



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

ISSN 2146 - 538X

CİLT / VOLUME: 9

SAYI / ISSUE : 2

YIL / YEAR : 2019

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

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



EBS CO



ULAKBİM TR DİZİN



*Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**  
*Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute*  
Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 2 Yıl/Year: 2019  
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*  
**ISSN 2146-538X**



**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına

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

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

*Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editör / Executive Editor**

*Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*

*Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR*

*Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Dr. Öğr. Üyesi Bülent AKAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL*

*Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA*

*Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER*

*Dr. Öğr. Üyesi Melih OKCU*

*Dr. Öğr. Üyesi Talat ÖZDEN*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*

*Arş. Gör. İlker ERKAN*

*Arş. Gör. Ömer KARPUZ*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 04 / 2019**

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



Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute

Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 2 Yıl/Year: 2019

Üç ayda bir yayımlanır/ Published four times a year

ISSN 2146-538X



Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

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

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

- Tayyibe Beyza YÜCEL  
Seda FANDAKLI  
Salih TERZİOĞLU  
Nurettin YAYLI
- Caltha palustris* L. Bitkisinin Çiçek ve Yaprak Kısmının Uçucu Yağlarının Kimyasal Bileşimi ve Antimikrobiyal Aktiviteleri** **189**  
*Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil From the Flower and Leaf of Caltha palustris L.*
- Ümit YILDIRIM  
Mehmet ATÇEKEN
- Bir Normal Hemen Hemen Parakontakt Metrik Manifoldun Quasi-Konformal Eğrilik Tensörü Üzerine** **196**  
*On the Quasi-Conformal Curvature Tensor of a Normal Almost Paracontact Metric Manifold*
- M. M. Fatih KARAHAN  
Beyza BOSTANCI
- Gergin Elastik Tele Bağlı Kütlelin Doğrusal Olmayan Salınımının Yaklaşık Çözümleri** **207**  
*Approximate Solutions of Nonlinear Oscillation of a Mass Attached to a Stretched Elastic Wire*
- Mehmet AKKAŞ  
K. Mohamed EM AKRA  
Tayfun ÇETİN  
Mustafa BOZ
- Gaz Atomizasyon Yöntemi ile AZ31 Mg Tozu Üretiminde Gaz Basıncının Etkisinin Araştırılması** **215**  
*Investigation of the Effect of Gas Pressure on AZ31 Mg Powder Production by Gas Atomization Method*
- Serkan BIYIK
- Cu25W Kompozit Tozunun Bilyeli Öğütme Yöntemiyle Üretimine Farklı İşlem Kontrol Katkılarının Etkisinin İncelenmesi** **222**  
*Investigation of the Effect of Different Process Control Agents on the Production of Cu25W Composite Powder via Ball Milling Technique*
- Erkan KIRIŞ
- Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Karayemiş Bitkisinin (*Prunus laurocerasus* L.) Meyve ve Toprak Örneklerinin Radyolojik Değerlendirilmesi** **229**  
*Radiological Evaluation of fruit and soil samples of Cherry Laurel Plant (*Prunus laurocerasus* L.) Growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey*
- Nuray GÜLOĞLU  
Etem OSMAN  
Eda TÜRKÖĞLU  
Müjgen ELVEREN
- Acetaminophen (Parasetamol) ve Gemfibrozil'in Farklı Buğday Varyetelerinin Mineral Alımı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> İçeriği Üzerine Etkileri** **239**  
*Effects of Acetaminophen (Paracetamol) and Gemfibrozil on Mineral Uptake and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Content of Different Wheat Varieties*
- Mahmut KILIÇ
- Soğuk Şekil Verilmiş Bükümlü Çeliklerin Tek Eksenli Basınç Davranışı** **247**  
*The Uniaxial Compressive Behavior of Corrugated Cold Formed Steel Members*
- Hacer GÜMÜŞ
- Nikotinamid İçeren Çinko (II) Kompleksinin Moleküler Özellikleri ve Titreşim Spektrumu** **254**  
*Molecular Properties and Vibrational Spectra of Zinc (II) Complex with Nicotinamide*
- Fatih DEŞİK  
İlker USTABAŞ
- Kireçtaşı Kökenli Kırma Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi** **262**  
*The Effects of the Ratio of Fine Materials in Limestone Crushed Sand on Consistency and Strength of Concrete*
- Ayberk KAYA
- Yamaç Duraylılığı Araştırmalarında 2D ve 3D FEM-SSR Yöntemlerinin Uygulanması: Borçka (Artvin) Yöresinden Örnek Bir Çalışma** **272**  
*Application of the 2D and 3D FEM-SSR Methods in Slope Stability Investigations: A Case Study from Borçka (Artvin) Region*
- Tuncay DİKİCİ
- Nikel-Kobalt (Ni-Co) Alaşımın Kaplamalarda Co Miktarının Mikroyapıya Etkisi** **284**  
*The Effect of Co Content on The Microstructure of Nickel-Cobalt (Ni-Co) Alloy Coatings*
- Meltem SERTBAŞ
- Birinci Mertebeden Düzgün Katsayılı Maksimal Hiponormal Operatör Genişlemeleri** **290**  
*Maximal Hyponormal Operator Extensions of First-order with Smooth Coefficients*
- Berat KARAAGAC
- The B-spline Collocation Approach for Coupled Klein-Gordon Equation** **295**  
*İkili Klein-Gordon Denklemi İçin B-spline Kollokasyon Yaklaşımı*



İmdat İŞCAN Cuma ALTUNSOY Mahir KADAKAL	<b>Some New Inequalities for Lipschitz Functions via a Functional</b> <i>Bir Fonksiyonel yardımı ile Lipschitz Fonksiyonları için Bazı Yeni Eşitsizlikler</i>	<b>301</b>
Utku KÖKTAN Gökhan DEMİR M. Kerem ERTEK	<b>Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi</b> <i>Investigation of The Effect of Changes In Ground Water Level On The Seismic Behaviour of A Cantilever Retaining Wall</i>	<b>307</b>
Murat KANKAL Fatma AKÇAY	<b>Trabzon İli Yağışlarının Eğilim Analizi</b> <i>Trend Analyses of Precipitation of Trabzon Province, Northeastern Turkey</i>	<b>318</b>
Elif GEÇER İlknur ŞENTÜRK Hanife BÜYÜKGÜNGÖR	<b>Yeşil Bina Tasarımında Su ve Enerji Yönetimi Üzerine Uygulama Örneği</b> <i>Example of Application on Water and Energy Management in Green Building Design</i>	<b>332</b>
Gül Deniz ÇAYLI	<b>Uninorms Having An Identity and An Annihilator on Bounded Lattices</b> <i>Sınırlı Kafesler Üzerinde Bir Birime ve Bir Sıfırlayana Sahip Uninormlar</i>	<b>344</b>
Süleyman TOY Dilara Büşra KAYIP Savaş ÇAĞLAK	<b>Eskişehir’de (biyo)İklim Duyarlı Kentsel Tasarım Örneği</b> <i>A (bio)Climate Sensitive Urban Design Example inThe City of Eskişehir</i>	<b>353</b>
Kaan KALTALIOĞLU Mustafa KARAKÖSE Hüseyin ŞAHİN Ersan BEKTAŞ Kadriye İNAN BEKTAŞ	<b>Gümüşhane İlinde Yayılış Gösteren Bazı Tıbbi Bitkilerin Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve RP-HPLC-DAD ile Fenolik Bileşenlerinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Phenolics Compounds by RP-HPLC-DAD of Some Medicinal Plants from Gümüşhane (Turkey)</i>	<b>362</b>

---

## *Caltha palustris* L. Bitkisinin Çiçek ve Yaprak Kısımının Uçucu Yağlarının Kimyasal Bileşimi ve Antimikrobiyal Aktiviteleri

*Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil From the Flower and Leaf of Caltha palustris* L.

Tayyibe Beyza YÜCEL\*<sup>1,a</sup>, Seda FANDAKLI<sup>2,b</sup>, Salih TERZİOĞLU<sup>3,c</sup>, Nurettin YAYLI<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Espiye Meslek Yüksekokulu, 28600, Giresun

<sup>2</sup>Avrasya Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 61000, Trabzon

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği, 61080, Trabzon

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 28.02.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 25.07.2018

### Öz

*Caltha palustris* L. (Ranunculaceae) bitkisinin çiçek ve yaprak kısımlarının uçucu yağları Clevenger aparatlı subuharı destilasyonu yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen uçucu yağların kimyasal bileşenleri, GC-FID ve GC-MS teknikleriyle aydınlatılmıştır. *C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısımlarının uçucu yağlarında sırasıyla; toplam 52 ve 36 bileşik bulunmuş olup; sırasıyla %95.34 ve %82.4'lük kısımları aydınlatılmıştır. Çiçek kısmının uçucu yağının başlıca bileşenleri; oktadekanol (%25.40), fitol (%18.56), octanol (%9.01), neofitadien (%3.65), alkol (%36.30) ve terpenoit (%22.62) bileşiklerden oluştuğu; yaprak kısmının uçucu yağ analizinde ise heptadekan (%10.05), fitol (%8.94), oktadekanol (%6.3), heneikosan (%3.03), (E)- $\beta$ -farnesan (%1.34) gibi ağırlıklı olarak hidrokarbon (%30.89) ve terpenoit (%14.59) bileşiklerden oluştuğu tespit edilmiştir. *C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısımlarından elde edilen uçucu yağların antimikrobiyal aktiviteleri, 8 adet Gram pozitif ve Gram negatif bakteri ve mantarlara karşı araştırılmıştır. Uçucu yağların, *Candida albicans* ve *Saccharomyces cerevisiae*'ya (8-14mm) karşı antimikotik aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal aktivite, *Caltha palustris*, GC-FID/MS, Uçucu yağ

### Abstract

The essential oils from flower and leaf of *Caltha palustris* L. were obtained by hydrodistillation with Clevenger-type apparatus and analyzed by GC-FID and GC-MS. Fifty-two compounds in the oil resulted from flower of *C. palustris*, representing 95.34% and thirty-six compounds in the oil obtained from leaf of *C. palustris*, representing 82.4%, were identified. The main components of the volatile oil of the flower part are octadecanol (25.40%), phytol (18.56%), octanol (9.01%) and neophytadien (3.65%) which are alcohols (36.30%) and terpenoids (22.62%) type compounds. It was found that the volatile oil of the leaf part consisted predominantly of hydrocarbons (30.89%) and terpenoid (14.59%) compounds such as heptadecane (10.05%), phytol (8.94%), octadecanol (6.3%), heneicosane (3.03%) and (E)- $\beta$ -farnesane (1.34%) were major constituents. The antimicrobial activities of the essential oils obtained from flower and leaf parts of *C. palustris* plant were investigated against 8 Gram positive and Gram-negative bacteria and fungi. It has been determined that essential oils have antimycotic activity against *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae* (8-14 mm), respectively.

**Keywords:** Antimicrobial activity, *Caltha palustris*, GC-FID/MS, Essential oil

\*a Tayyibe Beyza YÜCEL; beyza.yucel@giresun.edu.tr; Tel: (0454) 310 14 30-6410; orcid.org/0000-0002-2632-8325

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-8199-3336

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-4146-3514

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0003-4174-3014

## 1. Giriş

Ülkemizde otsu ve tırmanıcı odunsu taksonlara sahip olan Ranunculaceae familyası 20 cinse ait toplam 204 türle (Davis, 1965; Güner vd., 2012) Türkiye florasının en geniş familyalarından biridir. *Caltha* L. (Lilpar) cinsi dünyada 6 türe sahiptir (URL-1). Cins, ülkemizde sadece *Caltha palustris* L. Türü ile temsil edilmekte; Batı, Doğu Karadeniz Bölümleri, Orta Kızılırmak Bölümü ve Doğu Anadolu Bölgemizde, ıslak çayırlar ve akarsu kenarlarında, 1700-3600 m yükseltilerde yayılış göstermektedir (Güner vd., 2012). *C. palustris* dünyada ise Bulgaristan, Kafkaslar ile Kuzey ve Kuzeybatı İran'da doğal olarak yayılmaktadır (Davis, 1965).

*C. palustris* fenolik, alkaloid ve siyanogenik bileşikler bakımından zengin olup antispazmodik ve sakinleştirici olarak kullanılmaktadır (Figurkin vd., 1978; Resursy, 1980; Dickmann vd., 1982; Baytop, 1984; Ellnain-Wojtaszek vd., 1991; Ali vd., 2011). Bileşiminde protoanemanin, glavonoids, tanen, saponin içermekte olup protoanemaninden kaynaklı kuvvetli zehir etkisi göstermesinden dolayı dahilen kullanılması sakıncalıdır (Birinci, 2008; Wink, 2009). Ayrıca 6 farklı viral hastalık tedavisinde kullanılan antioksidan aktiviteye sahip triterpen saponinler; *C. palustris* bitkisinde bulunmaktadır (Smith Jr., 1968; Vugalter vd., 1988; Roner vd., 2007; Küçükçurt ve Fidan, 2008).

Yapılan literatür araştırmasında *Caltha palustris* kök korteksi gelişimi ve yapısı, stres altındaki marş-marigold'da (*C. palustris*) protoanemonin birikiminin HPLC ile tayini, *C. palustris* L.'nin Ramet dağılımı, yaprak morfometrisi ve elementel bileşimi çalışmaları, çevresel kirlilik göstergelerine ait çalışmalar ve Türkiye'de bulunan faydalı bitkiler ve içeriklerinin tayinine ait çalışmalar ve bitki içeriğindeki glikozidlerin ve triterpen saponin tayinlerine dair çalışmalara rastlanmıştır (Bhandari vd., 1984; Bonora vd., 1987a,b; Toth vd., 1999; Baykal vd., 1999; Seago Jr vd., 2000; Ekmekçigil, 2006; Van der Welle vd., 2007; Birinci, 2008; Suszko and Obminska-Mrukowiez., 2013).

