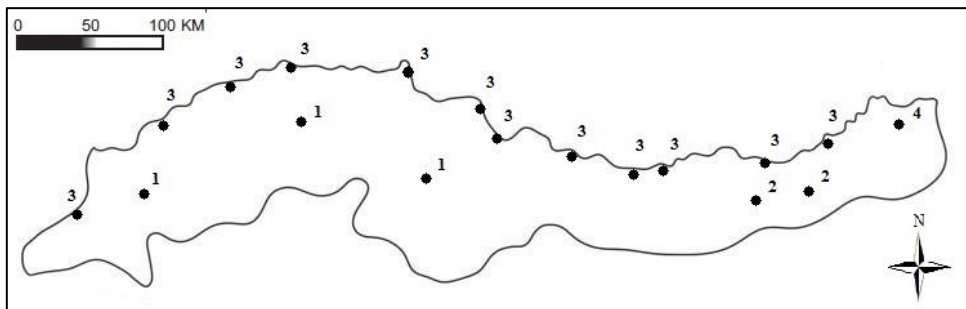
N	20	30	40	50	70	100
%99	9.11	10.15	10.77	11.19	11.73	12.22
%95	6.95	7.75	8.10	8.45	9.80	9.15

**Tablo 4.** Kümeleme Analizi Sonuçları

Küme Sayısı	İterasyon Sayısı	Fonksiyon Değeri
3	65	10844.582673
4	51	4368.78601



**Şekil 2.**  $c=3$  için kümelerin coğrafyada gösterimi



**Şekil 3.**  $c=4$  için kümelerin coğrafyada gösterimi

Küme sayısının  $c=3$  ve  $c=4$  olduğu her iki durumda da, alt kümelerdeki istasyonların birbirlerine yakın yağış şiddetlerine ve yükselti değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Bulanık C Ortalamalar yöntemi kullanılarak  $c=3$  ve  $c=4$  seçilerek belirlenen alt kümelere ait bölgesel minimum, maksimum ortalama, standart sapma ( $\sigma$ ) ve çarpıklık ( $Sk$ ) katsayısı gibi istatistiki değerler Tablo 3 ve Tablo 4'te

verilmiştir. Bulanık C Ortalamalar ile alt bölgelerin oluşturulmasından sonra 0.05 anlamlılık seviyesinde Standart Homojenlik Testi belirlenen alt kümelere uygulanmıştır. Standart Normal Homojenlik Testine ait  $C=3$  için bütün alt kümelere ait sonuçlar ile  $c=4$  durumdaki 1 numaralı kümeye ait sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

**Tablo 5.**  $c=3$  İçin Kümelere Ait İstatistikler (mm/dk)

Küme No	İstasyon Sayısı	$I_{\min}$	$I_{\max}$	$I_{\text{ort}}$	$\sigma$	$Sk$
1	4	0.009722	4.800000	0.320074	0.479115	2.743539
2	2	0.009630	2.640000	0.236075	0.34559	2.599559
3	12	0.013958	4.880000	0.459322	0.58043	2.13134

**Tablo 6.**  $c=4$  İçin Kümelere Ait İstatistikler (mm/dk)

Küme No	İstasyon Sayısı	$I_{\min}$	$I_{\max}$	$I_{\text{ort}}$	$\sigma$	$Sk$
1	3	0.009722	4.800000	0.339764	0.506904	2.64285
2	2	0.009630	2.640000	0.236075	0.34559	2.599559
3	12	0.013958	4.880000	0.459322	0.58043	2.13134
4	1	0.013333	2.280000	0.238969	0.32941	2.557973

**Tablo 7.**  $c=3$  ve  $c=4$  için SNHT Değerleri ve Kritik Değerler

Küme No	İstasyon Sayısı	SNHT	Kritik Değer	Küme No	İstasyon Sayısı	SNHT	Kritik Değer
1	4	3.805497	7.5732	1	3	1.01875	7.2398
2	2	0.097504	6.7947				
3	12	1.47909	8.9939				

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Araştırmada, Karadeniz bölgesinde yer alan 18 meteoroloji gözlem istasyonunun, standart süreli yağış şiddeti değerleri kullanılarak sınıflandırılması ve homojen alt bölgelerin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada Bulanık C Ortalamalar yöntemi seçilmiş ve yöntemin girdilerini, istasyonlara ait yükselti ve yağış şiddeti değerleri oluşturmaktadır.

Çalışmanın sonucunda benzer yağış şiddeti ve yükselti özelliklerine sahip alt bölgeler belirlenmiş olup, İki farklı küme sayısı seçilerek yapılan bu çalışmada oluşturulan alt kümelerin ortalama yükseltilerinin birbirlerine yakın, iklimsel ve bitki örtüsü açısından da benzer özellikte olduğu görülmektedir. Seçilen çalışma bölgesi için alt küme sayısı 3 olarak

belirlendiğinde Artvin istasyonunun bulunduğu kümedeki, bu istasyonun küme içi diğer istasyonlara göre coğrafi olarak bütünlük sağlamadığı, yükselti ve yağış şiddeti değerlerinin de farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Küme sayısı 4 olarak seçilmesi halinde Artvin istasyonunun tek başına yeni kümeyi oluşturması, diğer alt kümelerinde kendi aralarında coğrafi olarak ve yağış şiddeti değerleri ile bütünlük sağlanmıştır. Tablo 7'de belirtilen SNHT tablosu incelediğimiz durumda  $c=3$  için bütün alt kümelerin homojen yapıda olduğu belirlenmiştir.  $c=4$  durumunda 1 numaralı kümeden Artvin İstasyonunun ayrılması durumunda SNHT değerinin daha da küçüldüğü, kümenin daha homojen bir hale geldiği görülmüş olup, 2 ve 3 numaralı kümelerin değerlerinde bir değişim bulunmamaktadır. Karadeniz bölgesi için yağış şiddeti ve yükselti özellikleri kullanılarak belirlenen homojen alt bölgelerin, homojenlik testi

sonuçları ve coğrafi bütünlük açısından alt küme sayısının 4 olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

### Teşekkür

Yazar, çalışmaya katkılarından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ve değerli görüş, önerilerinden dolayı editörlere, danışmanlara ve hakemlere teşekkürlerini sunar.

### 5. Kaynakça

- Alexandersson H. 1986. "A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data", *Journal of Climatology*, Cilt 6, s.661-675.
- Acreman, M.C., Sinclair, C.D., 1986. Classification of Drainage Basins According to Their Physical Characteristics, An Application for Flood Frequency Analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*, 84(3-4), 365-380.
- Alemaw, F.B., Chaoka, R.T., 2016. Regionalization of Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Curves in Botswana, *Journal of Water Resource and Protection*, 2016, 8, 1128-1144.
- Azem, Z., 2013, A Comprehensive Cluster Validity Framework For Clustering Algorithms, MSc Thesis, The University of Guelph, Canada, 15-19.
- Bezdek, J.C., 1981. Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York.
- Burn, D.H., 1989. Cluster Analysis as Applied to Regional Flood Frequency. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115, 567-582.
- Burn, D.H., 1997. Catchment Similarity for Regional Flood Frequency Analysis using Seasonality Measures. *Journal of Hydrology*, 202, 212-230.
- Burn, D.H., Zrinji, Z., ve Kowalchuk, M., 1997. Regionalization of Catchments for Regional Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(2), 76-82.
- Burn, D.H. ve Goel, N.K., 2000. The Formation of Groups for Regional Flood Frequency Analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 45(1), 97-112.
- Demirel, M.C. 2004. Cluster Analysis of Streamflow Data over Turkey. Master of Science Thesis. İstanbul Technical University, 119p.
- Demirel, M.C., Mariano, A.J. ve Kahya, E., 2007. Performing K-Means Analysis to Drought Principal Components of Turkish Rivers. *Hydrology Days*, 145-151.
- Dikbaş, F., Firat, M., Koç, A.C. ve Gungor, M., 2011. Classification of Precipitation Series Using Fuzzy Cluster Method, *International Journal of Climatology* DOI: 10.1002/joc.2350.
- Firat, M., Dikbaş, F., Koç, A.C. ve Gungor, M., 2012. K-Ortalamalar Yöntemi ile Yıllık Yağışların Sınıflandırılması ve Homojen Bölgelerin Belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 6037-6050.
- Firat, M., Dursun, Ö.F., Aydoğdu, M. ve Dikbaş, F., 2013. Hiyerarşik Olmayan Kümeleme Yöntemi ile Türkiye Akarsularındaki Askı Maddesi Konsantrasyonu ve Miktarının Sınıflandırılması, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 61-67.
- Guttman, N.B., 1993. The use of L-Moments in the Determination of Regional Precipitation Climates. *Journal of Climate* 6, 2309-2325.
- Isik, S. Ve Singh, V.P., 2009. Hydrologic Regionalization of Watersheds in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*. 13(9), 824-834.
- Kahya, E., Demirel, M.C. ve Piechota, T.C., 2007. Spatial Grouping of Annual Streamflow Patterns in Turkey. *Hydrology Days*, 169-176.
- Karahan H. "Bölgesel Yağış-Şiddet-Süre-Frekans Bağlılıklarının Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Elde Edilmesi", TÜBİTAK (108Y299), Sonuç Raporu, 2011.
- Lecce, S.A., 2000. Spatial Variations in the Timing of Annual Floods in the Southeastern United States. *Journal of Hydrology*, 235, 151-169.
- Mosley M.P., 1981. Delimitation of New Zealand Hydrologic Regions. *Journal of Hydrology*, 49, 173-192.

- Pal, N.R ve Bezdek, J.C., 1995. on Cluster validity fort he fuzzy c-means model, IEEE Transactions On Fuzzy Systems, 3,370-379.
- Shen, J., Chang, S. I., Lee, E. S., Deng, Y. ve Brown ,S.J., 2005. Determination of cluster number in clustering microarray data Judong, Applied Mathematics and Computation, 169, 1172–1185.
- Soltani, S. ve Modarres, R., 2006. Classification of Spatio-Temporal Pattern of Rainfall in Iran Using A Hierarchical and Divisive Cluster Analysis. Journal of Spatial Hydrology, 6(2), 1-12.
- Sugar, C. A. ve James, G.M., 2003. Finding the number of clusters in a data set: an information-theoretic approach, Journal of the American Statistical Association, 98, 750-763.
- Turan, A., 2005. Türkiye Akarsu Verimlerinin Küme Analizi ile Sınıflandırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 155s.
- Velthuizen, R. P., Hall, L. O., Clarke L. P. Ve Silbiger, M.L., 1997. An investigation of mountain method clustering for large data stes, Pattern Recognition, 30, 1121-1135.
- Zhang, Y., Wang, W., Zhang, X. ve Li, Y., 2008. A cluster validity index for fuzzy clustering, Information Sciences, 178,1205–1218.

## Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar

### *The Drop Weight Test Method to Determine Impact Strength of Concrete and A Review of Research*

Meral OLTULU<sup>\*a</sup>, M. Gökhan ALTUN<sup>b</sup>

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 03.06.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 29.11.2017

#### Öz

Son yıllarda kullanım ömrü boyunca darbe etkilerine maruz kalabilecek yapıların performanslarının artırılabilmesi üzerinde çalışmaların sayısı artış göstermiştir. Darbe dayanımı konusunda malzeme özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar ve test yöntemleri önem kazanmaktadır. Malzeme açısından darbe dayanımını artıracak bileşenler, katkıları ve oranları alanında yapılan çalışmaların yanısıra uygulanan yöntemler arasında en çok kullanılan test yöntemi olarak ağırlık düşürme deneyi dikkat çekmektedir. Çalışmamızda darbe dayanımı ve tespiti konularında yapılan çalışmalar özetlenerek sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Ağırlık düşürme testi, Beton, Darbe dayanımı, Lif

#### Abstract

In recent years, the number of studies about increasing the performances of structures that may be exposed to impact effects during their lifetime has increased. Works on the material properties and test methods are getting important on the impact resistance. In addition to the studies in the field of components, additives and ratios that can increase the impact resistance in terms of material, one of the simple and highly preferred test method is drop weight test. In this review paper, investigations about impact resistance are summarized and some suggestions have been developed for future works.

**Keywords:** Drop weight test, Concrete, Impact resistance, Fiber

<sup>\*a</sup> Meral OLTULU; mroltulu@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 46 15; orcid.org/0000-0002-3779-6888

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7952-1882



## 1. Giriş

Beton, oldukça karmaşık ve heterojen yapıya sahip kırılğan kompozit bir malzemedir. Gevrek bir malzeme olan betonun çekme ve eğilme dayanımları oldukça düşük olmasına rağmen sahip olduğu yüksek basınç dayanımı kapasitesi betonu vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline getirmektedir. Nitekim bu özelliği betonun günümüzde de en çok tercih edilen yapı malzemesi olmasını sağlamıştır (Baradan vd. 2010).

Son yıllarda beton ve betonarme yapılarda basınç dayanımı kadar darbe dayanımının da çok önemli bir kriter olduğu benimsenmiştir (Wan vd., 2016). Gelişmekte olan ülkemizde artan tüketim ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşam kalitesinin artırılması için başta nükleer santraller, askeri yapılar, havaalanı pistleri, demiryolları, köprüler, tüneller olmak üzere birçok yapı inşa edilmektedir. Bu yapıların kullanım ömrü boyunca darbe etkilerine maruz kaldıklarından dolayı herhangi bir güvenlik sorununa yol açmaması için darbe dirençlerinin yüksek olması gerekmektedir. Terör saldırılarının yoğun olarak yaşandığı ülkemiz için betonların darbe dayanımlarının önemi ayrıca ortaya çıkmakta olup bu alanda bilimsel araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Darbe etkisinin tespiti için İzod deneyi (Çanakçı, 2016), Charpy deneyi (Çanakçı, 2016), yüksek hızda mermi darbesi deneyi (Xiao vd., 2015), ağırlık düşürme deneyi (Nataraja vd., 2005) gibi birkaç yöntem kullanılmakta, uygulama kolaylığı ve yöntem basitliği nedeni ile bu yöntemlerin arasında ağırlık düşürme deneyi dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada betonun darbe dayanımı hakkında bugüne kadar yapılan çalışmalar özetlenerek sonraki yapılacak olan bilimsel araştırmalara ışık tutmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda öncelikle darbe dayanımı tanımı, darbe dayanımını etkileyen faktörler, önemli olduğu yapılar ve tespit yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ardından literatür araştırması kapsamında, yapılan çalışmalar incelenerek bir takım kriterlere göre gruplandırılmıştır. Sonuç kısmında bu konuda ilerleyen dönemlerde yapılabilecek çalışma konu önerileri verilmiştir.