*C. palustris* bitkisinin çiçekteki erkek organ (anter) kısmının uçucu bileşenleri termal desepsiyon GC-MS yöntemine göre yapılmıştır (Jürgens ve Dötterl, 2004). Bunun yanında *C. palustris* var. *alba* bitkisinin çözücü ekstraktlarının biyolojik aktivite tayin çalışmasının yapıldığı görülmüştür (Mubashir vd., 2014). Fakat Türkiye'de yetişen *C. palustris* bitkisinin çiçek ve

yaprak kısımlarının uçucu yağ analizi ve antimikrobiyal aktivite tayinine ait, literatürde herhangi çalışmaya rastlanmamıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Bitki Numunesi

Çalışma materyali olan ve *C. palustris* L. türüne ait örnekler Gümüşhane ili, Zigana yöresi, Limni Gölü üstleri, 2042 m, UTM 50 DATUM (0535364, 4496258), nemli çayırlar-akarsu kenarlarından 2015 yılı Mayıs ayında toplanmıştır ve toplanan örnekler için herbaryum materyali Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Herbaryumu (KATO 16796)'na konmuştur.

#### 2.1.1. Uçucu Yağ Ekstraksiyon İşlemi

Toplanan *C. palustris* bitkisi taze iken çiçek, yaprak kısımları ayrıldı. Toplanan bitkinin çiçek (110 g) ve yaprak (100 g) kısmı alınarak, 1L'lik destilasyon balonuna konuldu ve üzerine 500 mL saf su ilave edildi. Clevenger tip geri soğutucu aparatına bağlı su buharı destilasyonu sistemine bağlı soğutma banyosu ile -15 °C'ye soğutulan sistemle, bitkinin çiçek ve yaprak kısımları 4 saat ısıtılarak uçucu bileşenler destilasyon ile ayrıldı ve uçucu yağlar; HPLC saflıktaki 1mL *n*-hekzan çözücüsüyle beraber alınarak kahverengi viallere konuldu. Susuz Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile suyu uzaklaştırılan uçucu yağlar, kalitatif ve kantitatif analiz için GC/MS- GC/FID ve biyolojik aktivite tayini için 4-6 °C'de saklandı (Yaylı vd., 2010; Fancelloa vd., 2017).

#### 2.1.2. Uçucu Yağ Ekstraksiyon İşlemi

*C. palustris* bitkisi çiçek ve yaprak kısımlarından elde edilen uçucu yağ ekstraktlarının GC/FID ve GC/MS analizleri, Agilent-5973 Network Sistem marka cihaz ile literatürde gösterildiği gibi yapılmıştır (Üçüncü vd., 2016; Yücel vd., 2017).

#### 2.1.3. Bileşenlerin Tanımlanması

GC/FID ve GC/MS cihazında tayin edilen bileşenlerin tutunma indeksleri Kovats yöntemi belirlenmiş olup standartlar bileşikler olarak *n*-alkanlar (C<sub>6</sub>-C<sub>32</sub>) kullanılmıştır. Uçucu yağların kimyasal bileşenleri, bileşenlerin kütle spektrumları ile kütle spektrumu kütüphaneleri olan NIST, Wiley [NIST Chemistry Webbook] ve standart bileşikler (limonen, linalool, α-terpineol, geraniol, tridekan, tetradekan, pentadekan, nonadekan, eikosan, heneikosan) kullanarak ve literatürdeki kütle spektrumları ile karşılaştırılarak

belirlenmiştir (Adams 2004; Radulovi'c vd., 2008, Tyagi vd., 2017; Fancello vd.,2017).

#### 2.1.4. Antimikrobiyal Aktivite Belirlenmesi

Elde edilen uçucu yağların antimikrobiyal aktivite testleri için kullanılan test mikroorganizmalar *Escherichia coli* ATCC35218, *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC911, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC43288, *Enterococcus faecalis* ATCC29212, *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Bacillus cereus* 709 Roma, *Candida albicans* ATCC60193 ve *Saccharomyces cerevisiae*) RSKK 251 olup Refik Saydam Hıfzısıhha Enstitüsünden temin edilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testleri çift mikrodilüsyon metodu kullanılmış ve inhibisyon zon çapları (mm) belirlenmiştir. Uçucu yağ ekstraktları tartılarak hekzan ile çözülmüş ve 27.000-65.000 µg/mL özüt stok solüsyonu hazırlanmıştır. Antibakteriyel ve antifungal testler sırasıyla pH 7.0'de Mueller-Hinton (MH) (Difco, Detroit, MI) ve pH 7.0'de tamponlanmış Maya Azot Bazında (Difco, Detroit, MI) yürütülmüştür. Mikro seyreltme test plakaları 18-24 saat boyunca 35 °C'de inkübe edilmiştir. Standart antibakteriyel ve antifungal ilaç olarak ampisilin (10 µg) ve flukonazol (5 µg) kullanılmıştır (Cansu vd., 2011).

Kontrol çözücüsü olarak 1:10 oranında seyreltilmiş Dimetilsülfoksit kullanılmıştır.

#### 3. Bulgu, Sonuç ve Tartışma

Taze halde çalışılan *C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısımlarının subuharı destilasyonu yöntemi ile ekstraksiyon işlemi sonucunda sırasıyla; %0.017 ve %0.015 verimle 18.7 mg ve 14.9 mg uçucu yağ elde edildi. *C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısmının uçucu yağlarının GC/MS analiz sonuçları Tablo 1'de verilmekte olup sırasıyla; 52 ve 34 uçucu organik bileşik %95.34 ve %82.4 oranında aydınlatılmıştır.

Uçucu yağ içeriğindeki aydınlatılan bileşikler terpenler, terpenoidler, terpenoid benzeri bileşikler, hidrokarbonlar, alkoller ve diğer bileşikler olmak üzere 6 sınıfta gruplandırılmıştır (Tablo 2). Çiçek kısmında ana bileşen sınıfı %36.30 oranıyla alkoller, yaprak kısmında ise %30.89 oranında hidrokarbonlar olarak bulunmuştur. Çiçek kısmının uçucu yağının ana bileşenleri oktadekanol (%25.40), fitol (%18.56) ve oktanol (%9.01), yaprak kısmında ana bileşenleri ise heptadekan (%10.05), fitol (%8.94) ve oktadekanol (%6.3) olarak bulunmuştur.

**Tablo 1.** *C. palustris* Bitkisinin Çiçek ve Yaprak Kısmının Uçucu Yağ Bileşenleri

No	Alık. Zam.	Bileşiğin Adı	Çiçek % Alan	Yaprak % Alan	Literatür RI	Deneysel RI
<i>Terpenler</i>						
1	7.146	$\alpha$ -Terpinen	0.74	-	1017	1020
2	7.377	<i>o</i> -Simen	0.66	-	1026	1030
3	7.548	Limonen	0.59	-	1029	1033
4	8.285	( <i>E</i> )- $\beta$ -Osimen	0.17	-	1050	1054
5	8.628	$\gamma$ -Terpinen	0.57	-	1060	1064
6	9.864	$\alpha$ -Terpinolen	1.18	-	1089	1093
7	22.214	Farnesan	-	0.76	1378	1381
8	25.895	( <i>E</i> )- $\beta$ -Farnesen	-	1.34	1457	1460
9	24.037	$\alpha$ -Santalen	0.21	-	1418	1422
10	24.766	$\alpha$ - <i>Cis</i> -Bergamoten	0.36	-	1435	1439
11	27.993	( <i>E,E</i> )- $\alpha$ -Farnesen	0.25	-	1506	1512
12	47.732	Abietadien	-	0.33	2057	2056
13	52.923	Neofitadien	3.65	0.33	2218	2224
<i>Terpenoidler</i>						
14	6.863	<i>Cis</i> -Dihidroksi Linalool oksit	0.23	0.91	1008	1011
15	9.161	<i>Cis</i> -Linalool oksit	-	0.51	1087	1087
16	9.827	<i>trans</i> -Linalool oksit	-	0.75	1092	1094
17	10.461	Linalool	1.15	-	1097	1111
18	12.773	Pinokarvon	0.47	-	1165	1168
19	13.071	Borneol	0.36	-	1169	1174
20	13.541	Terpinen-4-ol	0.78	-	1177	1184



Tablo 1'in devamı

No	Alık. Zam.	Bileşiğin Adı	Çiçek % Alan	Yaprak % Alan	Literatür RI	DeneySEL RI
21	14.240	$\alpha$ -Terpineol	0.44	-	1189	1195
22	30.287	(E)-Nerolidol	0.63	1.1	1563	1570
23	32.760	$\alpha$ -Bisabolol	-	2.38	1686	1686
24	49.651	Fitol	18.56	8.94	2117	2125
<i>Terpenoid benzeri bileşikler</i>						
25	22.566	(E)- $\beta$ -Damaskonen	0.33	1.1	1385	1388
26	24.459	(E)- $\beta$ -Ionen	0.30	0.65	1430	1433
27	40.816	Hekzahidrofarnesil aseton	0.57	0.96	1848	1852
<i>Hidrokarbonlar</i>						
28	4.743	Nonane	-	2.94	900	896
29	5.870	(4,4)-Dimetil-2-penten	-	2.77	963	966
30	6.595	Dekan	0.35	-	1000	1002
31	10.224	Undekan	-	1.34	1100	1104
32	14.465	Dodekan	0.41	0.95	1200	1203
33	18.891	Tridekan	0.1	1.68	1300	1304
34	23.299	Tetradekan	0.43	1.22	1400	1403
35	27.501	Pentadekan	-	0.94	1500	1499
36	31.559	Hekzadekan	0.54	0.51	1600	1598
37	34.765	Heptadekan	1.24	10.05	1700	1701
38	36.420	(1,1,1-) Siklobüten, bis (1,2) diil-Benzen	-	2.88	1788	1784
39	39.125	Oktadekan	0.24	-	1800	1803
40	42.683	Nonadekan	0.98	-	1900	1902
41	46.050	Eikosan	0.83	-	2000	2004
42	49.227	Heneikosan	-	3.03	2100	2102
43	52.367	Dokosan	1.05	-	2200	2203
44	55.146	Trikosan	5.67	0.92	2300	2305
45	58.136	Tetrakosan	1.29	-	2400	2400
46	60.976	Pentakosan	3.39	1.66	2500	2501
<i>Alkoller</i>						
47	9.525	Oktanol	9.01	-	1068	1073
48	34.530	Tetradekanol	1.57	0.97	1673	1675
49	36.055	(E)-2-Tetradesen-1-ol	0.32	2.30	1713	1720
50	47.499	Oktadekanol	25.40	6.3	2078	2065
51	54.373	Eikosanol	-	5.17		
<i>Diğer bileşikler</i>						
52	6.666	Oktanal	0.43	-	999	1004
53	18.230	Edulan-I hidro	0.82	3.78	1289	1290
54	18.736	Undekanon	0.20	-	1294	1300
55	19.307	Undekanal	0.31	-	1310	1314
56	23.753	Dodekanal	0.28	-	1409	1415
57	27.511	2-Tridekanon	2.72	-	1496	1502
58	28.085	Tridekanal	0.47	0.97	1510	1516
59	28.634	Metil laurat	0.62	-	1526	1528
60	32.154	Tetradekanal	0.48	0.51	1613	1620
61	36.466	Metiltetradekanoat	0.67	8.04	1724	1727
62	40.169	Siklopentadekanolit	0.51		1834	1834
63	42.620	Etil linoleat	-	2.05	1891	1895
64	43.630	Metil hekzaadekanoat	0.94	1.36	1922	1925
65	50.256	Metil oktadekanoat	0.86	-	2125	2127
66	52.704	Oktadekanol asetat	1.01	-	2210	2215
		Toplam	%95.34	%82.4		

Literatürde *C. palustris* bitkisinin çiçek kısmındaki erkek organ kısmının termal desopsiyon GC-MS analizi yapılmış olup 39 adet uçucu bileşen aydınlatıldığı rapor edilmiştir (Andreas vd., 2004) ve uçucu ana bileşenleri; seskiterpenoit (%47.4), yağ asidi (%27.1) ve monoterpenoit (%23.0) olarak tespit edilmiştir (Jürgens ve Dötterl, 2004).

Yapılan çalışmada *C. palustris* bitkisinin çiçek kısmındaki erkek organ kısmının uçucu bileşenlerin eldesi ve aydınlatma yöntemlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir ve çiçek kısmının ana bileşenlerinin alkol (%36.30), terpenoid (%22.60) ve hidrokarbon (%16.52) sınıfı bileşikler olduğu bulunmuştur. Terpenoit bileşiklerden en fazla diterpenoit (%18.56) ve monoterpenoit (%3.43) bulunmuştur; literatürde-

ki çalışmada ise seskiterpenoit (%47.4) ve monoterpenoit (%23.0) bileşikleri farklı oranlarda tespit edilmiştir. Yöntem farklılığı ve bitkinin toplanma yeri açısından çalışmalar arasında oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. Çiçek kısımların uçucu yağ bileşimleri karşılaştırıldığında terpen ve terpenoid sınıfı bileşiklerden; cis-linalool oksit (%0.09),  $\alpha$ -santalen (%0.25),  $\alpha$ -bergamaton (%0.36), (E,E)- $\alpha$  farnesene (%0.25), yağ asidi esteri bileşikleri, octanal (%0.043), dodecanal (%0.28), hegzadekan (%0.55) bileşiklerinin iki çalışmada da tespit edildiği fakat uçucu yağların genel bileşimleri ve bileşen sınıfları açısından birbirinden büyük oranda farklılık gösterdiği görülmektedir. Literatürde *C. palustris* bitkisinin yaprak kısmının uçucu yağ bileşimine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

**Tablo 2.** *C. palustris* Çiçek ve Yaprak Kısımlarının Uçucu Yağ Bileşen Sınıfları

Bileşikler	Çiçek			Yaprak		
	%Alan	Sayı	Ana Bileşik	%Alan	Sayı	Ana Bileşik
Terpenler	8.38	10	Neofitadien	2.76	4	(E)- $\beta$ -Farnesan
Terpenoidler	22.62	8	Fitol	14.59	6	Fitol
Terpenoid benzeri bileşikler	1.2	3	Hekzahidrofarneasil aseton	2.71	3	(E)- $\beta$ -Damaskonen
Hidrokarbonlar	16.52	13	Trikosan	30.89	13	Heptadekan
Alkoller	36.30	4	Oktadekanol	14.74	4	Oktadekanol
Diğer bileşikler	10.32	14	2-Tridekanon	16.71	6	Metil tetradekanoat
Total	%95.34	52		%82.4	36	

*C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısmının uçucu yağ ekstraktlarının seçilen 8 adet mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktivite test sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testleri sonucunda, uçucu yağ ekstraktlarının antibakteriyel aktivitelerinin olmadığı, inhibisyon zone çapları ölçümü sonucunda maya mantarlarına karşı orta düzeyde (8-14 mm çapında) antimikotik etkinliğin var olduğu bulunmuştur. Çiçek kısmının uçucu yağının antimikotik etkinliğinin (12-14 mm), yaprak kısmına göre (8-10 mm) daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Literatürde, *C. palustris* var. *alba* bitkisinin Soxhlet ekstraksiyonu yöntemiyle petrol eteri, kloroform ve metanol çözücülerile elde edilen ekstraktların antimikrobiyal, antioksidan ve sitotoksik aktivite çalışması bulunmaktadır (Mubashir vd., 2014). Metanol ekstraktın diğer çözücü ekstraktlarından daha iyi sonuç vermesi sebebiyle biyolojik aktivite testlerini metanolik

ekstrakt gram pozitif ve gram negatif bakterilere (*Pseudomonas aeruginosa* MTCC 1688, *Proteus vulgaris* MTCC 426, *Bacillus subtilis* MTCC 441, *Staphylococcus epidermidis* MTCC 435 ve *Staphylococcus aureus* MTCC 96 bakterilerinden sadece *S. epidermidis* ve *P. Vulgaris*) karşı oldukça yüksek kabul edilen 24-23 mm zone çapı oluşturduğu belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada; *C. palustris* bitkisinin çiçek ve yaprak kısımlarının subuharı destilasyonu ile elde edilen uçucu yağların sadece maya mantarları olan *C. albicans* ve *S. cerevisiae* bakterilerine orta düzey olarak kabul edilen 8-14 mm zone çapları arasındaki değerlerde aktivite gösterdiği bulunmuştur. Çalışmadaki bitkilerin *C. palustris* ve *C. palustris* var. *alba* nin toplandığı bölgelerin ve çevrelerinin farklı olması, hemde yapılan ekstraksiyon yöntemindeki çözücülerin farklı olması sebebiyle antimikrobiyal aktivite testlerinde birbirinden farklı mikroorganizmalara karşı aktivite bulunması oldukça olağan olarak yorumlanabilir.

**Table 3.** *C. palustris* Bitkisinin Çiçek ve Yapraklarından Elde Edilen Uçucu Yağların Antimikrobiyal Aktiviteleri (50 µL).

<i>C. palustris</i>	Stok (µg/mL)	Mikroorganizmalar ve İnhibisyon zone çapları (mm)							
		Ec	Yp	Pa	Sa	Ef	Bs	Ca	Sc
Çiçek	1000	-	-	-	-	-	-	12	14
Yaprak	1000	-	-	-	-	-	-	8	10

Ec: *Escherichia coli* ATCC 25922, Yp: *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, Pa: *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 43288, Sa: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, Ef: *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, Bc: *Bacillus cereus* 702 Roma, Ca: *Candida albicans* ATCC 60193, *Saccharomyces cerevisiae* RSKK 251, Amp.: Ampicillin, Flu.: Fluconazole, (—): no activity.

## Teşekkür

Yapılan çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Antimikrobiyal aktivite testlerini yapan Prof. Dr. Şengül Alpay Karaoğlu'na teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- Adams, R.P., 2004., Identification of essential oil components by gas chromatography/mass Spectrometry. 4th Ed., Allured publishing Corp., Carol Stream, Illinois. 1-698.
- Ali, H., Nisar, M., Jehandar, S., 2011, Ethnobotanical study of some elite plants belonging to Dir, Kohistan Valley, Khyber Pu-khtunkhwa, Pakistan [J]. Pak J Bot, 43(2): 787-795.
- Baykal, T., Bedir, E., Calis, I., Aquino, R., Piacente S., Pizza, C., 1999, Two oleanene glycosides from the aerial parts of *Caltha polypetala*, Phytochemistry 51:1059-1063.
- Baytop, T. 1984. Therapy with medicinal plants in Turkey (past and present), Publications of Istanbul University, 3255(40), İstanbul, Turkey.
- Bhandari, P and Rastogi, R.P, 1984, Triterpene constituents of *Caltha palustris*, Phtyochemistry, 23(9); 2082-2085.
- Bhandari, P and Rastogi, R.P, 1984, Two nor-triterpene lactones from *Caltha palustris*, Phtyochemistry, 23(8); 1699-1702.
- Birinci, S., 2008, Doğu Karadeniz Bölgesinde Doğal Olarak Bulunan Faydalı Bitkiler ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.143.
- Bonora, A., Tosi B., Donini A., Botta B., Bruni A., 1987, Elicitor-induced Accumulation of Protoanemonin in *Caltha palustris* L., Journal of Plant Physiology 131(5), 489-494.
- Cansu, T. B., Yücel, M., Sinek, K., Baltacı, C., Karaoğlu, A. Ş. ve Yaylı N., 2011, Microwave

Assisted Essential Oil Analysis and Antimicrobial Activity of *M. Alpestris Subsp. Alpestris*, Asian Journal Of Chemistry, 23(3), 1029-1031.

Davis, P. H., 1965-1985, Flora of Turkey and the East Aegean Island Vol.:I and Supplement, Edinburg: Edinburg Univesity Press.

Dickenmann R., 1982, Cyanogenesis in *Ranunculus montanuss* from the Swiss Alps [J], Bericht des Geobotanischen Institutes ETH, 49(1): 56-75.

Ekmekçigil M., 2006, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi herbaryumu (ANK) *Ranunculaceae* familyası revizyonu, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.105, Ankara.

Ellnain-Wojtaszek, M., Kowalewski, Z., Bialecka, L., 1991, Flavonoid compounds in flowers of *Caltha palustris* L. (*Ranunculaceae*), Herba Polonica 37(3-4), 125-132.

Fancelloa, F., Zaraa, S., Petretob, G. L., Chessab M., Addisb R., Rourkec J. P. and Pintoreb, G., 2017, Essential oils from three species of *Mentha* harvested in Sardinia chemical characterization and evaluation of their biological activity, International Journal of Food Properties, 20(2), 1751–1761.

Figurkin, B.A., Khidasheli, V.D., Pidemskii, E.L., Goleneva, A.F., 1978, Triterpenoid glycosides of *Caltha palustris* L. and their effect on some biochemical indexes of the blood serum of rats, Rastitel'nye Resursy 14(1), 93-95.

Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. (edlr.), 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.

Ibanez, S., Dotterl, S., Anstett, M.C., Baudino, S., Caissard, J.C., Gallet, C. ve Despre's, L., 2010, The role of volatile organic compounds, morphology and pigments of globeflowers in the attraction of their specific pollinating flies, New Phytologist, 188: 451–463.

- Jurgens, A. ve Dötterl S., 2004, Chemical Composition of Anther Volatiles in Ranunculaceae: Genera-Specific Profiles in *Anemone*, *Aquilegia*, *Caltha*, *Pulsatilla*, *Ranunculus* and *Trollius* Species, American Journal of Botany, 91(12): 1969–1980.
- Kumar, P. ve Singhal V. K., 2008, Cytology of *Caltha palustris* L. (Ranunculaceae) from Cold Regions of Western Himalayas, Cytologia 73(2): 137–143.
- Küçük Kurt, İ. ve Fidan, A.F., 2008, Saponinler ve Bazı Biyolojik Etkileri, Kocatepe Veteriner Dergisi, 1: 89-96.
- Mubashir, S., Dar M.Y., Lone B. A., Zargar M. I., Shah W. A., 2014, Anthelmintic, antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activity of *Caltha palustris* var. *alba* Kashmir, India, Chinese Journal of Natural Medicines, 12(8): 567-572.
- NIST Chemistry Webbook, NIST Standart Reference Database Version 147.
- Radulović, N.S., Dordević, A.S., Zlatković, B. K., Palić, R. M., 2009, GC-MS analyses of flower ether extracts of *Prunus domestica* L. and *Prunus padus* L. (Rosaceae), Chemical Papers, 63 (4) 377–384.
- Roner, M.R., Sprayberry, J., Spinks, M. ve Dhanji, S., 2007, Antiviral Activity Obtained from Aqueous Extracts of the Chilean oapbark tree (*Quillaja saponaria* Molina), J. Gen Virol, 88, 275–285.
- Schuettelpelz, E. ve Hoot, S. B., 2004, Phylogeny and Biogeography of *Caltha* (Ranunculaceae) Based on Chloroplast and Nuclear Dna Sequences, American Journal of Botany 91(2): 247–253.
- Seago Jr, J.L., Peterson C. A., Kinsley L. J., Broderick J., 2000, Development and Structure of the Root Cortex in *Caltha palustris* L. and *Nymphaea odorata* Ait, Annals of Botany 86(3) 631-640.
- Smith Jr. C. R., Kleiman, R., Wolff, I. A., 1968, *Caltha palustris* L. Seed Oil. A source of four fatty acids with cis-5-unsaturation, Lipids, 3(1): 37–42.
- Suszko, A. and Obmińska-Mrukowicz, B., 2013, Influence of polysaccharide fractions isolated from *Caltha palustris* L. on the cellular immune response in collagen-induced arthritis (CIA) in mice. A comparison with methotrexate, Journal of Ethnopharmacology, 145(1), 109-117.
- Tóth, A., Lakatos T., Braun M. Kiss B., 1999, Ramet distribution, leaf morphometry and elemental composition of *Caltha palustris* L. along a water depth gradient, Flora 194(4), 431-437.
- Tyagi, V., Patel, R., Hazarika, H., Dey P., Goswami, D. ve Chattopadhyay P., 2017, Chemical composition and bioefficacy for larvicidal and pupicidal activity of essential oils against two mosquito species, International Journal of Mosquito Research, 4(4): 112-118.
- URL-1: <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Ranunculaceae/Caltha/> (Erişim tarihi: 24 Nisan 2018).
- Üçüncü, O., Baltacı, C. ve İter Ş. M., 2016, *Gladiolus italicus* Miller Bitkisinin Uçucu Yağının Kimyasal Bileşimi ve Biyoaktif Özellikleri, GUFBED/GUSTIJ, 6 (2): 150-156.
- Van der Welle, M.E.W., Niggebrugge, K., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M., 2007, Differential responses of the freshwater wetland species *Juncus effusus* L. and *Caltha palustris* L. to iron supply in sulfidic environments, Environmental Pollution, 147, 222-230.
- Vugalter M. M., Dekanosidze G. E., Dzhikiya O. D., Shashkov A. S., Kemertelidze É. P., 1988, Triterpene saponins of *Caltha polypetalata* Glycosides G and I., Chemistry of Natural Compounds 24(2), 193–200.
- Wink, M., 2009, Mode of action and toxicology of plant toxins and poisonous plants, Mitt. Julius Kühn-Inst. 421, 93-112.
- Woodell, S. R. J. ve Kootin, S., 1971, Intraspecific variation in *Caltha palustris*, New Phytol. 70: 173–186.
- Yaylı, N., Yaşar, A., İskender, N. Y., Yaylı, N., Cansu T.B., Coskunçelebi, K. ve Karaoğlu, Ş., 2010, Chemical constituents and antimicrobial activities of the essential oils from *Sedum pallidum* var. *bithynicum* and *S.spurium* Grown in Turkey, Pharm. Biol. 48(2), 191-194
- Yeşilyurt, E. B., Çetin, Ö. ve Gürbüz, Y., 2016, Konya (Pseudodelphinium Turcicum) Mevzek Tür Eylem Planı, T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, s.2.
- Yücel, T.B., Karaoğlu A. Ş. ve Yaylı N., 2017, Antimicrobial Activity and Composition of *Rindera lanata* (LAM.) Bunge var. *canescens* (A.D.C.) Kosn. Essential oil Obtained by Hydrodistillation and Microwave Assisted Distillation, Rec. Nat. Prod. 11:3, 328-333.
- Zelenina M.V., 1980, Localization of triterpenoid glycosides in *Anemone ranunculoides* L., *Ficaria verna* Huds. and *Caltha palustris* L. of the Ranunculaceae family, Rastitel'nye Resursy 16(2), 235-237.