## 2. Darbe Dayanımı

Betonarme yapılar veya yapı elemanları kullanım ömrü süresince basınç, çekme ve eğilme gibi çeşitli dış yüklerin etkisine maruz kalmaktadırlar.

Dayanıklılığı ve faydalı ömrü daha yüksek beton elde etmek için betonun söz konusu dış yüklere karşı dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Son yıllarda beton ve betonarme yapılarda basınç, çekme ve eğilme dayanımı kadar darbe dayanımının da çok önemli olduğu kabul edilmiştir (Ranjan vd., 2014).

Darbe dayanımı, betonların ani olarak etki eden tekrarlı dinamik yükler altında gösterdiği direnç olarak tarif edilmektedir. Darbe dayanımının patlayıcı madde etkisine maruz kalan yapılar başta olmak üzere su yapıları, endüstriyel yapılar, hava alanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri amaçlı yapılar, nükleer santraller gibi yapılarda çok yüksek olması istenmektedir (Yazıcı ve Sezer, 2008).

Geleneksel betonun darbeli yüklere karşı direnci oldukça zayıftır ve betonda bu etki ile oluşan çatlaklar kontrolsüz olarak gelişmektedir. Bunun sonucunda beton performans açısından kayba uğramaktadır (Yazıcı ve Sezer, 2008). Betonun zayıf olan bu özelliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Darbe dayanımı üzerinde mineral katkı ve lif ilavesi gibi birçok yöntem ile olası iyileştirmeler ve saptanmasına yönelik uygun deney yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

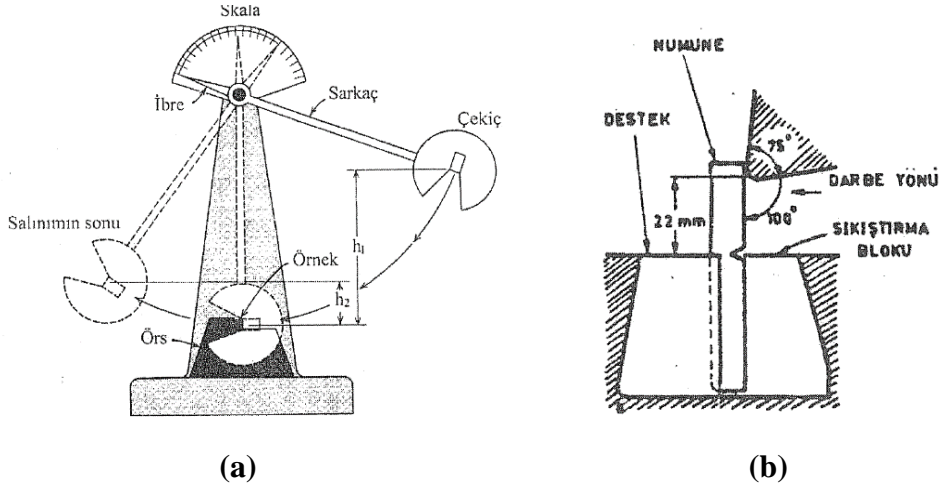
## 3. Darbe Dayanımının Tespiti

Betonun darbe dayanımını belirlemek amacı ile kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler genel olarak metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını tespit etmek amacı ile tercih edilen Charpy ve İzod darbe deneyleri ile beton veya betonarme elemanların darbe dirençlerini belirlemek amacıyla kullanılan yüksek hızda mermi darbesi ve ağırlık düşürme deneyi olarak sınıflandırılabilir.

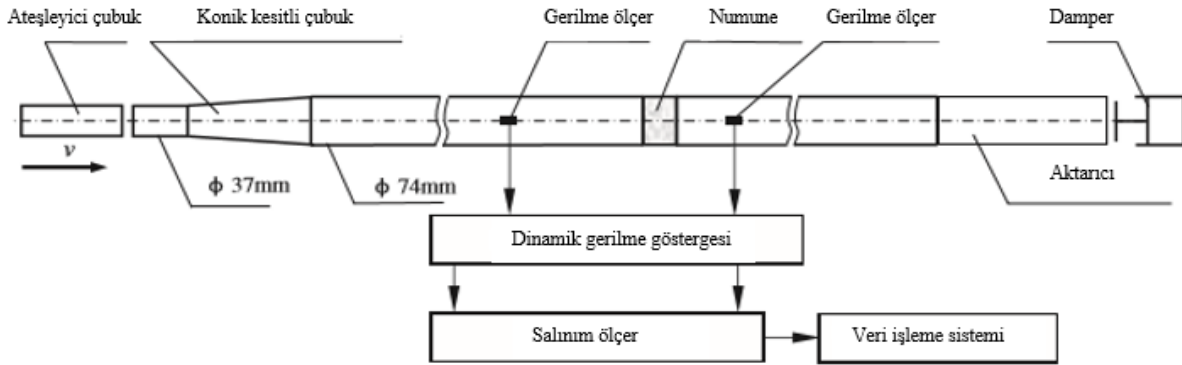
Charpy deneyi Şekil 1.a'da görüldüğü gibi iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmenin etkisi ile söz konusu numunenin kırılması için harcanan enerji ilkesine dayanır (Çanakçı, 2016). Şekil 1.b'de gösterilen İzod darbe deneyi ise dikey ve konsol kiriş halinde çenesine yerleştirilen numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisi ile numunenin kırılması için sarfedilen enerji ilkesine dayanır (Çanakçı,

2016). Bu yöntemin dışında Şekil 2’de düzeneği görülen yüksek hızda mermi darbe deneyi de yapılmakta olup bu deney bir cismin belirli bir

hızda dayanımı ölçülecek malzemeye fırlatılması sonucunda oluşan deformasyonları ölçmeye yaramaktadır (Xiao vd., 2015).



Şekil 1. (a) Charpy deney cihazı, (b) İzod deney cihazı (Çanakçı, 2016)



Şekil 2. Yüksek hızda mermi darbesi deney cihazı (Xiao vd., 2015)

Betonların darbe direncini tespit etmek amacı ile basit ve en çok tercih edilen yöntem olan ağırlık düşürme deney aletinin şematik olarak gösterimi Şekil 3’de verilmektedir.

Söz konusu ağırlık düşürme deneyi yönteminin esasları ACI 544.2R standardında detaylı olarak tarif edilmektedir. Standartta göre bu deney, 4.45 kg ağırlığındaki yükün 457 mm yükseklikten 64x150 mm boyutlarındaki disk numunenin üzerine yerleştirilen 64 mm çapında çelik bilye üzerine düşürülerek yapılmaktadır. Ayrıca deney sonuçları aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad V = gt \quad m = \frac{W}{g}$$

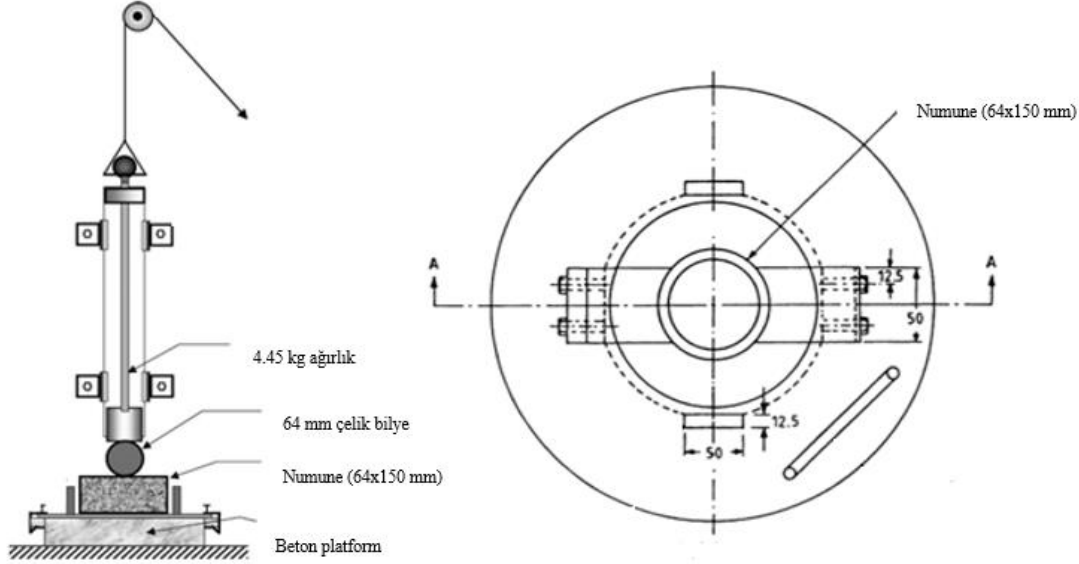
$$U = \frac{mV^2}{2} \quad \text{Darbe Dayanımı} = n \times U$$

U = Bir vuruşta meydana gelen enerji, kNmm  
W = Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı, kg,  
m = Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi, N,

H = Darbe deneyinde tokmağın düşme yüksekliği, mm,  
 t = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme süresi, sn,  
 g = Yerçekimi ivmesi, mm/sn<sup>2</sup>,  
 V = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı, mm/sn,

n = Vuruş sayısı, ad.

Gevrek bir malzeme olan geleneksel betonun darbe dayanımı düşük olup, bu değer beton bileşenleri ve deney koşullarına göre değiştiğinden darbe dayanımını etkileyen parametreler üzerinde daha çok durmak gerekmektedir.



Şekil 3. Ağırlık düşürme deney cihazı (Nataraja vd., 2005)

#### 4. Darbe dayanımını etkileyen beton parametreleri

Darbe dayanımının yüksek olmasını istediğimiz beton esasında farklı malzemelerin (iri agrega, ince agrega, çimento ve su) birleşmeleri ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kompozit bir malzemedir. Bu yüzden betonun mekanik özellikleri ve darbe dayanımı birçok faktörden etkilenmektedir. Betonun darbe dayanımı; betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinden (agrega çeşidi, maksimum agrega tane çapı, su/çimento oranı), kullanılan katkı malzemelerinin özelliklerinden (mineral katkı çeşidi ve kullanım oranı, lif çeşidi, geometrisi, narinlik oranı ve kullanım oranı) ve ortam koşullarından (beton sıcaklığı, yükleme hızı) etkilenmektedir. Betonun darbe dayanımını etkileyen faktörleri şematik olarak Şekil 4'de ki gibi özetleyebiliriz.

##### 4.1. Agregat etkisi

Yapılan çalışmalar agrega çeşidinin (kalker esaslı doğal agrega, bazalt esaslı doğal agrega, geri

kazanılmış agrega) betonun darbe dayanımını direkt olarak etkilediğini göstermektedir. Bazalt ve kalker esaslı olmak üzere iki farklı agrega çeşidinin kullanıldığı Aliabdo vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada bazalt agregalı betonların darbe dayanımlarının kalker agregalı betonların darbe dayanımlarına oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Sürdürülebilirlik açısından geri kazanılmış agregaların betonda tekrar kullanımının popüler olduğu günümüzde mekanik özellikleri belli bir orana kadar düşüren bu atık agregaların darbe dirençlerini de olumsuz etkilediği bilinmektedir. Rao vd. (2011) ile Erdem vd. (2011) tarafından yapılan çalışmalarda geri kazanılmış agregaların betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda Rao vd. (2011) yaptıkları çalışmada GKA oranlarını %25, 50 ve 100 olarak belirlemiştir. Erdem vd. (2011) ise GKA oranını %100 olarak belirlemiş olup ayrıca karışımlara %1.0 oranlarında polipropilen ve çelik lif ilave etmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre GKA kullanımının betonların darbe dayanımlarını

olumsuz etkilediğini, lif kullanımının ise olumlu etkilediğini gözlemlemiştir.

Geri kazanılmış malzeme olarak nitelendirilen kauçuk kullanımının da betonların mekanik özelliklerini ve darbe dayanımlarını etkilediği çalışmalarda literatürde mevcuttur. Al-Tayeb vd. (2013) yaptıkları çalışmada %10 ve 20 oranlarında, Khalil vd. (2015) ise yaptıkları çalışmada %10, 20, 30 ve 40 oranlarında kauçuk kullanarak hazırladıkları beton karışımlarının darbe dirençlerini incelemiştir. Sonuçta kauçuk kullanım oranı artışı ile betonların darbe dayanımlarının arttığını belirlemiştir.

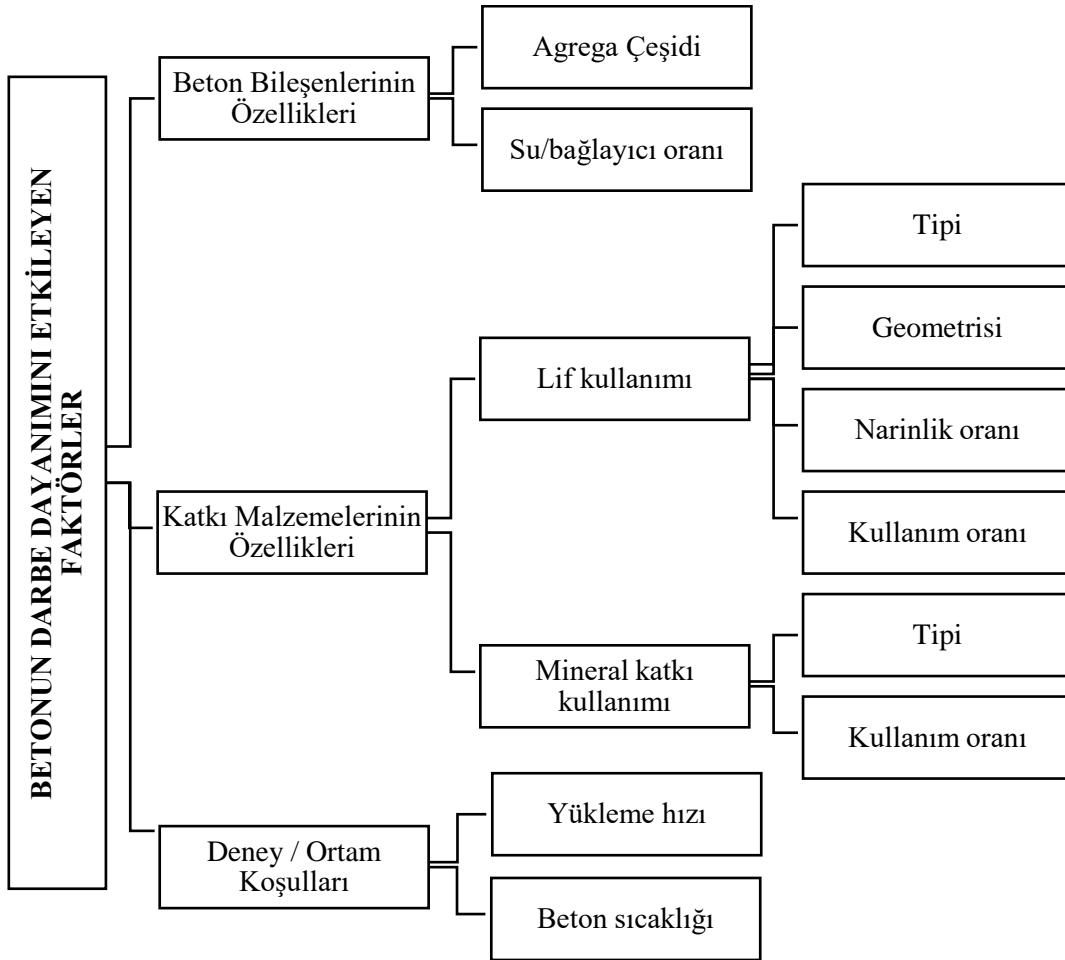
Kullanılan agrega tipinin yanı sıra maksimum agrega tane çapının da betonların darbe dayanımları üzerindeki Yazıcı ve Sezer (2008) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. 10, 15, 20 ve 25 mm maksimum agrega tane çapının kullanıldığı ayrıca tüm karışımlara %1.0 oranında çelik lif ilave edilen çalışmada maksimum agrega tane çapının 20 mm olduğu betonların en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

#### 4.2. Çimento Etkisi

Beton karışım oranları belirlenirken çimento miktarı özellikle su/çimento oranı seçimi önemli bir konudur. Farklı su/çimento oranına sahip betonların üretildiği çalışmalarda genellikle su/çimento oranı düşük olan betonların darbe yükleri karşısında daha iyi performans sergiledikleri belirlenmiştir (Nataraja vd., 2005; Zeynal ve Yazıcı, 2008; Nia vd., 2012). Buna zıt olarak sınırlı sayıda çalışmada ise su/çimento oranı yüksek olan karışımların darbe dayanımları yüksek çıkmıştır (Mindess vd., 1986).

#### 4.3. Mineral Katkı ilavesi

Betonların mekanik özelliklerini geliştiren mineral katkıları (silis dumanı, uçucu kül, cüruf, metakaolin gibi) darbe dayanımında geliştirmekte özellikle silis dumanı kullanımı betonların mekanik özellikleri üzerinde etkili olmasının yanı sıra betonların darbe dayanımlarını da arttırmaktadır (Toutanji vd., 1998; Nili ve Afroughsabet, 2010a, b).



Şekil 4. Betonun darbe dayanımını etkileyen faktörler

#### 4.4. Lif İlavesi

Mekanik özellikleri ve darbe dayanımını geliştiren diğer ve en etkili olan yöntem lif ilavesidir. Yapılan çalışmalarda en çok bu yöntem tercih edilmiş olup eklenen liflerin darbeden gelen enerjiyi sönmülmesi ve çatlaklar arası köprü görevi yaparak dağılmayı engellemesi en temel nedenlerdendir.

Günümüzde farklı lifler (çelik lif, polipropilen lif, cam lif, bazalt lif, poliamid lif, polivinil alkol lif, seramik lif, polietilen lif, naylon lif, kevlar lif, doğal lifler vb.) beton üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları çelik ve polipropilen lifler olup, darbe dayanımına en fazla katkı sağlayan Tablo 1'de görüldüğü gibi çelik liflerdir. Lif çeşidinin yanısıra lif geometrisi, narinlik oranı ve kullanım oranları da betonların darbe dayanımlarını doğrudan etkilemektedir. Farklı tip, geometri, narinlik oranı ve kullanım oranına sahip lifler kullanılarak üretilen betonların darbe dayanımlarını inceleyen çalışmalardan kısaca aşağıda bahsedilmektedir. Lifler beton hacmini yüzdesi olarak alınmıştır.

Bu değerlere ilaveten Swamy ve Jojagha (1982) yaptıkları çalışmada çengelli ve saplı çelik liflerin, uzun boyları ve yüksek narinlik oranları sebebi ile darbe yükleri karşısında en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca Marar vd. (2001) ile Mohammadi vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada da liflerin narinlik oranı ve kullanım oranı arttıkça betonun darbe dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.4. Deney Koşulları

Betonun darbe dayanımını etkileyen diğer bir durum ise deney (yükleme hızı, beton sıcaklığı gibi) koşullarıdır. Mindess ve Yan (1993) tarafından yapılan çalışmada beton sınıfı 40 ve 75 MPa, çelik ve polipropilen lif oranı %1.0 olan beton karışımları hazırlanarak 1.34, 1.84 ve 2.67 m/s olmak üzere üç farklı yüklenme hızında darbe dayanımları incelenmiştir. En iyi sonucu 1.84 m/s yüklenme hızı ile test edilen 40 MPa dayanıma sahip çelik lif katkılı karışımların verdiği belirlenmiştir.

Banthia vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada makro lifli betonların darbe dayanımlarının mikro lifli betonlara göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Darbe dayanımı hususunda en iyi sonucu ise makro ve mikro çelik liflerin karışık kullanıldığı betonların verdiği belirlenmiştir.

Ayrıca yüksek yüklenme hızı ve düşük sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda betonların darbe dayanımlarının daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

#### 5. Sonuç ve Öneriler

Yapıların maruz kalabileceği darbe etkisine karşı performansının geliştirilmesi gerekmektedir. Darbe dayanımı için uygulanan testler ile ölçüm yöntemlerinin incelendiği pek çok çalışma bulunmakla beraber literatürde yaygın olarak ağırlık düşürme testinin kullanıldığı görülmektedir. Darbe etkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlere ilaveten bu dayanımı etkileyen pek çok parametre olduğu bilinen bir gerçektir. Tüm bu bilgilerin ışığında çalışmada betonun darbe dayanımının tespitinde ağırlık düşürme deney yöntemi ve yapılan çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalardan hareketle bu konuda çalışma yapacak kişiler için aşağıda konu ile ilgili çalışma önerileri verilmiştir.

- Genelde normal ve yüksek dayanımlı betonlar için yapılan darbe çalışmalarının diğer özel betonlar içinde belirlenmesi konusunda literatürde eksiklik görülmekte, özellikle yaygın kullanıma sahip ve birçok avantajı olan kendiliğinden yerleşen betonların darbe dayanımları detaylı olarak incelenmelidir.
- Agregası açısından farklı tip agregası kullanımı da detaylı bir şekilde değerlendirilmeli ve agregası tipi ile doğrudan alakalı olan hafif beton, ağır beton, geri kazanılmış agregalı beton gibi bazı özel betonların darbe dayanımları farklı mineral katkıları ve lifler kullanılarak irdelenmelidir.
- Literatürde sayısı çok olan lifli betonların darbe dayanımlarının yanısıra kullanılmamış bazı doğal, yapay ve atık liflerin kullanımları da araştırılmalıdır.
- Liflerin özelliklerini belirleyen; lif geometrisi, narinlik oranı, çekme gerilmesi gibi karakteristik özelliklerinin detaylı olarak incelendiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Farklı birleşik mekanik etkilere ve çevresel etkilere maruz kalmış betonların darbe dayanımlarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılması gerçek durum hakkında daha belirleyici sonuçlar vereceğinden önemlidir.
- Tüm bu etkileri kullanarak malzeme modellemesi yapılması ve darbeyi yansıtan modellerin kurulması beklenilmekte, deneysel çalışmaların istatistiksel yöntemlerle desteklenmesi önem taşımaktadır.

**Tablo 1.** Darbe dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

Araştırmacılar (Yayın tarihi)	Kullanılan lif türü ve oranı (%)	Diğer Değişkenler	Kontrol numunelerine göre darbe dayanımı artış yüzdesi
Swamy and Jojagha, (1982)	Çelik lif (1.0)	Lif geometrisi	%520 - 3505
Mindess vd., (1986)	Polipropilen lif (0.5)	Su/çimento oranı	%19 -24
Mindess ve Vondran, (1988)	Polipropilen lif (0.1-0.3-0.5)		%12-40
Mindess ve Yan, (1993)	Polipropilen lif (1.0) Çelik lif (1.0)	Darbe hızı	%(-22)-86
Wang vd., (1996)	Polipropilen lif (0.25-0.5) Çelik lif (0.25-0.5-0.75-1.0)		%17-582
Toutanji vd., (1998)	Polipropilen lif (0.1-0.3-0.5)	Silis dumanı oranı, lif uzunluğu	%40 -4100
Banthia vd., (1998)	Karbon lif (1.0) Makro ve mikro çelik lif (1.0)		%3.6 -210
Nataraja vd., (1999)	Çelik lif (0.5)		%80
Marar vd., (2001)	Çelik lif (0.5-1.0-1.5-2.0)	Narinlik oranı	%260-7360
Song vd., (2005)	Çelik lif (1.0)		%317
Nataraja vd., (2005)	Çelik lif (0.5-1.0-1.5)	Su/çimento oranı	%268 - 2450
Ramakrishna ve Sundararajan, (2005)	Doğal lif (0.5-1.0-1.5-2.0)		%40 -1713
Badr vd.,(2006)	Polipropilen lif (0.7)		%40
Yazıcı ve Sezer , (2008)	Çelik lif (1.0)	Maksimum agrega tane çapı	%682-800
Zeynal ve Yazıcı, (2008)	Mikro çelik lif (0.3) Çelik lif (0.4-0.8-1.2)	Su/çimento oranı	%210-4095
Mohammadi vd. (2009)	Çelik lif (1.0-1.5-2.0)		%41-67
Xu vd., (2010)	Polivinilalkol lif (0.3-0.6-0.9-1.2)		%23-91
Nili ve Afroughsabet, (2010a)	Çelik lif (0.5-1.0)	Su/bağlayıcı oranı	%232-2516
Nili ve Afroughsabet, (2010b)	Polipropilen lif (0.2-0.3-0.5)	Su/çimento oranı	%42- 845
Erdem vd., (2011)	Çelik lif (1.0) Polipropilen lif (1.0)		%(-57)-414
Caf ve Bingöl, (2012)	Çelik lif (0.5-1.0-1.5-2.0) Polipropilen lif (gr) 300-600-900-1200		%1-1064 .
Nia vd., (2012)	Polipropilen lif (0.2-0.3-0.5) Çelik lif (0.5-1.0)	Su/bağlayıcı oranı	%42-2516
Su ve Xu, (2013)	Seramik lif (0.1-0.2-0.3)		%(-28)-47
Aliabdo vd., (2013)	Polipropilen lif (0.1-0.2) Çelik lif (1.0-2.0)	Agrega tipi	%13-81
Gupta vd., (2015)	Kauçuk lif ( 5-10-15-20-25)	Su/bağlayıcı oranı, silis dumanı oranı	%46-472