# Bir Normal Hemen Hemen Parakontakt Metrik Manifoldun Quasi-Konformal Eğrilik Tensörü Üzerine

*On the Quasi-Conformal Curvature Tensor of a Normal Almost Paracontact Metric Manifold*

Ümit YILDIRIM<sup>\*a</sup>, Mehmet ATÇEKEN<sup>b</sup>

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik, Bölümü, 60500, Tokat

• Geliş tarihi / Received: 11.04.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 06.08.2018

## Öz

Bu makalede bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldun  $\tilde{C}(\xi, U_1)R = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)P = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)\tilde{Z} = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)S = 0$  ve  $\tilde{C}(\xi, U_1)\tilde{C} = 0$ , şartlarını sağlaması durumunda ortaya çıkan sonuçlar çalışılmıştır. Bu sonuçlara göre manifold karakterize edilmiştir. Burada  $R$ , Riemann eğrilik tensörü,  $\tilde{C}$ , quasi-konformal eğrilik tensörü,  $P$ , projektif eğrilik tensörü,  $\tilde{Z}$ , concircular eğrilik tensörü ve  $S$  Ricci tensörüdür.

**Anahtar kelimeler:** Concircular eğrilik tensörü, Einstein manifold, Normal hemen hemen parakontakt metrik manifold, Quasi-konformal eğrilik tensörü

## Abstract

In the present paper, we have studied the curvature tensors of a normal almost paracontact metric manifold satisfying the conditions  $\tilde{C}(\xi, U_1)R = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)P = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)\tilde{Z} = 0$ ,  $\tilde{C}(\xi, U_1)S = 0$  and  $\tilde{C}(\xi, U_1)\tilde{C} = 0$ . According to these cases, we classified normal almost paracontact metric manifolds, where  $R$  is the Riemannian curvature tensor,  $\tilde{C}$  is the quasi-conformal curvature tensor,  $P$  is the projective curvature tensor,  $\tilde{Z}$  is the concircular curvature tensor and  $S$  is the Ricci tensor.

**Keywords:** Concircular curvature tensor, Einstein manifold, Normal almost paracontact metric manifold, Quasi-conformal curvature tensor

<sup>\*a</sup> Ümit YILDIRIM; umit.yildirim@gop.edu.tr; Tel: (0543) 375 38 15; orcid.org/0000-0002-7178-4223

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8665-5945

## 1. Giriş

Parakontakt geometri üzerine çalışmalar ilk olarak Sato (1976) ile başlamıştır. Daha sonra Kaneyuki ve Williams (1985), manifoldlar üzerinde parakontakt yapılar için bazı karakterizasyonlar vermişlerdir. Acet vd., (2012; 2016), para-Sasakian manifoldlarda kanonik parakontakt konneksiyon için bazı eğrilik şartlarını incelemişlerdir. Ayrıca son yıllarda pek çok yazar, matematiğin yanında fizikte de çok önemli bir yeri olan normal (para) hemen hemen kontakt metrik manifoldların simetri ve eğrilik tensörlerinin özellikleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır (Szabo, 1982; Olszak, 1986; De ve Mondal, 2009; De vd., 2009; Erdem, 2015; Erken, 2015).

Atçeken ve Yıldırım (2016) quasi-konformal eğrilik tensörünü  $C(\alpha)$ -manifoldlarında, Atçeken (2013)  $(LCS)_n$ -manifoldlarında, De vd. (2008) Sasakian manifoldlarında, De ve Sarkar (2012)  $(k, \mu)$ -kontakt metrik manifoldlarında, Hosseinzadeh ve Taleshian (2012)  $N(k)$ -quasi-Einstein manifoldlarında incelemişlerdir.

Biz de şimdiye kadar yapılan bu çalışmalar ışığında bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda quasi-konformal eğrilik tensörünün sağladığı bazı eğrilik şartlarını araştırdık ve elde ettiğimiz sonuçlara göre sabit kesit eğrilikli bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifold için bazı sınıflandırmalar elde ettik.

## 2. Temel Bilgiler

**Tanım 2.1.**  $M$ ,  $n$ -boyutlu bir Riemann manifoldu ve  $R$ ,  $M$  Riemann manifoldunun Riemannian eğrilik tensörü olsun.  $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  cümlesi  $\chi(M)$  nin ortonormal vektör alanları olmak üzere  $\forall U_1, U_2 \in \chi(M)$  için

$$S: \chi(M) \times \chi(M) \rightarrow C^\infty(M, \mathbb{R})$$

$$(U_1, U_2) \rightarrow S(U_1, U_2) = \sum_{i=1}^n g(R(U_1, e_i)e_i, U_2)$$

şeklinde tanımlı  $(0,2)$ -tipindeki tensöre  $M$  nin Ricci tensörü adı verilir. Kolayca görülebilir ki Ricci tensörü simetriktir. Ayrıca  $M$  nin Ricci operatörü  $Q$  ise

$$S(U_1, U_2) = g(QU_1, U_2)$$

şeklinde tanımlıdır.

**Tanım 2.2.**  $M$ ,  $n$ -boyutlu bir Riemann manifoldu ve  $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  lokal ortonormal vektör alanları olmak üzere

$$r = \sum_{i=1}^n S(e_i, e_i)$$

değerine  $M$  nin skaler eğrilik fonksiyonu denir (O'Neill, 1983).

**Tanım 2.3.**  $M$ ,  $n$ -boyutlu bir Riemann manifoldu olmak üzere  $\forall U_1, U_2 \in \chi(M)$  için

$$S(U_1, U_2) = \lambda g(U_1, U_2)$$

olacak biçimde  $M$  üzerinde bir  $\lambda$  fonksiyonu varsa, yani  $M$  nin Ricci tensörü  $S$ , metrik tensör  $g$  nin bir katı ise  $M$  ye Einstein manifoldu adı verilir (Boothby, 1986).

**Tanım 2.4.**  $M$ ,  $n$ -boyutlu bir Riemann manifoldu olsun. Eğer,  $S$  Ricci tensörü olmak üzere,  $\forall U_1, U_2 \in \chi(M)$  için

$$S(U_1, U_2) = ag(U_1, U_2) + b\eta(U_1)\eta(U_2)$$

eşitliği sağlanıyorsa  $M$  ye  $\eta$ -Einstein manifoldu adı verilir.

Burada  $a$  ve  $b$   $M$  üzerinde fonksiyonlar ve  $\eta$ -da 1-formdur (Boothby, 1986).

**Tanım 2.5.**  $(M, g)$  bir Riemann manifoldu olsun.  $T_M(p)$  tanjant uzayının iki boyutlu alt uzayı  $\Pi$  olmak üzere  $U_1, U_2 \in \Pi$  tanjant vektörleri için  $Q$  fonksiyonu;

$$Q(U_1, U_2) = g(U_1, U_1)g(U_2, U_2) - g(U_1, U_2)^2$$

biçiminde tanımlansın.  $Q(U_1, U_2) \neq 0$  olmak üzere

$$K(U_1, U_2) = \frac{g(R(U_1, U_2)U_2, U_1)}{Q(U_1, U_2)}$$

olup buna  $\Pi$  nin kesit eğriliği denir ve  $K(\Pi)$  ile gösterilir.

$\forall p \in M$  ve  $U_{1p}, U_{2p} \in T_M(p)$  için,  $K(U_{1p}, U_{2p})$  sabit ise  $M$  ye sabit kesit eğrilikli uzay form veya reel uzay form denir.

**Tanım 2.6.**  $M$  Riemann manifoldu reel bir uzay form ve  $c$ -sabit kesit eğrilikli ise  $M$  nin Riemann eğrilik tensörü

$$R(U_1, U_2)U_3 = c\{g(U_2, U_3)U_1 - g(U_1, U_3)U_2\}$$

şeklinde (Yano ve Kon, 1984).

$M$ ,  $n$  –boyutlu diferansiyellenebilir bir manifold olmak üzere  $M$  üzerinde her bir  $U_1, U_2$  vektör alanı için,  $\xi$ , bir kontravaryant vektör alanı,  $\eta$  bir 1-form ve  $(\mathcal{L}, \mathcal{L})$ -tipinden bir tensör alanı  $\phi$  olmak üzere

$$\phi^2 U_1 = U_1 - \eta(U_1)\xi, \quad \phi\xi = 0, \quad \eta(\phi U_1) = 0, \quad \eta(\xi) = 1 \tag{1}$$

ve

$$g(\phi U_1, \phi U_2) = g(U_1, U_2) - \eta(U_1)\eta(U_2), \quad \eta(U_1) = g(U_1, \xi), \tag{2}$$

eşitliklerini sağlayan  $(M, \phi, \xi, \eta, g)$  beşlisine bir hemen hemen parakontakt metrik manifold denir (Sato, 1976). Bir hemen hemen parakontakt metrik manifoldu

$$(\nabla_{U_1} \phi)U_2 = -g(U_1, U_2)\xi - \eta(U_2)U_1 + 2\eta(U_1)\eta(U_2)\xi \tag{3}$$

ve

$$\phi U_1 = \nabla_{U_1} \xi \tag{4}$$

eşitliklerini de sağlıyorsa bu durumda manifoldda normal hemen hemen parakontakt metrik manifold denir.

Ayrıca  $c$  –sabit kesit eğriliğine sahip bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldun Riemann eğrilik tensörü  $R, \forall U_1, U_2, U_3 \in \chi(M)$  olmak üzere

$$\begin{aligned} R(U_1, U_2)U_3 &= \frac{c+3}{4} \{g(U_2, U_3)U_1 - g(U_1, U_3)U_2\} \\ &+ \frac{c-1}{4} \{\eta(U_1)\eta(U_3)U_2 - \eta(U_2)\eta(U_3)U_1 + g(U_1, U_3)\eta(U_2)\xi - g(U_2, U_3)\eta(U_1)\xi \\ &+ g(\phi U_2, U_3)\phi U_1 - g(\phi U_1, U_3)\phi U_2 - 2g(\phi U_1, U_2)\phi U_3\} \end{aligned} \tag{5}$$

ile verilir (Sato, 1976).

$n$  –boyutlu bir Riemann manifoldunun projektif eğrilik tensörü, concircular eğrilik tensörüne quasi konformal eğrilik tensörü sırasıyla

$$P(U_1, U_2)U_3 = R(U_1, U_2)U_3 - \frac{1}{n-1} [S(U_2, U_3)U_1 - S(U_1, U_3)U_2], \tag{6}$$

$$\tilde{Z}(U_1, U_2)U_3 = R(U_1, U_2)U_3 - \frac{r}{n(n-1)} [g(U_2, U_3)U_1 - g(U_1, U_3)U_2], \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \check{C}(U_1, U_2)U_3 &= aR(U_1, U_2)U_3 + b[S(U_2, U_3)U_1 - S(U_1, U_3)U_2 + g(U_2, U_3)QU_1 - g(U_1, U_3)QU_2] \\ &- \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] [g(U_2, U_3)U_1 - g(U_1, U_3)U_2] \end{aligned} \tag{8}$$

şeklinde tanımlıdır. Burada  $a$  ve  $b$  birer sabit,  $Q$ , Ricci operatörü,  $S$ , Ricci tensörü ve  $r$  manifoldun skaler eğriliğidir.

$M$ ,  $n$  –boyutlu bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldu ve  $M$  nin Riemann eğrilik tensörü  $R$  olmak üzere, (5) denkleminde  $U_1 = \xi$  seçtiğimizde

$$R(\xi, U_2)U_3 = g(U_2, U_3)\xi - \eta(U_3)U_2, \tag{9}$$

benzer şekilde (5) de  $U_3 = \xi$  seçtiğimizde

$$R(U_1, U_2)\xi = \eta(U_2)U_1 - \eta(U_1)U_2, \tag{10}$$

eşitlikleri elde edilir. Yine (10) denkleminde  $U_2 = \xi$  için,

$$R(U_1, \xi)\xi = U_1 - \eta(U_1)\xi \tag{11}$$

elde edilir. Ayrıca (5) denkleminde eşitliğin her iki tarafına  $\xi \in \chi(M)$  uyguladığımızda ise

$$\eta(R(U_1, U_2)U_3) = g(U_2, U_3)\eta(U_1) - g(U_1, U_3)\eta(U_2) \tag{12}$$

eşitliği hesaplanır. Benzer şekilde (6), (7) ve (8) denklemlerinden,

$$P(\xi, U_2)U_3 = g(U_2, U_3)\xi - \frac{1}{n-1}S(U_2, U_3)\xi, \tag{13}$$

$$P(\xi, U_2)\xi = 0, \tag{14}$$

$$\tilde{Z}(\xi, U_2)U_3 = \left[1 - \frac{r}{n(n-1)}\right] [g(U_2, U_3)\xi - \eta(U_3)U_2], \tag{15}$$

$$\tilde{Z}(\xi, U_2)\xi = \left[1 - \frac{r}{n(n-1)}\right] [\eta(U_2)\xi - U_2], \tag{16}$$

$$\tilde{C}(\xi, U_2)U_3 = \left[\frac{4a+b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n}\left[\frac{a}{n-1} + 2b\right]\right] [g(U_2, U_3)\xi - \eta(U_3)U_2], \tag{17}$$

$$\tilde{C}(\xi, U_2)\xi = \left[\frac{4a+b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n}\left[\frac{a}{n-1} + 2b\right]\right] [\eta(U_2)\xi - U_2] \tag{18}$$

eşitlikleri elde edilir.