## 6. Kaynaklar

- ACI 544.2R, 2009. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, USA.
- Aliabdo, A.A., Abd-Elmoaty, A.M. ve Hamdy, M., 2013. Effect of Internal Short Fibers, Steel Reinforcement and Surface Layer on Impact and Penetration Resistance of Concrete, Alexandria Engineering Journal, 52, 407-417.
- Al-Tayeb, M.M., Abu-Bakar, B.H., Ismail, H. ve Akil, H.M., 2013. Effect of Partial Replacement of Sand by Recycled Fine Crumb Rubber on the Performance of Hybrid Rubberized Normal Concrete Under Impact Load Experiment and Simulation, Journal of Cleaner Production, 59, 284-289.
- Badr, A., Ashour, A.F. ve Platten, A.K., 2005. Statistical Variations in Impact Resistance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete, International Journal of Impact Engineering, 32, 1907-1920.
- Banthia, N., Yan, C. ve Sakai, K., 1998. Impact Resistance of Fiber Reinforced Concrete at Subnormal Temperatures, Cement and Concrete Composites, 20, 393-404.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., 2010, Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Türkiye Hazır Beton Birliği, ISBN 975-92122-2-6, İstanbul, 318s.
- Caf, M. ve Bingöl, A.F., 2012. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çanakçı, A., 2016. KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Deney Föyü.
- Erdem, S., Dawson, A.R. ve Thom, N.H., 2011. Microstructure Linked Strength Properties and Impact Response of Conventional and Recycled Concrete Reinforced with Steel and Synthetic Macro Fibers, Construction and Building Materials, 25, 4025-4036.
- Foti, D. ve Paparella, F., 2014. Impact Behavior of Structural Elements in Concrete Reinforced with PET Grids, Mechanics Research Communications, 57, 57-66.
- Gupta, T., Sharma, R.K. ve Chaudhary, S., 2015. Impact Resistance of Concrete Containing Waste Rubber Fiber and Silica Fume, International Journal of Impact Engineering, 83, 76-87.
- Khalil, E., Abd-Elmohsen, M. ve Anwar, A.M., 2015. Impact Resistance of Rubberized Self Compacting Concrete, Water Science, 29, 45-53.
- Marar, K., Eren, Ö. ve Çelik, T., 2001. Relationship Between Impact Energy and Compression Toughness Energy of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete. Materials Letters, 47, 297-304.
- Mindess, S., Banthia, N. ve Bentur, A., 1986. The Response of Reinforced Concrete Beams with a Fibre Concrete Matrix to Impact Loading, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 8, 165-170.
- Mindess, S. ve Vondran, G., 1988. Properties of Concrete Reinforced with Fibrillated Polypropylene Fibres Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 18, 109-115.
- Mindess, S. ve Yan, C., 1993. Perforation of Plain and Fibre Reinforced Concretes Subjected to Low Velocity Impact Loading, Cement and Concrete Research, 23, 83-92.
- Mohammadi, Y., Azad, R.C., Singh, S.P. ve Kaushik, S.K., 2008. Impact Resistance of Steel Fibrous Concrete Containing Fibres of Mixed Aspect Ratio, Construction and Building Materials, 23, 183-189.
- Nataraja, M.C., Dhang, N. ve Gupta, A.P., 1999. Statistical Variations in Impact Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight Test, Cement and Concrete Research, 29, 989-995.
- Nataraja, M.C., Nagaraj, T.S. ve Basavaraja, S.B., 2005. Reproportioning of Steel Fibre Reinforced Concrete Mixes and Their Impact Resistance, Cement and Concrete Research, 35, 2350-2359.
- Nia, A.A., Hedeyatian, M., Nili, M. ve Afroughsabet, V., 2012. An Experimental and Numerical Study on How Steel and Polypropylene Fibers Affect the Impact Resistance in Fiber Reinforced Concrete, International Journal of Impact Engineering, 46, 62-73.

- Nili, M. ve Afroughsabet, V., 2010a. Combined Effect of Silica Fume and Steel Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete, International Journal of Impact Engineering, 37, 879-886.
- Nili, M. ve Afroughsabet V., 2010b. The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete, Construction and Building Materials, 24, 927-933.
- Ranjan, R., Banerjee, S., Singh, R.K. ve Banerji, P., 2014. Local Impact Effects on Concrete Target Due to Missile an Empirical and Numerical Approach, Annals of Nuclear Energy, 68, 262-275.
- Ramakrishna, G. ve Sundararajan, T., 2005. Impact Strenth of a few Natural Fibre Reinforced Cement Mortar Slabs: A Comparative Study, Cement and Concrete Composites, 27, 547-553.
- Rao, M.C., Bhattacharyya, S.K. ve Barai, S.V., 2011. Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load, Construction and Building Materials, 25, 69- 80.
- Song, P.S., Wu, J.C., Hwang, S. ve Sheu, B.C., 2005. Assessment of Statistical Variations in Impact Resistance of High Strength Concrete and High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 35, 393-399.
- Su, H. ve Xu, J., 2013. Dynamic Compressive Behavior of Ceramic Fiber Reinforced Concrete Under Impact Load, Construction and Building Materials, 45, 306-313.
- Swamy, R.N. ve Jojagha, A.H., 1982. Impact Resistance of Steel Fibre Reinforced Lightweight Concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 4, 209-220.
- Toutanji, H., McNeil, S. ve Bayasi, Z., 1998. Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Concrete, Cement and Concrete Research, 28, 961-968.
- Wan, F., Jiang, Z., Tan, Q. ve Cao, Y., 2016. Response of Steel Tube Confined Concrete Targets to Projectile Impact, International Journal of Impact Engineering, 94, 50-59.
- Wang, N., Mindess, S. ve Ko, K., 1996. Fibre Reinforced Concrete Beams Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 26, 363-376.
- Xiao, J., Li, L., Shen, L. ve Poon, C.S., 2015. Compressive Behavior of Recycled Aggregate Concrete Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 71, 46-55.
- Xu, B., Toutanji, H.A. ve Gilbert, J., 2010. Impact Resistance of Polyvinyl Alcohol Fiber Reinforced High Performance Organic Aggregate Cementitious Material, Cement and Concrete Research, 40, 347-351.
- Yazıcı, Ş. ve Sezer, G.İ., 2008. Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agregada Maksimum Boyutunun Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 237-245.
- Zeynal, E. ve Yazıcı, Ş., 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.



## Boole Yakın Halkalar ve Boole İdealler

### *Boolean Near Rings and Boolean Ideals*

Melek TAŞ<sup>a</sup>, Funda TAŞDEMİR<sup>\*.b</sup>

Bozok Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 66100, Yozgat, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 13.08.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 11.12.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 23.12.2017

#### Öz

Bu çalışmada, Boole yakın halka kavramı yakın halkaların ideallerine genişletilerek Boole ideal kavramı tanımlanmıştır. Elde edilen yeni tanımla birlikte Boole idealler ile literatürdeki diğer yapılar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her Boole idealin aynı zamanda bir IFP ideal olduğu ancak tersinin doğru olmadığı ispatlanmıştır. Yine, Boole yakın halkaların sıfırlayan ideallerinin de Boole ideal olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca, kendisi Boole olmadığı halde Boole ideale sahip çeşitli yakın halkalar örnek olarak incelenmiştir. Son olarak, verilen bir Boole halkadan Boole yakın halka elde etme yöntemi ile bir Boole yakın halka elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Boole ideal, Boole yakın halka, Yakın halka

#### Abstract

In this paper, the concept of Boolean near ring extended to ideals of near-rings, called Boolean ideals. With the obtained new concept the relationships between Boolean ideals and the other concepts in the literature have been examined. It has been proved that a Boolean ideal is also an IFP ideal but the converse is not true. Also, it has been proved that annihilator ideals of Boolean near-rings are Boolean ideals. Moreover it has been examined that some examples to illustrate some near rings, which is not a Boolean near-ring, but have Boolean ideals. Finally, a Boolean near ring has been obtained from a given Boolean ring through the method of obtaining a Boolean near ring.

**Keywords:** Boolean ideal, Boolean near ring, Near ring

\*.b Funda TAŞDEMİR; funda.tasdemir@bozok.edu.tr; Tel: (0354) 242 10 21; orcid.org/0000-0002-0349-3686

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-9162-8693

## 1. Giriş

Genelleştirilmiş halkalar olan yakın halkalara ilk adım, 1905 senesinde Dickson tarafından atılmıştır. Dickson (1905), günümüzde yakın cisim adı verilen dağılma özelliğinin tek taraflı sağlandığı cisimlerin varlığını kanıtlamıştır.

Yakın halkalar, ilk işlemin değişmeli olması gerekmediği ve ikinci işlemin ilk işlem üzerine dağılma yönünün tek yönlü olduğu bir yapıdır (Pilz, 1983). Bu iki özellikten dolayı halkalarda bilinen çoğu kavram yakın halkalarda farklılık göstermiştir. Bu nedenle, yakın halkalar, birçok matematikçi için büyük bir araştırma konusu olmuş ve halen de olmaktadır (Juglal vd., 2010; Sezgin vd., 2011; Taşdemir vd., 2011; Taşdemir vd., 2013).

Halka teorisinde önemli bir rol oynayan Boole halkalar, tüm elemanları eşgüçlü olan halkalardır (Hungerford, 2003). Boole halkalar, halka teorisinde kullanışlı sonuçların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bunlar, Boole halkaların değişmeli olması, ilk işleme göre her elemanın tersinin kendisine eşit olması, alt halkalarının ve homomorfik görüntülerinin de Boole olması, asal ideallerinin aynı zamanda maksimal ideal olması gibi pek çok kullanışlı özelliklerdir.

Halkalardaki Boole olma özelliği yakın halkalara aktararak Boole yakın halkalar tanımlanmıştır (Pilz, 1983). Ancak, yakın halkanın tanımından dolayı, Boole yakın halkalarda Boole halkalarda elde edilen bazı sonuçlara ulaşılamaz. En temel olarak, Boole halkalar değişme özelliğini sağlarken Boole yakın halkalarda bu durum söz konusu değildir. Ancak Boole yakın halkalar sağ değişmeli(zayıf değişmeli) yakın halkalardır (Hansen ve Luh, 1989).

Halkalardaki pek çok kavramın yakın halkalara genişletilmesiyle elde edilen farklı sonuçlar nedeniyle, Boole yakın halka yapısının da ideallere genişletilmesi merak konusu olmuştur. Bu nedenle, bu çalışmada, Boole yakın halka kavramı ideal yapısına genişletilerek ilk kez Boole ideal tanımlanmıştır. Bu tanımla, Boole yakın halkaların tüm ideallerinin Boole ideal olduğu, kendisi Boole olmadığı halde ideali Boole olabilen yakın halkaların olduğu örneklerle gösterilmiştir. Yine, Boole ideallerin, literatürde önemli bir yer tutan IFP idealler ve asal idealler ile ilişkisi incelenmiştir. Üstelik Boole yakın halkaların sıfırlayan ideallerinin de Boole ideal olduğu ispatlanmıştır. Son olarak, Clay ve Lawyer (1969) tarafından verilen yakın halka elde etme

metodu sağ yakın halkalara uygulanarak birimli bir Boole halkadan Boole yakın halka elde edilmiştir.

## 2. Temel Bilgiler

**Tanım 2.1.** (Pilz, 1983) Boştan farklı bir  $R$  kümesi üzerinde iki ikili işlem “+” ve “.” olsun. Eğer,

a)  $(R, +)$  değişmeli olması gerekmeyen bir grup,

b)  $(R, \cdot)$  bir yarı grup,

c)  $\forall a, b, c \in R$  için aşağıdaki iki dağılma özelliğinden en az birisi sağlanıyorsa

i)  $(a + b) \cdot c = a \cdot c + b \cdot c$  veya

ii)  $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$

$(R, +, \cdot)$  üçlüsüne bir *yakın halka* denir.

Eğer (a), (b) ve (i) şartı sağlanıyorsa,  $R$ 'ye bir *sağ yakın halka*, (a), (b) ve (ii) şartı sağlanıyorsa,  $R$ 'ye bir *sol yakın halka* denir. Yani, dağılma özelliğinin yönü, yakın halkanın sağ yakın halka ya da sol yakın halka olmasını belirler.

Bu çalışma boyunca  $R$ , bir sağ yakın halkayı ifade edecektir. Normal alt grup, yakın halka homomorfizmi (epimorfizmi), bölüm yakın halkası, birimli yakın halka, değişmeli yakın halka, aşikar ideal gibi kavramlar halka teorisindeki tanımlara benzer şekilde tanımlanmaktadır. Tanımları verilmeyen diğer kavramlar için Pilz'e ait '*Near-rings*' (Pilz, 1983) kitabı temel kaynak olarak verilmiştir.

**Örnek 2.2.** (Pilz, 1983)  $G$  bir grup olmak üzere

$$M(G) = \{f: G \rightarrow G \mid f \text{ fonksiyon}\}$$

ile tanımlanan küme, fonksiyonlarda toplama ve bileşke işlemleri ile bir yakın halkadır. (Fonksiyonlarda bileşke işleminin fonksiyonlarda toplama işlemi üzerine soldan dağılma özelliği sağlanmadığından bir halka değildir).

**Tanım 2.3.** (Pilz, 1983)  $R_0 = \{r \in R \mid r0 = 0\}$  kümesine  $R$  yakın halkasının sıfır-simetrik kısmı,

$$R_c = \{r \in R \mid r0 = r\} = \{r \in R \mid \forall r' \in R \text{ için}$$

kümesine  $R$  yakın halkasının sabit kısmı denir.

$R_0$  ve  $R_c$  birer yakın halka olup,  $R = R_0$  ise  $R$  yakın halkasına *sıfır-simetrik yakın halka*,  $R = R_c$  ise  $R$  yakın halkasına *sabit yakın halka* denir.

**Tanım 2.4.** (Pilz, 1983)  $R$  bir yakın halka ve  $I$ ,  $R$ 'nin bir normal alt grubu olsun. Bu durumda,

a)  $IR \subseteq I$

b)  $\forall a, b \in R$  ve  $\forall i \in I$  için,  $a(b + i) - ab \in I$

şartları sağlanıyorsa,  $I$ 'ya  $R$  yakın halkasının bir *ideali* denir ve  $I \triangleleft R$  ile gösterilir. Eğer, sadece a) şartı sağlanıyorsa  $I$ ,  $R$ 'nin bir sağ ideali, sadece b) şartı sağlanıyorsa  $I$ ,  $R$ 'nin bir sol idealidir ve sırasıyla  $I \triangleleft_r R$  ve  $I \triangleleft_l R$  ile gösterilir.

**Tanım 2.5.** (Holcombe, 1970; Booth vd., 1990; Groenewald, 1991)  $P \triangleleft R$  olmak üzere;  $\forall x \in R$  için  $xRx \subseteq P$  ( $x^2 \in P$ ) iken  $x \in P$  ise  $P$ 'ye 3-yarı-asal (*c-yarı asal*) ideal denir.

**Önerme 2.6.** (Booth ve Groenewald, 1996)  $R$  sıfır-simetrik bir yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun. Bu durumda,  $P$  c-yarı-asal  $\Rightarrow P$  3-yarı-asal  $\Rightarrow P$  2-yarı-asal  $\Rightarrow P$  1-yarı-asal  $\Rightarrow P$  0-yarı-asaldır.

**Tanım 2.7.** (Ramakotaiah ve Rao, 1979)  $a, b \in R$  için,  $ab = 0$  olması her  $r \in R$  için  $arb = 0$  olmasını gerektiriyorsa  $R$  yakın halkasına araya çarpan alma özelliğini sağlıyor veya kısaca *IFP* (Insertion-of-Factors Property) *yakın halka* denir.

Eğer  $P \triangleleft R$  ve  $R/P$  bir *IFP* yakın halka ise bu durumda  $P$ 'ye  $R$ 'nin *IFP* ideali adı verilir (Atagün, 2010).

**Tanım 2.8.** (Birkenmeier ve Heatherly, 1989)  $\forall x, y, z \in R$  için  $xyz = xzy$  ise  $R$ 'ye *sağ değişmeli yakın halka* denir.

**Tanım 2.9.**  $A$  ve  $B$ ;  $R$  yakın halkasının iki alt kümesi olmak üzere.  $(A : B)_R = \{r \in R : rB \subseteq A\}$  ile tanımlanır. Özel olarak  $(0 : B)_R = \{r \in R : rB = 0\}$  kümesine  $B$  kümesinin *sıfırlayanı* denir. Kısalık açısından  $(0 : B)_R = (0 : B)$  ve  $(0 : \{x\})_R = (0 : x)$  ile gösterilir.

Üçüncü bölümde, Boole ideallerin tanımını vermeden önce Boole yakın halkalar ile ilgili temel tanım ve teoremler incelenmiştir.

### 3. Boole Yakın Halkalar

**Tanım 3.1.** (Pilz, 1983)  $R$  bir yakın halka olsun.  $x \in R$  için,  $x^2 = x$  ise  $R$ 'ye bir *Boole yakın halka* denir. Yani her elemanı eşgüçlüdür.

**Örnek 3.2.**  $X$  herhangi bir küme ve  $P(X)$ ,  $X$ 'in kuvvet kümesi olsun. Bu durumda,  $(P(X), \Delta, \cap)$

birimli, değişmeli bir Boole yakın halkadır. Gerçekten,  $A, B, C \in P(X)$  için,  $A \Delta B \in P(X)$  ve simetrik fark işlemi birleşme özelliğini sağladığından  $(P(X), \Delta)$  bir yarı gruptur.  $\emptyset$  birim eleman ve her elemanın tersi kendisine eşittir. Böylece  $(P(X), \Delta)$  bir gruptur.  $(P(X), \cap)$  nın bir yarı grup olduğu ve sağdan dağılma özelliği kesişim ve simetrik fark işlemlerinin özelliklerinden açıktır. Buradan,  $(P(X), \Delta, \cap)$  bir yakın halkadır (üstelik halkadır).  $(P(X), \Delta, \cap)$  değişmeli ve birimi  $X$  olan birimli bir yakın halkadır. Ayrıca, her  $A \in P(X)$  için  $A^2 = A \cap A = A$  olup  $(P(X), \Delta, \cap)$  bir Boole yakın halkadır.

**Örnek 3.3.**  $M_0(\mathbb{Z}_2) = \{f \in M(\mathbb{Z}_2) \mid f(0) = 0\}$  kümesi fonksiyonlarda toplama ve bileşke işlemleri ile bir Boole yakın halkadır.  $M_0(\mathbb{Z}_2)$  nin bir yakın halka olduğu Örnek 2.2 ve Tanım 2.3'den açıktır. Diğer taraftan,  $M_0(\mathbb{Z}_2)$  yakın halkasının elemanları belirlenerek her  $f \in M_0(\mathbb{Z}_2)$  için  $f^2 = f \circ f = f$  olduğu kolaylıkla görülebilir. Böylece  $M_0(\mathbb{Z}_2)$  bir Boole yakın halkadır.

**Örnek 3.4.** Her sabit yakın halka sağ değişmeli bir Boole yakın halkadır. Gerçekten,  $x, y, z \in R$ , ve  $R$  bir sabit yakın halka ise,  $xyz = x$  ve  $xzy = x$  olup  $xyz = xzy$  yani  $R$  sağ değişmelidir. Diğer taraftan,  $R$  sabit yakın halka olduğundan  $x^2 = x.x = x$  buradan  $x^2 = x$  yani  $R$  Boole dır.

**Önerme 3.5.**  $R$  bir Boole yakın halka olsun. Bu durumda bir  $S$  alt yakın halkası da Boole yakın halkadır. Üstelik  $T$  bir yakın halka ve  $\Pi: R \rightarrow T$  bir yakın halka epimorfizmi olmak üzere.  $T$  de bir Boole yakın halkadır.

**İspat:**  $S, R$  yakın halkasının alt yakın halkası olduğundan.  $x \in S$  ise,  $x \in R$  dir.  $R$  bir Boole yakın halka olduğundan  $R$ 'nin dolayısıyla  $S$ 'nin her elemanı eşgüçlüdür. Böylece,  $S$ , Boole yakın halkadır. Diğer taraftan,  $\Pi: R \rightarrow T$  bir yakın halka epimorfizmi olduğundan,  $t \in T$  ise  $\exists r \in R$  için,  $t = \Pi(r)$ 'dir. Buradan,

$$\begin{aligned} t^2 &= \Pi(r). \Pi(r) \\ &= \Pi(r^2) \\ &= \Pi(r) \\ &= t \end{aligned}$$

Yani,  $T$ 'nin her elemanı eşgüçlü böylece;  $T$  Boole yakın halkadır.

Boole halkalar değişmeli iken aynı durum yakın halkalar için geçerli değildir. Ancak aşağıdaki teorem vardır.

**Teorem 3.6.** (Hansen ve Luh, 1989) Her Boole yakın halka sağ değişmelidir.

**Önerme 3.7.** Her Boole yakın halka bir IFP yakın halkadır.

**İspat:**  $R$  bir Boole yakın halka,  $a, b, r \in R$  için  $ab = 0$  olsun. Bu durumda Teorem 3.6'dan  $arb = abr = 0r = 0$  olur. Buradan  $R$ , bir IFP yakın halkadır.

**Önerme 3.8.**  $R$  bir Boole yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olmak üzere  $R/P$  de bir Boole yakın halkadır.

**İspat:**  $R$  bir yakın halka olduğunda  $R/P$ 'nin de bir yakın halka olduğu açıktır. Diğer taraftan,  $x + P \in R/P$  için,  $(x + P)^2 = (x + P) \cdot (x + P) = x \cdot x + P = x^2 + P = x + P$  dir. Buradan  $R/P$  bir Boole yakın halkadır.

Boole yakın halkalar ideal yapısına genişletilerek Boole ideal tanımlanmıştır.

#### 4. Boole İdealler

**Tanım 4.1.**  $R$  bir yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun. Eğer,  $R/P$  bir Boole yakın halka ise  $P$ 'ye  $R$ 'nin bir Boole ideali denir.

**Önerme 4.2.**  $R$  bir yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun.  $P$ 'nin Boole ideal olması için gerek ve yeter şart her  $x \in R$  için,  $x^2 - x \in P$  olmasıdır.

**İspat:**  $P$  bir Boole ideal olsun. Bu durumda  $R/P$  bir Boole yakın halkadır. Yani, her  $x + P \in R/P$  için,  $x + P = (x + P)^2 = (x + P) \cdot (x + P) = x \cdot x + P = x^2 + P$  olur. Bu eşitlikten  $x^2 - x \in P$  bulunur. Diğer taraftan her  $x \in R$  için  $x^2 - x \in P$  ise  $x + P = x^2 + P = (x \cdot x + P) = (x + P) \cdot (x + P) = (x + P)^2$  olup  $R/P$  bir Boole yakın halka olup  $P$ ,  $R$ 'nin bir Boole idealidir.

**Sonuç 4.3.**  $R$ 'nin Boole yakın halka olması için gerek ve yeter şart  $\{0\} \triangleleft R$  Boole ideal olmasıdır.

**İspat:**  $R$  bir Boole yakın halka olsun. Bu durumda her  $x \in R$  için,  $x^2 = x$  dir. Buradan,  $x^2 - x = 0 \in \{0\}$ . Buradan  $\{0\}$ ,  $R$ 'nin bir Boole idealdir. Diğer taraftan,  $\{0\} \triangleleft R$  Boole ideal ise her  $x \in R$  için,  $x^2 - x \in \{0\}$  yani  $x^2 = x$  olup  $R$  bir Boole yakın halkadır.

**Sonuç 4.4.**  $R$  bir sabit yakın halka olmak üzere,  $P \triangleleft R$  ise,  $P$  Boole idealdir.

**İspat:**  $R$  bir sabit yakın halka ve  $x \in R$  ise,  $x^2 = x \cdot x = x$  olup  $x^2 - x = 0 \in P$  dir. Böylece, Önerme 4.2'den  $P$  Boole idealdir.

**Sonuç 4.5.**  $R$  bir Boole yakın halka ise  $R$ 'nin tüm idealleri Boole idealdir.

**İspat:**  $R$  bir Boole yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun.  $\forall x \in R$  için  $x^2 = x$  olduğundan  $x^2 - x = 0 \in P$  olup  $P$  bir Boole idealdir.

Aşağıdaki örneklerde, kendisi Boole olmadığı halde Boole ideale sahip yakın halkalar verilmiştir.

**Örnek 4.6.**  $R = \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$  kümesi, üzerinde toplama ve çarpma işlemleri aşağıdaki tablolar ile verilen bir yakın halkadır (Pilz, 1983).

+	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	0	5	6	7	4
2	2	3	0	1	6	7	4	5
3	3	0	1	2	7	4	5	6
4	4	7	6	5	0	3	2	1
5	5	4	7	6	1	0	3	2
6	6	5	4	7	2	1	0	3
7	7	6	5	4	3	2	1	0
.	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4	5	6	7
2	0	2	0	2	0	0	0	0
3	0	3	2	1	4	5	6	7
4	0	4	2	6	4	0	6	2
5	0	5	0	5	0	5	0	5
6	0	6	2	4	4	0	6	2
7	0	7	0	7	0	5	0	5

$R$  bir yakın halkadır ancak halka değildir ( $3 + 4 = 7$  fakat  $4 + 3 = 5$  olduğundan halkanın ilk özelliği olan ilk işleme göre değişmeli olma özelliği sağlanmaz).  $2^2 = 0$  olduğundan  $\forall x \in R$  için  $x^2 = x$  sağlanmadığından  $R$  bir Boole yakın halka değildir. Ancak  $P = \{0,2,5,7\}$   $R$ 'nin bir ideali olmak üzere  $\forall x \in R$  için  $x^2 - x \in P = \{0,2,5,7\}$  olup  $P$  bir Boole idealdir. Gerçekten,  $x \in \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$  için  $0^2 - 0 = 0$ ,  $1^2 - 1 = 1 - 1 = 0$ ,  $2^2 - 2 = 0 + 2 = 2$ ,  $3^2 - 3 = 1 + 1 = 2$ ,  $4^2 - 4 = 4 - 4 = 0$ ,  $5^2 - 5 = 5 - 5 = 0$ ,  $6^2 - 6 = 6 - 6 = 0$ ,  $7^2 - 7 = 5 + 7 = 2$  dir.

**Örnek 4.7.**  $R = \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$  kümesi aşağıdaki tablolardaki toplama ve çarpma işlemleri ile verilen bir yakın halkadır (Pilz, 1983).

+	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	0	5	6	7	4
2	2	3	0	1	6	7	4	5
3	3	0	1	2	7	4	5	6
4	4	7	6	5	0	3	2	1
5	5	4	7	6	1	0	3	2
6	6	5	4	7	2	1	0	3
7	7	6	5	4	3	2	1	0
.	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	1	0
2	0	2	0	2	0	2	2	0
3	0	3	0	3	0	3	3	0
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	4	5	4	5	4	5	5	4
6	4	6	4	6	4	6	6	4
7	4	7	4	7	4	7	7	4

$R$ ; Örnek 4.6’da olduğu gibi ilk işleme göre değişmeli olma özelliği sağlanmadığından halka değildir.  $2^2 = 0$  olduğundan  $\forall x \in R$  için  $x^2 = x$  sağlanmadığından  $(R, +, \cdot)$  Boole olmayan bir yakın halkadır. Ancak,  $P = \{0,1,2,3\} \triangleleft R$  bir Boole idealdir ( $x \in \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$  için  $0^2 - 0 = 0$ ,  $1^2 - 1 = 1 - 1 = 0$ ,  $2^2 - 2 = 0 + 2 = 2$ ,  $3^2 - 3 = 3 - 3 = 0$ ,  $4^2 - 4 = 4 - 4 = 0$ ,  $5^2 - 5 = 5 - 5 = 0$ ,  $6^2 - 6 = 6 - 6 = 0$ ,  $7^2 - 7 = 4 + 7 = 1$ ).

**Örnek 4.8.**  $(\mathbb{Z}_6, +)$  toplamsal grubu üzerinde aşağıdaki tablo ile verilen çarpma işlemi altında  $(\mathbb{Z}_6, +, \cdot)$  bir yakın halkadır (Sezgin vd., 2011).

.	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	3	1	5	3	1	5
2	0	2	4	0	2	4
3	3	3	3	3	3	3
4	0	4	2	0	4	2
5	3	5	1	3	5	1

Ancak,  $3.(4 + 2) = 3.0 = 3$  iken  $(3.4) + (3.2) = 3 + 3 = 0$  dir. Bu durumda, soldan dağılma özelliği sağlanmayıp  $(\mathbb{Z}_6, +, \cdot)$  nın bir halka olmadığı açıktır.  $R = (\mathbb{Z}_6, +, \cdot)$  bir Boole yakın halka değildir ancak  $P_1 = \{0,3\}$  ve  $P_2 = \{0,2,4\}$   $R$ ’nin iki ideali olmak üzere,  $P_1$

Boole ideal olmadığı halde  $P_2$  bir Boole idealdir. Gerçekten,  $\forall x \in R$  için  $x^2 - x \in P_2$  olduğundan ( $x \in \{0,1,2,3,4,5\}$  için  $0^2 - 0 = 0$ ,  $1^2 - 1 = 1 - 1 = 0$ ,  $2^2 - 2 = 4 + 4 = 2$ ,  $3^2 - 3 = 3 - 3 = 0$ ,  $4^2 - 4 = 4 - 4 = 0$ ,  $5^2 - 5 = 1 + 1 = 2$ )  $P_2$  bir Boole ideal iken  $x = 2$  için  $2^2 - 2 = 2 \notin P_1$  olduğundan  $P_1$  Boole ideal değildir.