Ayrıca burada  $M$  nin  $\{e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, \xi\}$  bazı için

$$S(U_1, U_2) = \sum_{i=1}^n g(R(U_1, e_i)e_i, U_2) + g(R(U_1, \xi)\xi, U_2)$$

olduğundan ve eşitlik (5) den

$$R(U_1, e_i)e_i = \frac{c+1}{4}\{g(e_i, e_i)U_1 - g(U_1, e_i)e_i\} + \frac{c-1}{4}\{-g(e_i, e_i)\eta(U_1)\xi + g(\phi(e_i), e_i)\phi(U_1) - 3g(\phi(U_1), e_i)\phi e_i\}$$

olduğundan

$$S(U_1, U_2) = \left[\frac{c(n-5)+3n+1}{4}\right] g(U_1, U_2) + \left[\frac{(c-1)(5-n)}{4}\right] \eta(U_1)\eta(U_2) \tag{19}$$

ve

$$QU_1 = \left[\frac{c(n-5)+3n+1}{4}\right] U_1 + \left[\frac{(c-1)(5-n)}{4}\right] \eta(U_1)\xi \tag{20}$$

elde edilir.

**Sonuç 2.1.** Her sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifold  $\eta$  –Einstein manifolddur.

Ayrıca (19) denkleminde  $U_2 = \xi$  seçtiğimizde

$$S(U_1, \xi) = (n - 1)\eta(U_1), \tag{21}$$

benzer şekilde

$$Q\xi = (n - 1)\xi \tag{22}$$

olarak hesaplanır. Diğer taraftan  $M$  nin skaler eğriliği



$$r = \frac{(n-1)}{4} [c(n-5) + 3n + 5] \tag{23}$$

dir.

### 3. Bir Normal Hemen Hemen Parakontakt Metrik Manifoldun Quasi-Konformal Eğrilik Tensörü

Bu bölümde sabit kesit eğrilikli bir normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldun quasi-konformal eğrilik tensörünün diğer eğrilik tensörleri üzerindeki etkiler incelenmiştir.

**Teorem 3.1.**  $n$ -boyutlu bir  $M(c)$ -sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda  $\tilde{C}(\xi, U_2)R = 0$  olması için gerek ve yeter şart ya manifold  $M(1)$  şeklinde bir reel uzay formdur yada manifoldun skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

dir.

**İspat:** Kabul edelim ki  $\tilde{C}(\xi, U_2)R = 0$  şartı sağlansın. O zaman  $\forall U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 \in \chi(M)$  olmak

$$\begin{aligned} (\tilde{C}(U_1, U_2)R)(U_3, U_4, U_5) &= \tilde{C}(U_1, U_2)R(U_3, U_4)U_5 - R(\tilde{C}(U_1, U_2)U_3, U_4)U_5 \\ &\quad - R(U_3, \tilde{C}(U_1, U_2)U_4)U_5 - R(U_3, U_4)\tilde{C}(U_1, U_2)U_5 \end{aligned} \tag{24}$$

olduğunu biliyoruz. (24) denkleminde  $U_1 = \xi$  seçtiğimizde

$$\begin{aligned} (\tilde{C}(\xi, U_2)R)(U_3, U_4, U_5) &= \tilde{C}(\xi, U_2)R(U_3, U_4)U_5 - R(\tilde{C}(\xi, U_2)U_3, U_4)U_5 \\ &\quad - R(U_3, \tilde{C}(\xi, U_2)U_4)U_5 - R(U_3, U_4)\tilde{C}(\xi, U_2)U_5 \\ &= 0 \end{aligned} \tag{25}$$

halini olur. Bu denklemde (17) kullanıldığında

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] & [g(U_2, R(U_3, U_4)U_5)\xi - \eta(R(U_3, U_4)U_5)U_2 \\ & - g(U_2, U_3)R(\xi, U_4)U_5 + \eta(U_3)R(U_2, U_4)U_5 \\ & - g(U_2, U_4)R(U_3, \xi)U_5 + \eta(U_4)R(U_3, U_2)U_5 \\ & - g(U_2, U_5)R(U_3, U_4)\xi + \eta(U_5)R(U_3, U_4)U_2] \\ & = 0 \end{aligned} \tag{26}$$

bulunur. (26) da (9) ve (10) eşitlikleri kullanıldığında

$$\left[ \frac{4a+b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] [R(U_2, U_4)U_5 + g(U_2, U_5)U_4 - g(U_4, U_5)U_2] = 0 \tag{27}$$

elde edilir. Buradan ya

$$R(U_2, U_4)U_5 = g(U_4, U_5)U_2 - g(U_2, U_5)U_4$$

için  $M$ ,  $c = 1$  sabit kesit eğrilikli bir reel uzay formdur ya da  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

dir. İspatın tersi açıktır.

**Teorem 3.2.**  $n$  –boyutlu bir  $M(c)$  –sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda  $\tilde{C}(\xi, U_2)P = 0$  olması için gerek ve yeter şart ya  $M$  bir Einstein manifoldudur ya da  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

dir.

**İspat.** Kabul edelim ki  $\tilde{C}(\xi, U_2)P = 0$  şartı sağlansın. O zaman  $\forall U_2, U_3, U_4, U_5 \in \chi(M)$  olmak üzere

$$\begin{aligned} (\tilde{C}(\xi, U_2)P)(U_3, U_4, U_5) &= \tilde{C}(\xi, U_2)P(U_3, U_4)U_5 - P(\tilde{C}(\xi, U_2)U_3, U_4)U_5 \\ &\quad - P(U_3, \tilde{C}(\xi, U_2)U_4)U_5 - P(U_3, U_4)\tilde{C}(\xi, U_2)U_5 \\ &= 0 \end{aligned} \tag{28}$$

dir. (28) denkleminde (17) kullanılırsa

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] & [g(U_2, P(U_3, U_4)U_5)\xi - \eta(P(U_3, U_4)U_5)U_2 \\ & - g(U_2, U_3)P(\xi, U_4)U_5 + \eta(U_3)P(U_2, U_4)U_5 \\ & - g(U_2, U_4)P(U_3, \xi)U_5 + \eta(U_4)P(U_3, U_2)U_5 \\ & - g(U_2, U_5)P(U_3, U_4)\xi + \eta(U_5)P(U_3, U_4)U_2] = 0 \end{aligned} \tag{29}$$

bulunur. (29) da (13) ve (14) eşitlikleri kullanıldığında ve sonrasında  $U_3 = \xi$  seçtiğimizde

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] & [P(U_2, U_4)U_5 + g(U_4, U_2)\eta(U_5)\xi \\ & - \frac{1}{n-1}g(U_4, U_2)\eta(U_5)\xi + g(U_2, U_5)\eta(U_4)\xi - \frac{1}{n-1}g(U_2, U_5)\eta(U_4)\xi \\ & + \frac{1}{n-1}S(U_4, U_5)U_2 - g(U_4, U_5)U_2 - \frac{1}{n-1}S(U_2, U_5)\eta(U_4)\xi \\ & + \frac{1}{n-1}g(U_2, U_5)U_4 - \frac{1}{n-1}S(U_2, U_4)\eta(U_5)\xi] \\ & = 0 \end{aligned} \tag{30}$$

elde edilir. (30) denkleminde  $U_5 = \xi$  seçtiğimizde ve gerekli kısaltmaları yaptığımızda

$$\left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] \left[ \frac{1}{n-1}S(U_4, U_2) - g(U_4, U_2) \right] = 0$$

bulunur. Buradan ya  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

olarak hesaplanır. Diğer taraftan

$$S(U_4, U_2) = (n-1)g(U_4, U_2)$$

olup buradan  $M$  bir Einstein manifoldudur. İspatın tersi açıktır.

**Teorem 3.3.**  $n$  –boyutlu bir  $M(c)$  –sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda  $\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{Z} = 0$  olması için gerek ve yeter şart ya  $M, c = 1$  sabit kesit eğrilikli bir reel uzay formdur ya da  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n - 1)[4a + b(n - 5)(1 - c)]}{4a + 8b(n - 1)}$$

dir.

**İspat:** Kabul edelim ki  $\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{Z} = 0$  olsun. O zaman  $\forall U_2, U_3, U_4, U_5 \in \chi(M)$  olmak üzere

$$\begin{aligned} (\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{Z})(U_3, U_4, U_5) &= \tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{Z}(U_3, U_4)U_5 - \tilde{Z}(\tilde{C}(\xi, U_2)U_3, U_4)U_5 \\ &\quad - \tilde{Z}(U_3, \tilde{C}(\xi, U_2)U_4)U_5 - \tilde{Z}(U_3, U_4)\tilde{C}(\xi, U_2)U_5 \\ &= 0 \end{aligned} \tag{31}$$

dir. (31) denkleminde (17) kullanılırsa

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n - 5)(1 - c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n - 1} + 2b \right] \right] & \left[ g(U_2, \tilde{Z}(U_3, U_4)U_5)\xi - \eta(\tilde{Z}(U_3, U_4)U_5)U_2 \right. \\ & \quad - g(U_2, U_3)\tilde{Z}(\xi, U_4)U_5 + \eta(U_3)\tilde{Z}(U_2, U_4)U_5 \\ & \quad - g(U_2, U_4)\tilde{Z}(U_3, \xi)U_5 + \eta(U_4)\tilde{Z}(U_3, U_2)U_5 \\ & \quad \left. - g(U_2, U_5)\tilde{Z}(U_3, U_4)\xi + \eta(U_5)\tilde{Z}(U_3, U_4)U_2 \right] \\ & = 0 \end{aligned} \tag{32}$$

elde edilir. (32) denkleminde (15) ve (16) eşitlikleri kullanıldığında ve sonrasında  $U_3 = \xi$  seçtiğimizde

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n - 5)(1 - c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n - 1} + 2b \right] \right] & \left[ \tilde{Z}(U_2, U_4)U_5 \right. \\ & \quad \left. - \left[ 1 - \frac{r}{n(n-1)} \right] [g(U_4, U_5)U_2 - g(U_2, U_5)U_4] \right] \\ & = 0 \end{aligned} \tag{33}$$

elde edilir. (33) denkleminde (7) kullanılırsa ya  $M, c = 1$  sabit kesit eğrilikli bir reel uzay formdur ya da  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n - 1)[4a + b(n - 5)(1 - c)]}{4a + 8b(n - 1)}$$

dir. Böylece ispat tamamlanır, tersi ise açıktır.

**Teorem 3.4.**  $n$  –boyutlu bir  $M(c)$  –sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda  $\tilde{C}(\xi, U_2)S = 0$  olması için gerek ve yeter şart ya  $M$  bir Einstein manifoldudur ya da manifoldun skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n - 1)[4a + b(n - 5)(1 - c)]}{4a + 8b(n - 1)}$$

dir.

**İspat:** Kabul edelim ki  $\tilde{C}(\xi, U_2)S = 0$  olsun. O zaman  $\forall U_1, U_2, U_3, U_4 \in \chi(M)$  için

$$S(\tilde{C}(U_1, U_2)U_3, U_4) + S(U_3, \tilde{C}(U_1, U_2)U_4) = 0 \tag{34}$$

dir. (34) denkleminde  $U_1 = \xi$  seçtiğimizde

$$\left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] [(n-2)g(U_2, U_3)\eta(U_4) + (n-2)g(U_2, U_4)\eta(U_3) - \eta(U_3)S(U_2, U_4) - \eta(U_4)S(U_3, U_2)] = 0 \tag{35}$$

bulunur. Buradan ya

$$S(U_2, U_4) = (n-1)g(U_2, U_4)$$

olup buradan  $M$  bir Einstein manifoldudur. Ya da

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

dir. İspat tamamlanır, tersi açıkça görülür.

**Teorem 3.5.**  $n$ -boyutlu bir  $M(c)$  sabit kesit eğrilikli normal hemen hemen parakontakt metrik manifoldunda  $\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{C} = 0$  olması için gerek ve yeter şart ya  $M\left(\frac{4a-b[5n-7-c(3n+5)]}{4a}\right)$  sabit kesit eğrilikli bir reel uzay form ya da  $M$  nin skaler eğriliği

$$r = \frac{n(n-1)[4a + b(n-5)(1-c)]}{4a + 8b(n-1)}$$

dir.

**İspat:** Kabul edelim ki  $\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{C} = 0$  olsun. O zaman  $\forall U_2, U_3, U_4, U_5 \in \chi(M)$  olmak üzere

$$\begin{aligned} (\tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{C})(U_4, U_5, U_3) &= \tilde{C}(\xi, U_2)\tilde{C}(U_4, U_5)U_3 - \tilde{C}(\tilde{C}(\xi, U_2)U_4, U_5)U_3 \\ &\quad - \tilde{C}(U_4, \tilde{C}(\xi, U_2)U_5)U_3 - \tilde{C}(U_4, U_5)\tilde{C}(\xi, U_2)U_3 \\ &= 0 \end{aligned} \tag{36}$$

dir. (36) eşitliğinde (17) denklemini kullanıldığında

$$\begin{aligned} \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] & \left[ g(U_2, \tilde{C}(U_4, U_5)U_3)\xi - \eta(\tilde{C}(U_4, U_5)U_3)U_2 \right. \\ & \quad - g(U_2, U_4)\tilde{C}(\xi, U_5)U_3 + \eta(U_4)\tilde{C}(U_2, U_5)U_3 \\ & \quad - g(U_2, U_5)\tilde{C}(U_4, \xi)U_3 + \eta(U_5)\tilde{C}(U_4, U_2)U_3 \\ & \quad \left. - g(U_2, U_3)\tilde{C}(U_4, U_5)\xi + \eta(U_3)\tilde{C}(U_4, U_5)U_2 \right] \\ & = 0 \end{aligned} \tag{37}$$

elde edilir. (37) denkleminde tekrar (17) kullanılırsa ve  $U_4 = \xi$  seçildiğinde,

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] [\tilde{C}(U_2, U_5)U_3 \\ & - \left[ \frac{4a + b(n-5)(1-c)}{4} - \frac{r}{n} \left[ \frac{a}{n-1} + 2b \right] \right] [g(U_5, U_3)U_2 - g(U_2, U_3)U_5] \\ & = 0 \end{aligned}$$

eşitliği bulunur. Son eşitlikte  $U_2 \rightarrow \phi U_2$  ve  $U_5 \rightarrow \phi U_5$  seçilip, sonrasında (8) kullanıldığında



$$R(\phi U_2, \phi U_5)U_3 = \left[ \frac{4a-b[5n-7-c(3n+5)]}{4a} \right] [g(\phi U_5, U_3)\phi U_2 - g(\phi U_2, U_3)\phi U_5] \quad (38)$$

olarak hesaplanır. (38) eşitliğinden ise  $M \left( \frac{4a-b[5n-7-c(3n+5)]}{4a} \right)$  sabit kesit eğrilikli bir reel uzay formudur. Diğer taraftan  $M$  nin skaler eğrilığının de

$$r = \frac{n(n-1)[4a+b(n-5)(1-c)]}{4a+8b(n-1)}$$

olduğu görülür. İspatın tersi ise açıktır.