**Örnek 4.9.**  $R, S_3$  simetrik grubu üzerinde aşağıdaki tablolar ile verilen toplama ve çarpma işlemleri altında bir yakın halka olsun (Pilz, 1983).

+	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	1	0	5	4	3	2
2	2	4	0	5	1	3
3	3	5	4	0	2	1
4	4	2	3	1	5	0
5	5	3	1	2	0	4
.	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	3	2	1	1
3	1	1	2	3	1	1
4	0	0	5	4	0	0
5	0	0	4	5	0	0

Burada,  $S_3 = \{e, (12), (13), (23), (123), (132)\}$  ve  $0 \rightarrow e, 1 \rightarrow (23), 2 \rightarrow (13), 3 \rightarrow (12), 4 \rightarrow (132), 5 \rightarrow (123)$  dir. İlk işleme göre değişme özelliği sağlanmadığından halka değildir.  $R$ ’nin idealleri  $P = \{0,4,5\}$  ve aşikar ideallerdir.  $4^2 = 0$  olduğundan  $R$  bir Boole yakın halka değildir ancak  $P = \{0,4,5\}$   $R$ ’nin bir Boole idealidir ( $x \in \{0,1,2,3,4,5\}$  için  $0^2 - 0 = 0$ ,  $1^2 - 1 = 1 - 1 = 0$ ,  $2^2 - 2 = 3 + 2 = 4$ ,  $3^2 - 3 = 3 - 3 = 0$ ,  $4^2 - 4 = 0 + 5 = 5$ ,  $5^2 - 5 = 0 + 4 = 4$ ).

Aşağıdaki önermeler ile yakın halkalarda Boole idealler ile  $IFP$  idealler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

**Önerme 4.10.**  $R$  bir yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun. Eğer  $P$ , Boole ideal ise  $IFP$  idealdir.

**İspat:**  $P, R$ ’nin bir Boole ideali ise bu durumda  $R/P$  bir Boole yakın halkadır. Önerme 3.7’den  $R/P$   $IFP$  yakın halkadır.  $R/P$   $IFP$  yakın halka ise,  $IFP$  ideal tanımından  $P$   $IFP$  idealdir.

Önerme 4.10'un tersi genelde doğru değildir. Yani, her *IFP* ideal bir Boole ideal değildir. Aşağıdaki örnek bunu gösterir.

**Örnek 4.11.**  $R = \{0,1,2,3\}$  Klein-4 grubu üzerinde, aşağıdaki tablolar ile verilen işlemler altında bir yakın halkadır (Pilz, 1983).

+	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	0	3	2
2	2	3	0	1
3	3	2	1	0

.	0	1	2	3
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	0	0	0	2
3	1	1	1	3

Ancak,  $3.(1+2) = 3.3 = 3$  iken  $(3.1) + (3.2) = 1 + 1 = 0$  olduğundan, soldan dağılıma özelliği sağlanmayıp  $(R, +, .)$  nın bir halka olmadığı açıktır.  $R$ 'nin idealleri  $\{0\}, \{0,1\}, \{0,2\}$  ve  $R$  dir. Burada,  $\{0,1\}$  ideali bir *IFP* idealdir ancak Boole ideal değildir. Gerçekten,  $x = 2$  için  $2^2 - 2 = 0 - 2 = 0 + 2 = 2 \notin \{0,1\}$  olduğundan  $\{0,1\}$  Boole ideal değildir.

**Sonuç 4.12.**  $R$  Boole yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun. Bu durumda  $P$ , *IFP* idealdir.

**İspat:**  $R$  bir Boole yakın halka ise Sonuç 4.5'den tüm idealleri Boole idealdir. Önerme 4.10'dan tüm idealleri *IFP*'dir.

**Önerme 4.13.**  $R$  bir yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun.  $P$ , Boole ideal ise aynı zamanda c-yarı asaldir.

**İspat:**  $a \in R$  için,  $a^2 \in P$  olsun.  $P$ , Boole ideal olduğundan  $a^2 - a \in P$ 'dir. Buradan,  $a^2 \in P$  olduğundan  $a \in P$  'dir. Böylece,  $P$  c-yarı asal idealdir.

**Sonuç 4.14.**  $R$  yakın halka ve  $P \triangleleft R$  olsun.  $P$ , Boole ideal ise aynı zamanda 3-yarı asaldir.

**İspat:**  $P$  Boole ideal ise Önerme 4.13'den  $P$  c-yarı asal idealdir. Üstelik Önerme 2.6'dan  $P$  c-yarı asal ideal ise 3-yarı asal idealdir.

**Önerme 4.15.**  $R$  bir Boole yakın halka olsun. Bu durumda,  $x \in R$  için,  $(0:x), R$ 'nin bir Boole idealidir.

**İspat:** Önerme 3.7'den  $R$  bir Boole yakın halka ise, bir *IFP* yakın halkadır. Üstelik  $R$  bir *IFP* yakın halka ise  $x \in R$  için  $(0:x) \triangleleft R$  'dir (Pilz, 1983). Bu durumda,  $(0:x)$ 'in  $R$ 'nin bir Boole ideali olduğunu göstermek için,  $a \in R$  olmak üzere  $a^2 - a \in (0:x)$  olduğu gösterilmelidir.  $R$  bir Boole yakın halka olduğundan  $a^2 - a = 0$  dir. Bu durumda  $x \in R$  için,  $(a^2 - a).x = 0$  olup  $a^2 - a \in (0:x)$  bulunur. Böylece,  $(0:x)$   $R$ 'nin bir Boole idealidir.

**Önerme 4.16.**  $R$ , bir Boole yakın halka olsun.  $S \subseteq R$  ise,  $(0:S)$   $R$ 'nin bir Boole idealidir.

**İspat:** Önerme 3.7'den  $R$ , bir Boole yakın halka ise  $R$ , aynı zamanda bir *IFP* yakın halkadır. Üstelik  $R$  bir *IFP* yakın halka ise  $S \subseteq R$  için  $(0:S) \triangleleft R$  'dir (Pilz, 1983).  $R$  Boole yakın halka olduğundan  $x \in R$  için,  $x^2 = x$  olup  $x^2 - x = 0$  'dir. Böylece  $S \subseteq R$  için,  $(x^2 - x).S = 0$  yani  $(x^2 - x) \in (0:S)$  dir.

## 5. Boole Halkadan Boole Yakın Halka Elde Etme Metodu

Son olarak, Clay ve Lawyer (1969) tarafından verilen yakın halka elde etme metodu sağ yakın halkalara uygulanarak birimli bir Boole halkadan Boole yakın halka elde edilmiştir. Boole halkalardan elde edilen bu yakın halkalara *özel Boole yakın halkalar* denir. Öncelikle bu yöntem verilmiştir.

$(B, +, \wedge)$  birimi "1" olan bir Boole halka ve  $a': a + 1$  olmak üzere  $a \vee b: (a' \wedge b)'$  ile tanımlansın.  $x \in B$  ise  $a, b \in B$  için,  $*_x$  işlemi  $a *_x b: a \wedge (b \vee x)$  olarak tanımlandığında  $(B, +, *_x)$  sağ değişmeli bir Boole yakın halkadır. Üstelik  $x = 0$ 'dır gerek ve yeter şart  $(B, +, *_x)$  bir Boole halkadır.

**İspat:**

**a)**  $(B, +)$ 'nin grup olduğu  $(B, +, \wedge)$  nın halka olmasından açıktır.

**b)**  $(B, *_x)$  bir yarı gruptur.,  $\forall a, b, c \in B$  için,

$$\begin{aligned} a *_x (b *_x c) &= a *_x [b \wedge (c \vee x)] \\ &= a \wedge \{ [b \wedge (c \vee x)] \vee x \} \\ &= a \wedge [(b \vee x) \wedge (c \vee x)] \\ &= [a \wedge (b \vee x)] \wedge (c \vee x) \\ &= [a \wedge (b \vee x)] *_x c \\ &= (a *_x b) *_x c \end{aligned}$$

olup  $(B, *_x)$  birleşmelidir.

c)  $(B, +, \wedge)$  halka olarak verildiğinden " $\wedge$ " işleminin " $+$ " işlemi üzerine dağılma özelliğinden,

$$\begin{aligned} (a + b) *_x c &= (a + b) \wedge (c \vee x) \\ &= [a \wedge (c \vee x)] + [b \wedge (c \vee x)] \\ &= (a *_x c) + (b *_x c) \end{aligned}$$

Böylece,  $(B, +, *_x)$  bir yakın halkadır. Üstelik  $a *_x a = a$  olduğundan bir Boole yakın halkadır. Ayrıca,

$$\begin{aligned} a *_x (b *_x c) &= a *_x [b \wedge (c \vee x)] \\ &= a \wedge \{[b \wedge (c \vee x)] \vee x\} \\ &= a \wedge (b \vee x) \wedge (c \vee x) \\ &= a \wedge (c \vee x) \wedge (b \vee x) \\ &= [a \wedge (c \vee x)] \wedge (b \vee x) \\ &= (a *_x c) *_x b \end{aligned}$$

olup sağ değişmelidir.

$x = 0$  olmadığı durumlarda halka değilken  $x = 0$  durumunda  $(B, +, *_x)$  aynı zamanda bir Boole halkadır. Halka olduğunu göstermek için soldan dağılmanın sağlandığını göstermek yeterlidir (ilk işleme göre değişme özelliği  $(B, +, \wedge)$  nin halka olarak verilmesinden sağlanır).

$$\begin{aligned} a *_x (b + c) &= a \wedge [(b + c) \vee 0] \\ &= a \wedge (b + c) \\ &= (a \wedge b) + (a \wedge c) \\ &= [a \wedge (b \vee 0)] + [a \wedge (c \vee 0)] \\ &= (a *_x b) + (a *_x c) \end{aligned}$$

Ancak,

$$a *_x (b + c) = a \wedge [(b + c) \vee x]$$

c)  $\forall A, B, C \in P(X)$  için,

$$\begin{aligned} (A\Delta B) *_Y C &= (A\Delta B) \cap (C \cup Y) \\ &= ((A\Delta B) \cap C) \cup ((A\Delta B) \cap Y) \\ &= ((A \cap C) \Delta (B \cap C)) \cup ((A \cap Y) \Delta (B \cap Y)) \\ &= [((A \cap C) \cup (B \cap C)) - ((A \cap C) \cap (B \cap C))] \\ &\quad \cup [((A \cap Y) \cup (B \cap Y)) - ((A \cap Y) \cap (B \cap Y))] \\ &= [((A \cup B) \cap C) - (A \cap B \cap C)] \cup [((A \cup B) \cap Y) - (A \cap B \cap Y)] \\ &= [((A \cup B) \cap C) \cap (A \cap B \cap C)'] \cup [((A \cup B) \cap Y) \cap (A \cap B \cap Y)'] \end{aligned}$$

Diğer taraftan,

$$\begin{aligned} (A *_Y C) \Delta (B *_Y C) &= (A \cap (C \cup Y)) \Delta (B \cap (C \cup Y)) \\ &= (A\Delta B) \cap (C \cup Y) \\ &= ((A\Delta B) \cap C) \cup ((A\Delta B) \cap Y) \end{aligned}$$

iken " $\vee$ " işleminin " $+$ " işlemi üzerine dağılma özelliği olup olmadığı bilinmediğinden,

$$\begin{aligned} (a *_x b) + (a *_x c) &= [a \wedge (b \vee x)] + [a \wedge (c \vee x)] \\ &= a \wedge [(b \vee x) + (c \vee x)] \\ &\neq a \wedge [(b + c) \vee x] \end{aligned}$$

Bu durumda  $x = 0$  olmadığı durumlarda  $(B, +, *_x)$  halka değildir.

**Örnek 5.1.**  $0 \neq X$  olmak üzere  $(P(X), \Delta, \cap)$  birimi  $X$  olan birimli ve değişmeli Boole halkası olmak üzere  $(P(X), \Delta, *_Y)$  bir sağ değişmeli Boole yakın halkadır. Üstelik  $Y = 0_{P(X)} = \emptyset$ 'dir gerek ve yeter şart  $(P(X), \Delta, *_Y)$  bir Boole halkadır.