**Örnek 3.1.**  $\mathbb{R}^7$  de  $(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z)$  standart koordinatlarına göre  $M^7 = \{(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z) \in \mathbb{R}^7\}$  manifoldunu alalım.  $M$  nin her bir noktasında lineer bağımsız vektör alanları

$e_i = e^z \frac{\partial}{\partial x_i}, \quad e_j = e^z \frac{\partial}{\partial y_j}, \quad 1 \leq i, j \leq 3$  ve  $e_7 = \frac{\partial}{\partial z}$  olsun. Burada  $M$  üzerinde Riemann metriği

$$g = e^{-2z} \sum_{i=1}^3 \{dx_i \otimes dy_i + dy_i \otimes dx_i\} + dz \otimes dz$$

olsun. Burada  $g(e_i, e_j) = \delta_{ij}$  olup,  $1 \leq i, j \leq 7$  olmak üzere  $e_i, M$  nin bir ortonormal bazıdır.  $M$  üzerinde bir vektör alanı

$$X = \sum_{i=1}^3 \left( X_i \frac{\partial}{\partial x_i} + Y_i \frac{\partial}{\partial y_i} \right) + z \frac{\partial}{\partial z}$$

dir. Burada  $\phi$  parakontakt yapısını ve  $\eta$  1 –formunu ise

$$\phi X = \sum_{i=1}^3 \left( -X_i \frac{\partial}{\partial x_i} - Y_i \frac{\partial}{\partial y_i} \right)$$

ve

$\eta(X) = g(X, e_7)$  olarak tanımlayalım. Bundan kolayca görülebilir ki her  $X, Y \in \Gamma(TM)$  için

$$\phi^2 X = X - \eta(X)e_7,$$

$$g(\phi X, \phi Y) = g(X, Y) - \eta(X)\eta(Y)$$

ve

$$\eta(e_7) = 1$$

dir. Böylece  $(\phi, \xi = e_7, \eta, g)$   $M$  üzerinde bir hemen hemen parakontakt metrik yapıdır. Burada Lie parantez operatörleri de

$$[e_i, e_7] = -e_i, \quad 1 \leq i \leq 6 \quad \text{ve} \quad [e_i, e_j] = 0, \quad 1 \leq j \leq 6$$

olarak hesaplanır.

Yine Kozsul formülü yardımıyla kovaryant türevler ise

$$\nabla_{e_i} e_i = e_7, \quad \nabla_{e_i} e_j = 0, \quad i \neq j, \quad 1 \leq i, j \leq 6,$$

$$\nabla_{e_i} e_7 = \phi e_i = -e_i, \quad \nabla_{e_7} e_7 = 0, \quad \nabla_{e_7} e_i = 0 \quad 1 \leq i \leq 6$$

olarak bulunur. Yine burada  $X, Y \in \Gamma(TM)$  için

$$(\nabla_X \phi)Y = -g(X, Y)\xi - \eta(Y)X + 2\eta(X)\eta(Y)\xi$$

olduğu görülür. Böylece  $M^7(\phi, \xi, \eta, g)$  yapısı bir hemen hemen normal parakontakt metrik manifolddur.  $M$  nin Riemann eğrilik tensörü yardımıyla,

$$R(e_i, e_j)e_j = -e_i, \quad 1 \leq i \neq j \leq 7,$$

$$R(e_i, e_j)e_k = 0, \quad 1 \leq i, j, k \leq 6, \quad i \neq j \neq k$$

değerleri bulunur. Şimdi  $M$  üzerindeki  $X, Y, Z$  vektör alanları

$$X = X_i e_i, \quad Y = Y_j e_j \quad \text{ve} \quad Z = Z_k e_k, \quad 1 \leq i, j, k \leq 7 \quad \text{olarak alırsak,}$$

$$\begin{aligned} R(X, Y)Z &= X_i Y_j Z_k R(e_i, e_j)e_k = Y_j Z_j X_i R(e_i, e_j)e_j + X_i Y_j Z_i R(e_i, e_j)e_i \\ &= Y_j Z_j X_i e_i + X_i Z_i Y_j e_j \\ &= -\{g(Y, Z)X - g(X, Z)Y\} \end{aligned}$$

dir. Yani  $M$   $c = -1$  sabit kesit eğriliklidir. Buradan da  $M$  nin Ricci tensörü

$$S(X, Y) = -(n - 1)g(X, Y)$$

olduğundan

$$S(X, Y) = -6g(X, Y) \text{ dir. Buradan da } M \text{ nin skaler eğriliği } r = -42 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Sonuç olarak verdiğimiz bütün teoremleri sağlayan örneğimiz için  $c = -1, r = -42$  olup ayrıca  $a = -\frac{13}{2}b$  bağıntısı vardır.

### Kaynaklar

Acet, B.E. ve Perктаş, S.Y., 2016. On para-Sasakian manifolds with a canonical paracontact connection, New Trends in Math. Sci. 4, No. 3, 162-173, 2016.

Acet, B.E., Kılıç, E. ve Perктаş, S.Y., 2012, Some Curvature Conditions on a Para-Sasakian Manifold with Canonical Paracontact Connection, International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, Volume 2012, Article ID 395462, 24 pages.

Atçeken, M. ve Yıldırım, Ü., 2016. On an almost  $C(\alpha)$ -manifolds satisfying certain conditions on quasi-conformal curvature tensor. Proceedings of the Jangjeon Mathematical Society, 19 (1), 115-124.

Atçeken, M., 2013. Some curvature properties of  $(LCS)_n$ -manifolds. Abstract and Applied Analysis, Doi: 10.1055/2013/380657.

Atçeken, M., Dirik, S. ve Yıldırım, Ü., 2017. An Inequality for Warped Product Semi-Invariant Submanifolds of a Normal Paracontact Metric Manifold. Filomat 31:19, 6233–6240.

Atçeken, M., Yıldırım, Ü. ve Dirik, S., 2017. Sub-Manifolds of a Riemannian Manifold. Manifolds: Current Research Areas, Prof. Paul Bracken, InTech, DOI: 10.5772/65948.

Boothby, W.M., 1986. An Introduction to Differentiable Manifolds and Riemannian Geometry. Academic Press, Inc. London.

De, U.C., Jun, J.B., ve Gazi, A.K., 2008. Sasakian manifolds with quasi-conformal curvature tensor. Bulletin of the Korean Mathematical Society, 45 (2) 313-319.

De, U.C., ve Mondal, A.K., 2009. On 3-dimensional normal almost contact metric manifolds satisfying certain curvature conditions. Commun. Korean. Math. Soc., 24, 265-275.

- De, U.C., ve Sarkar, A., 2012. On the quasi-conformal curvature tensor of  $(\kappa, \mu)$ -contact metric manifold. *Mathematical Reports*, 14 (2) 115-129.
- De, U.C., Yıldız, A., ve Yalınız, A.F., 2009. Locally  $\phi$ -symmetric normal almost contact metric manifolds of dimension 3. *Appl. Math. Lett.*, 22, 723-727.
- Erdem, S., 2002. On almost (para)contact (hyperbolic) metric manifolds and harmonicity of  $(\phi, \phi')$ -holomorphic maps between them. *Houston J. Math.*, 28, 21-45.
- Erken, İ.K., 2015. On normal almost paracontact metric manifolds of dimension 3. *Facta Universitatis (NIS), Ser. Math. Inform.*, 30 (5) 777-788.
- Hosseinzadeh, A., ve Taleshian, A., 2012. On conformal and quasi conformal curvature tensors of an  $N(k)$ -quasi Einstein manifold. *Communications of the KMS*, 27 (2), 317-326.
- Kaneyuki, S., ve Williams, F.L., 1985. Almost paracontact and parahodge structures on manifolds. *Nagoya Math. J.*, 99, 173-187.
- Martin, M.V., 2015. On a remarkable class of paracontact metric manifolds. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 12 (8).
- O'Neill, B., 1983. *Semi-Riemann Geometry with Applications to Relativity*. Pure and Applied Mathematics, 103, Academ,c Press, Inc. New York.
- Olszak, Z., 1986. Normal almost contact metric manifolds of dimension three. *Ann. Polon. Math.*, XLVII, 41-50.
- Pandey, H.B. ve Kumar, A., 1985. Anti invariant submanifolds of almost paracontact manifolds. *Indian J. Püre appl. Math.*, 16(6), 586-590.
- Sato, I., 1976. On a structure similar to the almost contact structure, *Tensor (N.S.)*, 30, no. 3, 219-224.
- Sato, I., 1977. On a structure similar to almost contact structures II, *Tensor (N.S.)*, 31, no. 2, 199-205.
- Szabo, Z.I., 1982. Structure theorems on Riemannian spaces satisfying  $R(X, Y)R = 0$  the local version. *Diff. Geom.*, 17, 531-582.
- Yano, K., ve Kon, M., 1984. *Structres on Manifolds*. Series in Pure Mathematics, 3, World Scientific Publishing Co., Singapore, 72.
- Yıldırım, Ü., Atçeken, M. ve Dirik, S. 2018. B-Y. Chen Inequalities for Semi-Slant Submanifolds in Normal Paracontact Metric Manifolds. *Palestine Journal of Mathematics*, Vol. 7(1)(2018) , 281-288.

## Gergin Elastik Tele Bağlı Kütlelin Doğrusal Olmayan Salınımının Yaklaşık Çözümleri

*Approximate Solutions of Nonlinear Oscillation of a Mass Attached to a Stretched Elastic Wire*

**Mustafa Mehmet Fatih KARAHAN<sup>\*a</sup>, Beyza BOSTANCI<sup>b</sup>**

*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa*

• Geliş tarihi / Received: 29.03.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 10.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 06.08.2018

### Öz

Gergin elastik bir tele bağlı kütlelin doğrusal olmayan titreşim hareketi ele alınmıştır. Sistemin hareket denklemi oluşturulmuştur. Hareket denkleminine çok ölçekli metot (ÇÖM) ve çok ölçekli Lindstedt Poincare (ÇÖLP) metodu uygulanmıştır. Belirtilen metotlar kullanılarak hareket denkleminin yaklaşık analitik çözümleri bulunmuştur. Belirtilen çözümler hareket denkleminin sayısal çözümü ile karşılaştırılmıştır. Kuvvetli doğrusal olmayan sistemlerde ÇÖLP metodu iyi sonuçlar vermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çok Ölçekli Lindstedt Poincare Metodu, Çok Ölçekli Metot, Kuvvetli Doğrusal Olmayan Sistemler, Perturbasyon Metotları, Sayısal Çözümler

### Abstract

*Nonlinear Oscillation of a Mass Attached to a Stretched Elastic Wire is considered. Equation of motion of the system is obtained. The classical multiple scales method (MS) and multiple scales Lindstedt Poincare (MSLP) method are applied to the equation of motion. Approximate analytical solutions of the equation of motion are obtained using the stated methods. Obtained solutions are compared with numerical solution of the equation of motion. MSLP method gives better results for strong nonlinearities.*

**Keywords:** *Multiple Scales Lindstedt Poincare Technique, Method of Multiple Scales, Strong Nonlinearities, Perturbation Methods, Numerical Solution*

<sup>\*a</sup> Mustafa Mehmet Fatih KARAHAN; fatih.karahan@cbu.edu.tr; Tel: (0236) 201 23 67; orcid.org/0000-0001-9040-5041

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5966-6398

## 1. Giriş

Perturbasyon teknikleri fiziksel problemlerin yaklaşık analitik çözümlerini üretmekte kullanılan teknikler arasındadır. Isı transferinden, mekanik titreşimlere, katı cisimlerin mukavemetinden akışkanlar mekaniğine kadar birçok fiziksel probleme ait matematik model bu metotlarla başarılı olarak çözülmüştür (Nayfeh, 1981). Bu metotta çözüm, fiziksel küçük bir parametrenin seri açılımı şeklinde ifade edilir. Direk açılım olarak adlandırılan en basit perturbasyon tekniği birçok modelde probleme yol açmakta, zaman içerisinde patlamalara yol açan çözümlere sebep olmaktadır. Bu yüzden gerçek çözümlerle daha uyumlu çözümler elde edebilmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir.

Perturbasyon metotlarının en önemli kısıtlaması denkleme küçük bir parametreye ihtiyaç duyulması ya da denkleme bu küçük parametrenin yapay olarak eklenmesidir. Bu durumda çözümler zayıf doğrusal olmayan sistemler için geçerli olmaktadır. Fiziksel parametrenin büyük olduğu kuvvetli doğrusal olmayan sistemler için bu çözümler geçerli olmamaktadır.