Gerçekten,  $Y \in P(X)$  olmak üzere  $\forall A, B \in P(X)$  için,  $A *_Y B = A \cap (B \cup Y)$  ile tanımlanır. Burada  $A \cup B: (A' \cap B')'$  ve  $A': A\Delta X = (A - X) \cup (X - A) = \emptyset \cup A^t = A^t$  dir.

a)  $(P(X), \Delta)$ 'nin grup olduğu açıktır.

b)  $(P(X), *_Y)$  bir yarı gruptur. Gerçekten,  $\forall A, B, C \in P(X)$  için,  $A *_Y B = A \cap (B \cup Y) \in P(X)$  dir. Diğer taraftan,

$$\begin{aligned} (A *_Y B) *_Y C &= (A \cap (B \cup Y)) \cap (C \cup Y) \\ &= A \cap ((B \cup Y) \cap (C \cup Y)) \\ &= A \cap ((B \cup Y) \cap (C \cup Y \cup Y)) \\ &= A \cap ((B \cap (C \cup Y)) \cup Y) \\ &= A *_Y (B \cap (C \cup Y)) \\ &= A *_Y (B *_Y C) \end{aligned}$$

olup  $(P(X), *_Y)$  birleşmelidir.

$$\begin{aligned}
 &= ((A \cap C) \Delta (B \cap C)) \cup ((A \cap Y) \Delta (B \cap Y)) \\
 &= [((A \cap C) \cup (B \cap C)) - ((A \cap C) \cap (B \cap C))] \\
 &\cup [((A \cap Y) \cup (B \cap Y)) - ((A \cap Y) \cap (B \cap Y))] \\
 &= [((A \cup B) \cap C) \cap (A \cap B \cap C)'] \cup [((A \cup B) \cap Y) \cap (A \cap B \cap Y)']
 \end{aligned}$$

Buradan  $(P(X), \Delta, *_Y)$  bir yakın halkadır. Üstelik,  $A *_Y A = A \cap (A \cup Y) = (A \cap A) \cup (A \cap Y) = A \cup (A \cap Y) = A$  olduğundan  $(P(X), \Delta, *_Y)$  bir Boole yakın halkadır.  $\forall A \in P(X)$  için,  $A *_Y E = E *_Y A = A$  olacak şekilde  $E \in P(X)$  olmadığından birimli değildir. Üstelik  $A *_Y B = A \cap (B \cup Y)$  ve  $B *_Y A = B \cap (A \cup Y)$  olup değişmeli de değildir ancak sağ değişmelidir. Gerçekten,

$$\begin{aligned}
 A *_Y (B *_Y C) &= A *_Y (B \cap (C \cup Y)) \\
 &= A \cap [B \cap (C \cup Y) \cup Y] \\
 &= A \cap [(B \cup Y) \cap (C \cup Y)] \\
 &= A \cap ((C \cup Y) \cap ((B \cup Y) \cup Y)) \\
 &= A \cap ((C \cap (B \cup Y)) \cup Y) \\
 &= A *_Y (C \cap (B \cup Y)) \\
 &= A *_Y (C *_Y B)
 \end{aligned}$$

$Y = \emptyset$  için,  $A *_Y B = A \cap (B \cup Y) = A \cap B$  olduğundan  $(P(X), \Delta, *_Y)$  nin bir Boole halka olduğu kolaylıkla görülür.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, Boole yakın halka kavramı ideal yapısına genişletilerek Boole ideal tanımlanmıştır. Boole yakın halkaların tüm ideallerinin Boole ideal olduğu açıktır. Ayrıca, kendisi Boole olmadığı halde ideali Boole olabilen yakın halkaların olduğu örneklerle gösterilmiştir. Yine, Boole ideallerin literatürde önemli bir yer tutan IFP idealler ve asal idealler ile ilişkisi incelenmiştir. Üstelik Boole yakın halkaların sıfırlayan ideallerinin de Boole ideal olduğu ispatlanmıştır. Son olarak, Clay ve Lawyer (1969) tarafından verilen yakın halka elde etme metodu sağ yakın halkalara uygulanarak birimli bir Boole halkadan Boole yakın halka elde edilmiştir.

## 7. Kaynaklar

- Atagün, A. O., 2010. IFP ideals in near-rings, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 39, 1, 17-21.
- Birkenmeier, G. ve Heatherly, H., 1989. Medial near-rings, Monatshefte für Mathematik, 107, 2, 89-110.
- Booth, G. L. ve Groenewald, N. J., 1996.  $v$ -prime and  $v$ -semiprime near-rings, Mathematica Japonica, 43, 3, 425-430.
- Booth, G. L., Groenewald, N. J. ve Veldsman, S., 1990. A Kurosh- Amitsur prime radical for

near-rings, Communications in Algebra, 18, 9, 3111-3122.

Clay, J. R. ve Lawyer, D. A., 1969. Boolean near-rings, Canadian Mathematical Bulletin, 12, 265-273.

Dickson, L. E., 1905. Definitions of a group and a field by independent postulates, Transactions of the American Mathematical Society, 6, 2, 198-204.

Groenewald, N. J., 1991. Different prime ideals in near-rings, Communications in Algebra, 19, 10, 2667-2675.

Hansen, D. J. ve Luh, J., 1989. Boolean near-rings and weak commutativity, Journal of the Australian Mathematical Society Series A, 47, 103-107.

Holcombe, W. L. M., 1970, Primitive Near-rings. PhD Thesis, University of Leeds. Leeds, 153p.

Hungerford, T. W., 2003, Algebra, ed: S. Axler, F.W.Gehring, K.Ribet, Springer-Verlag, Newyork, 502p.

Juglal, S., Groenewald, N. J. ve Lee, E. K. S., 2010. Different prime R-ideals, Algebra Colloquium, 17, 887-904.

Pilz, G., 1983, Near-rings, North-Holland, Amsterdam, New York, Oxford, 470p.



Ramakotaiah, D. ve Rao, G. K., 1979. IFP near-rings, Journal of Australian Mathematical Society, 27, 3, 365-370.

Sezgin, A., Atagün, A. O. ve Aygün, E., 2011. A note on soft near-rings and idealistic soft near-rings, Filomat, 25, 1, 53-68.

Taşdemir, F., Atagün, A. O. ve Altındış, H., 2011. Equiprime N-ideals of monogenic N-

groups, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 40, 3, 375-382.

Taşdemir, F., Atagün, A. O. ve Altındış, H., 2013. Different prime N-ideals and IFP N-ideals, Indian Journal of Pure and Applied Mathematics, 44, 4, 527-542.

## Altıngözlü Böcekler Neden Antenlerini Kırarlar?

### Why Do Golden Eyed Lacewings (*Neuroptera: Chrysopidae*) Break Their Antennas?

Hakan BOZDOĞAN\*

Ahi Evran Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Teknik Bilimler MYO Kırşehir, 40100, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 08.09.2017

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 10.01.2018

• Kabul tarihi / Accepted: 19.01.2018

#### Sayın Editör,

Altıngözlü'ler olarak bilinen ve yine bu isimle literatüre kazandırılan Chrysopidae Familyası üyeleri, (*Neuroptera: Chrysopidae*) önemli predatör böceklerdir. Deniz seviyesinden başlayarak 2000 metreli yükselti basamaklarına kadar uzanan mikro ya da makro habitatlarda yaşam süren bu gizemli böcekler, aynı zamanda birer biyolojik mücadele ajanıdır. *Neuroptera* familyası üyeleri sadece tarımsal alanlarda değil ormanlık sahalarda, milli parklarda, süs bitkilerinde ve seralık alanlarda da etkinlik göstermekte ve yaşamlarının belirli dönemlerinde parazitoid olan farklı canlı gruplarını barınak ve yaşam alanı olarak kullanmaktadırlar. Chrysopidae Familyası üyelerinde başlıca dokunma ve koku almada görevli ve çoğunlukla filiform morfolojili bir çift anten bulunmaktadır. Chrysopidae'ler, *Neuroptera* takımının ikinci büyük familyası olmasının yanı sıra, takımın ekonomik olarak da en önemli familyası durumundadır. Bu familyanın larvaları ve bir kısım erginleri predatör olup, afit, koşnil, yaprak zararlısı, beyaz sinek, psillit, trips ve diğer yumuşak vücutlu eklembacaklıları avlayarak beslenirler. Bu nedenle familyanın bazı türleri, çeşitli tarım alanlarında pestisitlerle mücadelede biyolojik mücadele ajanı olarak başarıyla kullanılmaktadırlar. Bu yönüyle söz konusu takıma ait türlerin doğada korunması biyolojik mücadele için eşsiz önem arz etmektedir (Canard vd., 1984; Mc Ewen vd., 2001; Bozdoğan vd., 2012).

Sürdürmekte olduğumuz çalışmada, 22 farklı habitattan toplanan 437 kırık antenli altın gözlü familyası üyesi böceğin 89 tanesinin anten çiftinden sadece birisinin kırıldığı saptanmıştır. Kırık olan antenlerin 62 tanesinin sol anten, kalan 27 tanesinin ise sağ anten olduğu kaydedilmiştir.

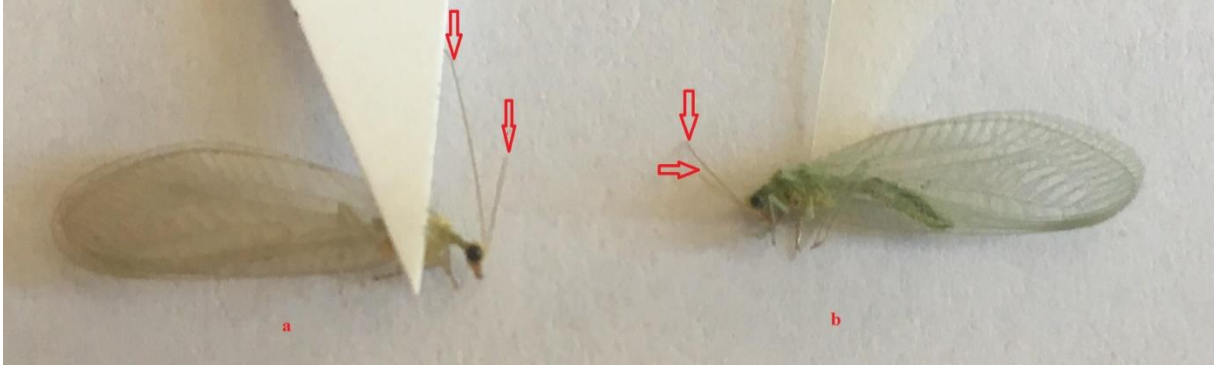
348 tanesinde ise her iki anten çiftinin de (sağ ve sol) kırıldığı gözlenmiştir. 3 farklı böcek yakalama metodu kullanılarak yürütülen bu çalışmada, böceklerin toplanma metodlarından kaynaklı kırılmalar çalışmaya yansıtılmamıştır. Böcekler, saklama kutularına yerleştirilirken anten çiftleri morfolojik gözlemden geçirilmiştir (Şekil 1).

Öte yandan 291 altıngözlü böcek, doğada toplanmadan fotoğraflanmıştır. Elde edilen fotoğraflar incelendiğinde 104 tanesinin (66 sol, 38 sağ) anten çiftlerinden sadece birisinin kırıldığı saptanmıştır. Tüm bu veriler ışığında, yanıt bekleyen sorular şunlardır:

1. Çoğunluğu larval dönemde predatör olan ergin altın gözlülerin acaba neden antenleri kırılır?
2. Anten kırılmasının trofik bir ağ örgüsü ya da mikro habitat ile direkt ilişkisi var mıdır?
3. Anten kırılması türe özgü kalıtım temelli olmayan bir görüngü müdür?
4. Antenler kırılğan yapıda olsa dahi neden sol anten çifti kırılmaya daha yatkındır?
5. Toplanan ya da fotoğraflanan altıngözlü böceklerin neden aynı konukçuda ve yine aynı mikrohabitatda yer alsada dahi anten kırılma düzey ve lokasyonları farklılıklar göstermektedir?

İçerisinde bizim çalışmamızın da yer aldığı ekolojik-morfoloji tabanlı saha çalışmaları, altıngözlü böceklerin anten morfolojisindeki farklılık ve değişimlere ekolojik bir tanı koyma gerekliliği oluştuğunda, sonuca ulaşmak uzun soluklu gözlem ve uğraş gerektirmektedir. O nedenle ki yukarıda listelenen tüm bu sorulara, çalışmamızdaki tekerrür sayısını çoğaltmak suretiyle yanıt aranacak ve elde edilen bulgular bilim dünyası ile paylaşılacaktır.

\* Hakan BOZDOĞAN; hakan.bozdogan@ahievran.edu.tr; Tel: (0551) 867 75 48; orcid.org/0000-0002-6836-4383



**Şekil 1.** (a) Kırık antenli Chrysofit türü (Neuroptera:Chrysopidae), kırılmış sol anten, (b) her iki kırılmış anten çifti.

### Kaynaklar

Bozdoğan, H., Bahadıroğlu, C. ve Toroğlu, S., 2012. Altıngözlü Böcekler (Neuroptera: Chrysopidae), Genel Özellikleri ve Biyolojik Mücadelede Önemi., Nevşehir Üniversitesi Fenbilimleri Enstitü Dergisi 1, 51-57.

Canard, M., Séméria, Y. ve New, T.R. (eds.). 1984. Biology of Chrysopidae. Dr W. Junk Publishers, The Hague, 294 pp.

McEwen, P.K., New, T.R. ve Whittington, A.E. (eds.). 2001. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press, Cambridge, 546 pp.

## 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir). Dergi **bilimsel ve hakemli** bir dergi olup, Ocak ve Temmuz aylarında olmak üzere yılda iki kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

## 2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili 2018'den itibaren olmak üzere Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda **üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir**.

## 3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili **tüm yazışmalarda** DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi **yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış** makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/gumusfenbil> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "**Gönderi Kontrol Listesi**"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "**Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu**" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "**Etik Kurul İzin Belgesi**"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

## 4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği bölüm editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30, tek bir kaynaktan ise %5 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili bölüm editörüne yönlendirilir.

Bölüm editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için bölüm editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletilir.

Değerlendirme sonucu kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu Form'un imzalanması ile yazarlar, makalenin "GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ" dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## 5. MAKALE TÜRLERİ

**Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:**

**5.1 Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. **Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40'ı aşmamalıdır.**

**5.2 Derlemeler:** Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. **Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır.** Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. **Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur.**

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

## 6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

• **Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları:** A4 formatında, en fazla 15 sayfa olmalıdır. Tüm kenarlardan 2 cm boşluk bırakılmalıdır.

• **Sayfa numaraları:** Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir. Sayfa numarası Times New Roman yazı tipinde ve 11 punto olmalıdır.

• **Satır numaraları:** Satır numaraları makalenin ilk sayfasından itibaren başlayarak ve “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, virgöl, noktalı virgöl vb.) sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır. Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (ilk satır girintisi veya Tab tuşu kullanılmamalıdır).