Kuvvetli doğrusal olmayan sistemler için geçerli perturbasyon çözümleri elde etmek üzere son zamanlarda bazı çalışmalar yapılmıştır. Hu ve Xiong (2004), Duffing denklemini kullanarak Lindstedt Poincare metodunu iki farklı şekilde ele almış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Öncelikle denklemi klasik yöntem ile çözmüşlerdir. Daha sonra perturbasyon açılımında modifikasyon yaparak dönüşüm frekansı yerine doğal frekansı seriye açarak çözümler elde etmişlerdir. Elde edilen çözümler sayısal çözümlerle karşılaştırılmış ve perturbasyon parametresinin çok büyük değerleri için de uygun çözümler elde edilmiştir. Benzer bir çalışma da Duffing denklemi için yaklaşık ve tam çözümlü frekanslar karşılaştırılmıştır (Hu, 2004a). Aynı denklem, lineer frekansın sıfır olma durumu için de ele alınmıştır (Hu, 2004b). Elde edilen periyodlar tam çözüm periyodları ile büyük parametreler için karşılaştırılmış ve iyi bir yakınsama sağlanmıştır.

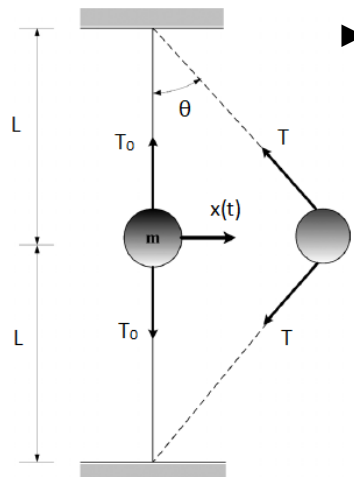
ÇÖLP (Pakdemirli vd., 2009; Pakdemirli ve Karahan, 2010; Pakdemirli vd., 2011; Karahan ve Pakdemirli, 2017a; Karahan ve Pakdemirli, 2017b; Karahan, 2017) metodu zayıf ve kuvvetli doğrusal olmayan sistemlerin yaklaşık analitik çözümlerini elde etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Çok ölçekli yöntem ile Lindstedt Poincare yönteminin birleştirilmesi bu yöntemin temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada gergin elastik bir tele bağlı kütlelin doğrusal olmayan titreşim hareketi ele alınmıştır. Sistemin hareket denkleminde ÇÖLP metodu ilk defa uygulanmıştır. ÇÖM ve ÇÖLP metotları kullanılarak hareket denkleminin yaklaşık analitik çözümleri elde edilmiştir. Bu çözümler hareket denkleminin sayısal çözümü ile karşılaştırılmıştır. ÇÖLP metodu zayıf ve kuvvetli doğrusal olmayan sistemler için sayısal çözüm ile uyumlu sonuçlar verirken, ÇÖM metodunun kuvvetli doğrusal olmayan sistemler için sayısal çözüm ile uyumlu sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir.

Son olarak gergin elastik tele bağlı bir kütlelin titreşim hareketini ele alan bazı çalışmalara değinilecektir. Sun vd. (2007), Newton metodu ve harmonik denge metodunu birleştirerek yeni bir yaklaşım elde etmişlerdir. Elde edilen yeni yaklaşım belirtilen modelin hareket denkleminde uygulanmış ve büyük genlik değerleri için sayısal çözüm ile uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Durmaz vd. (2011), He'nin maksimum-minimum yaklaşımını, He'nin frekans-genlik metodunu ve parametrelerin açılımı metodunu kullanarak belirtilen model için çözümler elde etmişlerdir. Jamshidi ve Ganji (2010), gergin elastik tele bağlı kütlelin titreşim hareketinin diferansiyel denklemini enerji denge ve varyasyonel iterasyon metotlarını kullanarak yaklaşık analitik periyodlar elde etmişlerdir. Elde edilen değerler tam çözüm ile karşılaştırılmış uyumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.

## 2. Hareket Denklemi

Sistem gergin durumdaki bir telin merkezine bağlı bir  $m$  kütlelerinden oluşmaktadır. Bu kütlelin yapmış olduğu salınım hareketi incelenmektedir. Parçacık, tek boyutta sadece  $x$  yönünde hareket ile sınırlandırılmıştır. Şekil 1'deki kütlelin hareket denklemini elde etmek için, kütleyle  $x$  yönünde etki eden kuvvetler toplamı yazılır.



Şekil 1. Gergin elastik bir telin merkezindeki kütle

$$m\ddot{x} = -2T \sin \theta \quad (1)$$

Burada  $T$  elastik telin gerilme kuvvetidir. Kütle başlangıçta durağan ve  $x$  konumunda bulunmaktadır. Bu nedenle başlangıç şartları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$x(0) = x, \quad \dot{x}(0) = 0 \quad (2)$$

Telin gerilme kuvveti

$$T = T_0 + EA \frac{\sqrt{L^2 + x^2} - L}{L} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  $T_0$  telin başlangıçtaki gerilme kuvveti,  $EA$  ise telin aksenal rijitlik kuvvetidir. Denklem (3), denklem (1)' de yerine konulursa

$$m\ddot{x} + 2EA \frac{x}{L} + \frac{\frac{x}{L}}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{L}\right)^2}} (2T_0 - 2EA) = 0 \quad (4)$$

elde edilir. Denklemi boyutsuzlaştırmak için boyutsuz değişkenler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$u = \frac{x}{L}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{\frac{mL}{2EA}}} \quad (5)$$

### 3.1. Çok Ölçekli Metot

Hızlı ve yavaş zaman ölçekleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_0 = t, \quad T_1 = \varepsilon t, \quad T_2 = \varepsilon^2 t \quad (10)$$

Zaman türevleri

$$\frac{d}{dt} = D_0 + \varepsilon D_1 + \varepsilon^2 D_2 + \dots \quad \frac{d^2}{dt^2} = D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1 + \varepsilon^2 (D_1^2 + 2\varepsilon D_0 D_2) + \dots \quad (11)$$

şeklinde ifade edilir. Bağımlı değişken aşağıdaki gibi seriye açılır,

$$u = u_0(T_0, T_1, T_2) + \varepsilon u_1(T_0, T_1, T_2) + \varepsilon^2 u_2(T_0, T_1, T_2) + \dots \quad (12)$$

bu açılım orijinal denkleme yerleştirilir ve mertebe ayrıştırması yapılır. Aynı şekilde başlangıç şartları da mertebe ayrıştırmasına tabi tutulursa

$$O(1): D_0^2 u_0 + (1 - \lambda) u_0 = 0 \quad u_0(0) = a_0, \quad D_0 u_0(0) = 0 \quad (13)$$

$$O(\varepsilon): D_0^2 u_1 + (1 - \lambda) u_1 = -2D_0 D_1 u_0 - \frac{\lambda}{2} u_0^3 \quad (14)$$

$$u_1(0) = 0, (D_0 u_1 + D_1 u_0)(0) = 0$$

Boyutsuz değişkenler denklem (4)'de yerine konur ve aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\ddot{u} + u - \frac{\lambda u}{\sqrt{1 + u^2}} = 0 \quad (6)$$

Burada

$$\lambda = 1 - \frac{T_0}{AE}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (7)$$

şeklinde tanımlanır.

Hareket denklemindeki kare köklü ifadeyi elimine etmek adına terim Taylor serisine açılır ve denkleme  $\varepsilon$  perturbasyon parametresi uygun bir şekilde yerleştirilir ise denklemin ve başlangıç şartlarının nihai durumu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\ddot{u} + (1 - \lambda)u + \frac{\varepsilon \lambda}{2} u^3 = 0 \quad (8)$$

$$u(0) = \frac{x}{L} = a_0, \quad \dot{u}(0) = 0 \quad (9)$$

### 3. Analitik Çözümler

Bu bölümde elde edilen hareket denklemini, ÇÖM ve ÇÖLP metotları ile çözülüp, elde edilen çözümler sayısal sonuçlar ile karşılaştırılacaktır.



$$O(\varepsilon^2): D_0^2 u_2 + (1-\lambda)u_2 = -2D_0 D_1 u_1 - (D_1^2 + 2D_0 D_2)u_0 - \frac{3\lambda}{2}u_0^2 u_1 \quad (15)$$

ifadeleri elde edilir.

Birinci mertebedeki çözüm

$$u_0 = A(T_1, T_2) e^{i\sqrt{(1-\lambda)}T_0} + ke \quad (16)$$

olarak elde edilir. Burada kompleks genlik aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A = \frac{1}{2} a e^{i\beta} \quad (17)$$

Gerçek genlik ve faz açısından birinci mertebe çözüm

$$u_0 = a(T_1, T_2) \cos\left(\sqrt{(1-\lambda)}T_0 + \beta(T_1, T_2)\right) \quad (18)$$

şeklinde elde edilir. Denklem başlangıç şartları uygulanırsa

$$a(0) = a_0, \quad \beta(0) = 0 \quad (19)$$

ifadeleri elde edilir. Birinci mertebe çözüm, denklem (14)'e yerleştirilir ve seküler terimleri elimine edecek olan denklem aşağıdaki gibi elde edilir.

$$-2i\sqrt{(1-\lambda)}D_1 A + iA - \frac{3\lambda}{2}A^2 \bar{A} = 0 \quad (20)$$

Kompleks genlik denklem (20)'ye yerleştirilirse aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$a = a(T_2), \quad \beta = \frac{3\lambda}{16\sqrt{(1-\lambda)}} a^2 T_1 + \beta_0(T_2) \quad (21)$$

$\varepsilon$  mertebesindeki çözüm aşağıdaki şekildedir.

$$u_1 = B e^{i\sqrt{(1-\lambda)}T_0} + \frac{\lambda}{16(1-\lambda)} A^3 e^{3i\sqrt{(1-\lambda)}T_0} + ke \quad (22)$$

Gerçek genlik ve faz için,  $u_1$  çözümü

$$u_1 = b \cos\left(\sqrt{(1-\lambda)}T_0 + \gamma\right) + \frac{\lambda}{64(1-\lambda)} a^3 \cos\left(3\sqrt{(1-\lambda)}T_0 + 3\beta\right) \quad (23)$$

şeklinde ifade edilir. Burada

$$B = \frac{1}{2} b e^{i\gamma} \quad (24)$$

olarak alınır. Denklem başlangıç şartları uygulanırsa

$$b(0) = -\frac{\lambda}{64\sqrt{(1-\lambda)}} a_0^3, \quad \gamma(0) = 0 \quad (25)$$

ifadeleri elde edilir. Son mertebede, denklemler (16) ve (22), denklem (15)'de yerine konur ve seküler terimleri yok edecek denklemden aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$a = a_0, \quad b = -\frac{\lambda}{64\sqrt{(1-\lambda)}} a_0^3, \quad \beta = \gamma = \frac{3\lambda}{16\sqrt{(1-\lambda)}} a_0^2 T_1 + \frac{21\lambda^2}{1024(1-\lambda)^{3/2}} a_0^4 T_2 \quad (26)$$

Nihai sonuç aşağıdaki gibidir.

$$u = a_0 \cos\left(\sqrt{(1-\lambda)}t + \beta\right) + \frac{\varepsilon\lambda}{64(1-\lambda)} a_0^3 \left[ \cos\left(3\sqrt{(1-\lambda)}t + 3\beta\right) - \cos\left(\sqrt{(1-\lambda)}t + \beta\right) \right] + O(\varepsilon^2) \quad (27)$$

### 3.2. Çok Ölçekli Lindstedt Poincare Metot

Denklem (8)'e  $\tau = \omega t$  zaman dönüşümü uygulanır ise

$$\omega^2 u'' + (1 - \lambda)u + \frac{\lambda}{2} \varepsilon u^3 = 0 \quad (28)$$

elde edilir. Burada ( ) gösterimi, yeni zaman değişkeni olan  $\tau$ 'ya göre türevi ifade etmektedir. Hızlı ve yavaş zaman ölçekleri yeni zaman değişkeni cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_0 = \tau = \omega t, \quad T_1 = \varepsilon \tau = \varepsilon \omega t, \quad T_2 = \varepsilon^2 \tau = \varepsilon^2 \omega t \quad (29)$$

Yeni zaman türevleri

$$\frac{d}{d\tau} = D_0 + \varepsilon D_1 + \varepsilon^2 D_2 + \dots \quad \frac{d^2}{d\tau^2} = D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1 + \varepsilon^2 (D_1^2 + 2\varepsilon D_0 D_2) + \dots \quad (30)$$

şeklinde ifade edilir. Bağımlı değişken ve tabii frekans aşağıdaki gibi seriye açılır.

$$u = u_0(T_0, T_1, T_2) + \varepsilon u_1(T_0, T_1, T_2) + \varepsilon^2 u_2(T_0, T_1, T_2) + \dots \quad (31)$$

$$(1 - \lambda) = \omega^2 - \varepsilon \omega_1 - \varepsilon^2 \omega_2 \dots \quad (32)$$

bu açılımlar denklem (28)'e yerleştirilir ve merteye ayrıştırması yapılır. Aynı şekilde başlangıç şartları da merteye ayrıştırmasına tabi tutulursa

$$O(1): \omega^2 D_0^2 u_0 + \omega^2 u_0 = 0 \quad u_0(0) = a_0, \quad D_0 u_0(0) = 0 \quad (33)$$

$$O(\varepsilon): \omega^2 D_0^2 u_1 + \omega^2 u_1 = -2\omega^2 D_0 D_1 u_0 + \omega_1 u_0 - \frac{\lambda}{2} u_0^3 \quad (34)$$

$$u_1(0) = 0, (D_0 u_1 + D_1 u_0)(0) = 0$$

$$O(\varepsilon^2): \omega^2 D_0^2 u_2 + \omega^2 u_2 = -2\omega^2 D_0 D_1 u_1 - \omega^2 (D_1^2 + 2D_0 D_2)(u_0) + \omega_1 u_1 + \omega_2 u_0 - \frac{3\lambda}{2} u_0^2 u_1 \quad (35)$$

ifadeleri elde edilir.