• **Makale başlığı (Türkçe ve İngilizce):** Sayfa başından 1 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Türkçe başlık Times New Roman, 14 punto, koyu, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Türkçe başlıktan sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Daha sonra İngilizce başlık Times New Roman, 13 punto, italik, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Başlıklarda yer alan her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalı, otomatik başlık stilleri kullanılmamalıdır.

• **Yazar adı veya adları:** İngilizce başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, unvan belirtilmeden, Adın ilk harfi büyük olacak şekilde tüm harfleri ve soyadın tamamı büyük harfle yazılmalıdır. Birden fazla yazarlarda aralarına virgöl konularak, Times New Roman, 11 punto, kalın ve sayfaya ortalanarak yazılmalıdır. Sorumlu yazar isminde üst simge yıldız sembolü olmalıdır.

• **Yazarın/ların adresi/leri ve ORCID bilgisi:** Yazar adının hemen altına boşluk bırakılmadan, Times New Roman, 10 punto ve *italik* olarak yazılmalıdır. Adresleri aynı olan yazarlar için tek adres, farklı yazar adresleri alt alta boşluk bırakılmadan yazılmalıdır. Yayında yer alan tüm yazarların ORCID bilgileri mutlaka verilmelidir.

• **İletişim yazarının bilgileri:** Unvansız Ad soyad, e-mail adresi, telefon numarası (Tel: (xxx) xxx xx xx.) aralarına virgöl konularak 1. sayfanın altına dipnot olarak, (\*) sembolü ile belirtilmelidir, Times New Roman, 10 punto ile yazılmalıdır.

• **Türkçe Öz:** Adres/ler den 2 satır boşluk bırakıldıktan sonra, **Öz** kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu** ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Özeti 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 özeti 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 özeti altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto ve tek satır aralıklı yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, “Anahtar kelimeler” yazısı **koyu**, verilen diğer kelimeler ise koyu olmadan yazılmalıdır. Her kelimenin ilk harfi büyük ve aralarına virgöl konularak verilmeli ve alfabetik sıralamaya uygun olarak sıralanmalıdır. “Keywords” kelimesi İngilizce özeti 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 virgöl kullanılmalıdır.

• **Kaynaklar:** Kaynaklar tez içerisinde “soyadı ve tarih sistemine” göre yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynak eserin yazımının bir satırdan daha uzun olması halinde ikinci satır ve diğer satırlar, **değinen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır).** **Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hizasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan ve altı çizili olarak yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

## 1- Metin içerisindeki referanslara atıfta bulunma

1.1. Cümle içerisinde atıf verilen yazar ismine değinildiği durumlarda yıl parantez içerisinde yazılmalıdır.

“Popüler bir çalışmada Harvey (1992) konu ile ilgili olarak .....”

“David ve Clifford’a (2003) göre ...”

“Matthews ve Jones (1997) yapmış oldukları çalışmalarda ...”

1.2. Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. Birden çok atıf verilmiş ise iki atıf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır.

“Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”

“Doğu Pontidler, ‘Kuzey Zon’ ve ‘Güney Zon’ olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

1.3. İki ve daha fazla atıf verilmiş ise sıralama yılı temel alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır.

“Eosen ve sonrası gelişmiş volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir (Adamia vd., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aslan, 2006; Aslan, 2010).”

1.4. Aynı yazarın birden fazla eserine atıf verilmiş ise, eserlerin yılı dikkate alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır.

“Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012a,b, 2013), Özdil Granitoyidi, Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2013, 2016) oluşturmaktadır.”

“Birkaç yazar tarafından tartışıldığı gibi (Smith, 1993, 2003; Brown, 1995; Smith ve Jones, 1997; Green, 2004)...”

1.5. Metin içerisinde yazarı belli olmayan internet kaynaklarına atıf yapılırken, büyük harflerle URL-sıra numarası (,), yıl şeklinde yazılmalıdır.

Örneğin: (URL-4, 2003), (URL 1 ve 2, 2003)

1.6. Kaynakların yazılması sırasında literatürde yaygın olarak bilinen periyodik dergilerin adları açık olarak yazılmalıdır.

Örneğin: *Mineralogy and Petrology*, *Journal of Geology and Mining Research*, *Journal of Food Engineering*, *Gondwana Research*.

## **2- Kaynaklar (Referanslar) Bölümünün Hazırlanması**

### **2.1. Ulusal ve Uluslararası Makaleler:**

Gücer, M.A., Arslan, M., Sherlock, S. ve Heaman, L.M., 2016. Permo-Carboniferous granitoids with Jurassic high temperature metamorphism in Central Pontides, Northern Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 110, 943-964.

Le Breton, N. ve Thompson, A.B., 1988. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 226-237.

Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E., 2017. Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7 (2), 236-267, doi: 10.17714/gumusfenbil.310263.

Kabul edilmiş ancak sayı almamış veya baskı aşamasındaki makaleler:



Çimen, O., Göncüoğlu, M.C., Simonetti, A. ve Sayit, K., 2017. Whole rock geochemistry, Zircon U-Pb and Hf isotope systematics of the Çangaldağ Pluton: Evidences for Middle Jurassic Continental Arc Magmatism in the Central Pontides, Turkey. *Lithos*, doi: 10.1016/j.lithos.2017.06.020.

Hoffman, H.J. ve Masson, M., 1994. Archean stromatolites from Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 106 (baskıda).

## 2.2. Kitaplar:

Hem, J.D., 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters: USGS Professional Paper, 2254, US Gov. Print. Office, 263p.

Postel, S., 2000. Son Vaha, Su Sıkıntısıyla Karşı Karşıya, (çev: F. Şebnem Sözer), TUBİTAK-TEMA VAKFI yayınları, ISBN 975-403-188-6, Ankara, 218s.

Twiss, R.J., ve Moores, E.M., 1992. Structural geology: New York, W.H. Freeman and Company, 532 p.

Burchfiel, B.C., Hodges, K.V. ve Royden, L.H., 1992. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt: Geological Society of America, Special Paper, 269, 41p.

## 2.3. Tezler:

Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.

Tezcan, L., 1993. Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

## 2.4. Raporlar:

Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118.

Baran, I. ve Kasperek, M., 1989. Marine Turtles of Turkey; Status Survey 1988 and Recommendations for Conservation and Management: WWF Report, Heidelberg, 123p.

IAEA, 1992. Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes, Technical Reports Series No.331, IAEA Vienna, 781p.

Akartuna, M., 1953. Çaycuma-Devrek Yenice-Kozcağz Bölgesinin Jeolojisi Hakkında Rapor: MTA Rap. No. 2059 (yayımlanmamış), Ankara.

Altun, İ.E., Şengün, M., Keskin, H., Akçaören, F., Sevin, M., Deveciler, E. ve Akat, M.U., 1990. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

## 2.5. Editörlü Kitaplar:

Zuber, A., 1986. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (Eds.), Elsevier, Amsterdam. pp. 1-59.

Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.

Aydın, M., Demir, O., Özçelik, Y., Terzioğlu, N. ve Satır, M., 1995. A geological revision of Inebolu, Devrekani, Ağlı and Küre areas: new observations in Paleotethys-Neotethys sedimentary successions, in: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.

Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies, in: Henderson, P. (Eds.), Rare earth element geochemistry. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, pp. 63-114.

Hippolyte, J.C., Müller, C., Kaymakçı, N., Sangu, E., 2010. Dating of the Black Sea basin: New Nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey), in: Stephenson, R.A., Kaymakci, N., Sosson, M., et al. (Eds). Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications 340, 113-136.

## **2.6. Bildiriler Kitabı:**

Sualtı Günleri-1999, Türkiye'de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akinoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

## **2.7. Bildiri Özeti:**

Tezcan, L., Gunay, G., Hotzl, H., Reichert, B. ve Solomon, K., 1997. Hydrogeology of the Kirkgozler Springs, Antalya, Turkey. International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Near East Technical University, Nicosia, North Cyprus. p.76.

Bayarı, C.S., Kurttaş, T. ve Tezcan, L., 1998b. Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar ve Üç Boyutlu Yerde Yoğunluk Ölçümleri. MTA Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildirileri, 2-6 Kasım 1998, Ankara, s.104-106.

Gücer, M.A. ve Aslan, Z., 2011. Evaluation of diagenesis and metamorphism relationship by using clay mineral indices in the Yoncalı (Üzümlü, Erzincan) area. International European Clay Conference, Antalya, Book of abstracts, s. 281.

Akaryalı, E., Aydınçakır, E., Atay, U., Gücer, M.A. ve Türk, E., 2015. Mass change calculation of hydrothermal alteration in Kaletaş-Söğütağlı area (Gümüşhane, NE Turkey). The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS), Prague, Abstracts, p. 232.

## **2.8. Tam Metni Basılı Bildiriler:**

Hamarat, S., Ülkenli, H. ve Türe, G., 1998. Türkiye kıyıları Aydıncık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

## **2.9. Aktüel Dergi ve Gazete Haberi:**

Corliss, Richard, 1993. Sept. 13, Pacific Overtures. Time 142(11), 68-70.

Feder, Barnaby J, 1993. December 18, For Job Seekers, a Toll-Free Gift of Expert Advice. New York Times 30 (late ed.).

## **2.10. İnternet Kaynakları:**

Başaran, A., Yıldırım, N. ve Gülal, Z. (2000, 14 Ekim). Depreme karşı nasıl bir bina yapmalı?  
Cumhuriyet Bilim Teknik, <http://bilimteknik.cumhuriyet.com.tr/~w/b08.-html>.

OCMIP, 2000., Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project, IGBP, Global, Analysis,  
Interpretation And Modeling Task Force, <Http://www.lpsl.jussieu.-fr/OCMIP>.

URL-1, [www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster](http://www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster). 05 Ağustos 2011.



- BALCIOĞLU H E., SAKİN R., DUMANAY A B., GÜN H.; Kompozit Levhalar için Ankastre-Tip Eğilmeli, Çok Numuneli Yorulma Test Makinesinin Geliştirilmesi / *Development of Fixed-End Type, multi-Sample Flexural Fatigue Test Systems for Composite Plates*.....1-17
- ARSLAN M., ERBİL N., MURATHAN Z T.; Ardahan ve Çevresinde Yabani Olarak Yetişen Gilaburu Meyve Ekstraktının Antimikrobiyal, Antioksidan ve Antimutajenik Aktivitelerinin Araştırılması / *Investigation of Antimicrobial, Antioxidant, and Antimutagenic Activities of Wild Guelder Rose Fruit Extract Grown in Ardahan and Its Surrounding Area*.....18-25
- ALVER E.; İyonotropik Jelleşme Yöntemi ile Hazırlanan Kitosan Nanopartiküllerde Hapsetme (Enkapsülasyon) ile Anyonik Boyaların Uzaklaştırılma ve Hapsedilen Boyanın Nanopartikülde Depolanma Etkinliğinin Araştırılması / *Investigation Removal Effectiveness of Anionic Dyes via Encapsulation in Chitosan Nanoparticles Prepared by Ionotropic Gelation Method and the Dye Storage Performance in Nanoparticles*.....26-37
- NACAR S., KANKAL M., HINIS M A.; Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği / *Estimation of Daily Streamflow Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)-A Case Study of Haldizen Stream*.....38-47
- SAPLIOĞLU K., DAHİR A O., KÜÇÜKERDEM T S.; Somaliland Bölgesi (Somali) Yağışlarının Trend Analizi / *Trend Analysis of Somaliland Region Precipitation, Somalia*.....48-62
- KANIK M., GÜROCAK Z.; Kazı Derinliğinin Püskürtme Beton Dayanımı Üzerindeki Etkisi: Sayısal Bir Yaklaşım / *Effect of Excavation Depth on Shotcrete Strength: A Numerical Approach*.....63-74
- İLKUÇAR M., KAYA A İ., ÇİFCİ A.; Mekanik Özelliklere Göre Ağaç Türlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini / *Predicting wood types in terms of mechanical properties using artificial neural networks*.....75-83
- SEZER V.; Metrobüs Şaft Torkunun Sınırlandırılmasına Yönelik Hibrit Güç Aktarma Yapısı ve Güç Yönetim Sistemi Tasarımı / *Design of Hybrid Power Transmission Architecture and Power Management Strategy for Metrobus Shaft Torque Limitation*.....84-95
- DEMİR G.; Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi / *Landslide Susceptibility Analysis by using GIS for Suşehri (Sivas)*.....96-112
- ACET T., ÖZCAN K.; Aslanpençesi (*Alchemilla ellenbergiana*) Ekstrelerinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi / *Determination of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Lady's Mantle (Alchemilla ellenbergiana) Extracts*.....113-121
- AYATA Ü., ÇAKICIER N.; ThermoWood Metoduna Göre Isıl İşlem Görmüş ve Su-Bazlı Vernikler Uygulanmış Ahşap Malzemeler Üzerinde Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Etkisine Karşı Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi / *Determination of Surface Roughness Against the Effect of Accelerated UV Aging on Water-Based Varnish Applied and Heat treated Wood Materials According to ThermoWood Method*.....122-134
- AKGÜN A.; Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği / *Landslide Susceptibility Analysis by Fuzzy Adaptive Resonance Theory (FuzzyART) Method: Tonya (Trabzon) Example*.....135-146
- ZEYBEKOĞLU U.; Bulanık C Ortalamalar Yöntemi ile Karadeniz Bölgesi Standart Süreli Yağış Şiddetlerinin Kümeleneşmesi / *Clustering of Standard Duration Rainfall Intensity of the Black Sea Region by Fuzzy C Means Method*.....147-154
- OLTULU M., ALTUN M G.; Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar / *The Drop Weight Test Method to Determine Impact Strength of Concrete and A Review of Research*.....155-163
- TAŞ M., TAŞDEMİR F.; Boole Yakın Halkalar ve Boole İdealler / *Boolean Near Rings and Boolean Ideals*.....164-172
- BOZDOĞAN H.; Altıngözlü Böcekler Neden Antenlerini Kırarlar?! / *Why Do Golden Eyed Lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) Break Their Antennas?*.....173-174