Birinci mertebedeki çözüm

$$u_0 = A(T_1, T_2) e^{i T_0} + ke = a(T_1, T_2) \cos(T_0 + \beta(T_1, T_2)) \quad (36)$$

Denkleme başlangıç şartları uygulanırsa

$$a(0) = a_0, \quad \beta(0) = 0 \quad (37)$$

ifadeleri elde edilir. Birinci merteye çözüm, denklem (34)'e yerleştirilir ve seküler terimleri elimine edecek olan denklem aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$-2i D_1 A + \frac{\omega_1}{\omega^2} A + -\frac{3\lambda}{2\omega^2} A^2 \bar{A} = 0 \quad (38)$$

Seküler ifadede,  $D_1 A = 0$  seçildiğinde  $\omega_1$  kompleks yapıda olmaz. Bu yüzden seçim uygundur. Bu durumda  $a = a(T_2)$ ,  $\beta = \beta(T_2)$  olacaktır.  $\omega_1$  ise aşağıdaki gibi bulunur.

$$\omega_1 = \frac{3\lambda}{2} A \bar{A} = \frac{3\lambda}{8} a^2 \quad (39)$$

$\varepsilon$  mertebesinde çözüm aşağıdaki gibidir.

$$u_1 = B e^{i T_0} + \frac{\lambda}{16\omega^2} A^3 e^{3i T_0} + ke = b \cos(T_0 + \gamma) + \frac{\lambda}{64\omega^2} a^3 \cos(3T_0 + 3\beta) \quad (40)$$

Denkleme başlangıç şartları uygulanırsa

$$b(0) = -\frac{\lambda a_0^3}{64\omega^2}, \quad \gamma(0) = 0 \quad (41)$$

ifadeleri elde edilir. Son mertebede, denklemler (36) ve (40), denklem (35)'de yerine konur ve seküler terimleri yok edecek denklem

$$2iD_1B + 2iD_2A - \frac{\omega_1}{\omega^2}B - \frac{\omega_2}{\omega^2}A + \frac{3\lambda}{2\omega^2} \left( A^2\bar{B} + \frac{\lambda}{16\omega^2}\bar{A}^2A^3 + 2A\bar{A}B \right) = 0 \quad (42)$$

şeklinde ifade edilir.

Seküler ifade,  $D_2A = 0$  seçilir ise  $\omega_2$  kompleks yapıda olmaz. Bu yüzden seçim uygundur. Cebirsel işlemler sonrasında denklem (42)'den aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$a = a_0, \quad b = -\frac{\lambda a_0^3}{64\omega^2}, \quad \beta = \gamma = 0, \quad \omega_2 = -\frac{3\lambda^2}{512\omega^2} a_0^4 \quad (43)$$

Nihai çözüm

$$u = a_0 \cos(\omega t) + \frac{\varepsilon \lambda a_0^3}{64\omega^2} [\cos(3\omega t) - \cos(\omega t)] + O(\varepsilon^2) \quad (44)$$

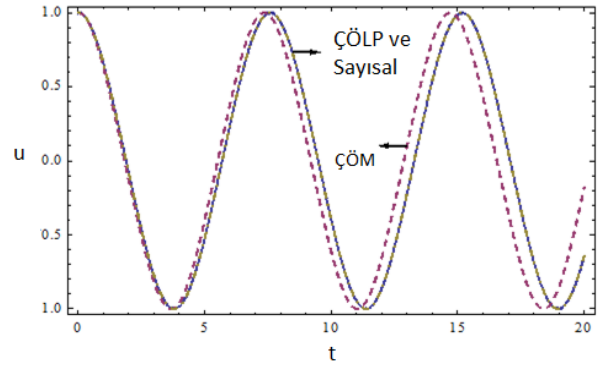
şeklinde elde edilir.

Burada frekans ifadesi aşağıdaki gibidir.

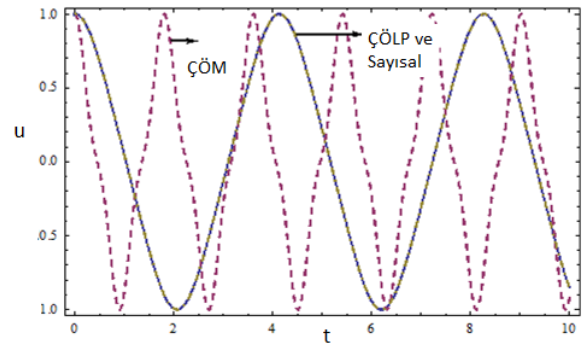
$$\omega = \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 - \lambda + \frac{3\varepsilon\lambda}{8} a_0^2 \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left( 1 - \lambda + \frac{3\varepsilon\lambda}{8} a_0^2 \right)^2 - \frac{12\varepsilon^2\lambda^2}{512} a_0^4}} \quad (45)$$

### 3.3. Sayısal Çözümler ile Karşılaştırma

Bu bölümde, ÇÖM ve ÇÖLP yöntemlerinin yaklaşık analitik çözümleri, MATHEMATICA' da yerleşik bir yöntem olan Runge-Kutta yöntemi kullanılarak sayısal olarak doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemi doğrudan integre ederek elde edilen sayısal integrasyon çözümü ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, denklemde bulunan parametrelerin farklı değerleri için yapılmıştır. Bu nedenle denklemdeki her bir parametrenin, denklemi nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekiller 2 - 4' de  $a_0 = 1$  ve  $\lambda = 0.5$  seçilmiştir. Şekil 2' de karşılaştırma  $\varepsilon = 1$  için yapılmıştır. Sayısal çözüm ile ÇÖLP çözümü çakışmasına rağmen ÇÖM yöntemi ile sayısal çözüm birbirinden ayrılmaktadır. Şekil 3' de pertürbasyon parametresinin değeri artırılarak  $\varepsilon = 10$  alınmıştır. Aynı şekilde ÇÖLP çözümü sayısal çözüm ile uygun sonuçlar göstermektedir. Ancak ÇÖM yöntemi ile sayısal çözümün genlik değerleri uyumlu sonuçlar gösterir iken frekans değerleri bakımından uygun sonuçlar göstermediği görülmektedir.

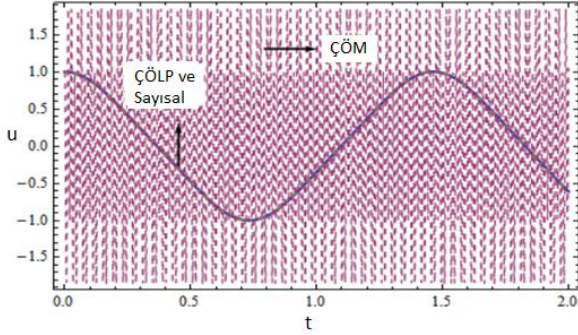


Şekil 2. Analitik ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması  $\varepsilon = 1 (a_0 = 1, \lambda = 0.5)$



Şekil 3. Analitik ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması  $\varepsilon = 10 (a_0 = 1, \lambda = 0.5)$

Şekil 4’de sonuçlar  $\varepsilon = 100$  için karşılaştırılmıştır. ÇÖLP çözüm ile sayısal çözüm uyum içinde olmasına rağmen ÇÖM yöntemi ile elde edilen çözüm fiziksel olmayan sonuçlar göstermektedir. Görüldüğü üzere kütlelinin yapmış olduğu titreşim hareketinin yapısı, kuvvetli doğrusal olmayan ve zayıf doğrusal olmayan sistemler için farklılıklar içermektedir.



Şekil 4. Analitik ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması  $\varepsilon = 100 (a_0 = 1, \lambda = 0.5)$

ÇÖLP yönteminin doğruluğunu göstermek için, başka metotlar ile elde edilen periyodlar ve tam çözüm periyod değerleri Tablo 1’de sunulmuştur. Görüldüğü gibi hem küçük salınım hem de büyük salınım genlik değerleri için ÇÖLP metodunun, tam ve başka metot çözümleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

#### 4. Sonuç

Gergin elastik bir tele bağlı kütlelinin doğrusal olmayan titreşim hareketi incelenmiştir. Sistemin hareket denkleminde ÇÖLP metodu ilk defa uygulanmıştır. ÇÖM) ve ÇÖLP yöntemleri kullanılarak hareket denkleminin yaklaşık analitik çözümleri elde edilmiştir. Belirtilen çözümler hareket denkleminin sayısal çözümü ile karşılaştırılmıştır. ÇÖLP metodu zayıf ve kuvvetli doğrusal olmayan sistemler için sayısal çözüm ile uyumlu sonuçlar verirken, ÇÖM metodunun kuvvetli lineer olmayan sistemler için sayısal çözüm ile uyumlu sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Yaklaşık analitik periyodların tam çözüm periyod ile karşılaştırılması

$a_0$	$T_{TAM}$ (Sun vd., 2007)	$T_{ÇÖLP}$	$T_{HD}$ (Sun vd., 2007)	$T_{VIM}$ (Jamshidi ve Ganji, 2010)	$T_{EDM}$ (Jamshidi ve Ganji, 2010)
0.1	6.621688	6.621680	6.621688	6.621237	6.621737
1	6.537508	6.533706	6.538331	6.517854	6.535726
10	6.322939	6.290502	6.323065	6.314678	6.320056

#### Kaynaklar

- Durmaz, S., Demirbağ, S. A., Kaya, M. O., 2011. Approximate solutions for nonlinear oscillation of a mass attached to a stretched elastic wire, Computers and Mathematics with Applications, 61, 578-585.
- Hu, H., 2004a. A classical perturbation technique which is valid for large parameters, Journal of Sound and Vibration, 269, 409-412.
- Hu, H., 2004b. A classical perturbation technique that works even when the linear part of restoring force is zero, Journal of Sound and Vibration, 271, 1175-1179.
- Hu, H., ve Xiong, Z. G., 2004. Comparison of two Lindstedt-Poincare type perturbation methods, Journal of Sound and Vibration, 278, 437-444.
- Jamshidi, N. ve Ganji, D. D., 2010. Application of energy balance method and variational iteration method to an oscillation of a mass attached to a stretched elastic wire, Current Applied Physics, 10, 484-486.

- Karahan, M. M. F., 2017. Approximate Solutions for the Nonlinear Third-Order Ordinary Differential Equations, Zeitschrift für Naturforschung A, 72(6), 547-557.
- Karahan, M. M. F., Pakdemirli, M., 2017a. Free and Forced Vibrations of the Strongly Nonlinear Cubic-Quintic Duffing Oscillators, Zeitschrift für Naturforschung A, 72(1), 59-69.
- Karahan, M. M. F., Pakdemirli, M., 2017b. Vibration Analysis of a Beam on a Nonlinear Elastic Foundation, Structural Engineering and Mechanics, 62(2), 171-178.
- Nayfeh, A. H., 1981. Introduction to Perturbation Techniques, John Wiley and Sons, New York, 532p.
- Pakdemirli M. ve Karahan, M. M. F., 2010. A New Perturbation Solution for Systems with Strong Quadratic and Cubic Nonlinearities, Mathematical Methods in the Applied Sciences, 33, 704-712.

Pakdemirli, M., Karahan, M. M. F. Karahan ve Boyacı H., 2009. A new perturbation algorithm with better convergence properties: Multiple Scales Lindstedt Poincare method, *Mathematical and Computational Applications*, 14, 31-44.

Pakdemirli, M., Karahan, M. M. F. Karahan ve Boyacı H., 2011. Forced Vibrations of Strongly Nonlinear Systems with Multiple Scales

Lindstedt Poincare Method, *Mathematical and Computational Applications*, 16, 879-889.

Sun, W. P., Wu, B. S. Ve Lim, C. W., 2007. Approximate analytical solutions for oscillation of a mass attached to a stretched elastic wire, *Journal of Sound and Vibration*, 300, 1042-1047.

## Gaz Atomizasyon Yöntemi ile AZ31 Mg Tozu Üretiminde Gaz Basıncının Etkisinin Araştırılması

### *Investigation of the Effect of Gas Pressure on AZ31 Mg Powder Production by Gas Atomization Method*

Mehmet AKKAŞ<sup>\*1,a</sup>, Kamal Mohamed EM AKRA<sup>2,b</sup>, Tayfun ÇETİN<sup>2,c</sup>, Mustafa BOZ<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 37150, Kastamonu

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 10.01.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 18.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 07.08.2018

#### Öz

Bu çalışmada, gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen AZ31 Mg alaşımı tozunun şekli ve boyutu üzerine gaz basıncının etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler 790 °C sabit sıcaklıkta, 2 mm nozul çapında ve 4 farklı gaz basıncı (5, 15, 25 ve 35 bar) uygulanarak yapılmıştır. Ergiyiğin atomize işlemi argon gazı ile yapılmıştır. Üretilen AZ31 Mg tozunun şeklini belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM), üretilen tozların iç-yapılarında oluşan fazları ve bu fazların % oranlarını belirleyebilmek için XRD ve XRF analizi, toz boyut analizi için ise lazer ölçüm cihazı kullanılmıştır. Üretilen AZ31 Mg alaşım tozlarının genel görünümünün ligament, çubuksu, damlamsı, flake (pul) ve küresel şeklinde olduğu, gaz basıncının artmasına bağlı olarak tozların şeklinin çoğunlukla flake ve küresel'e doğru değiştiği görülmüştür. Elde edilen en ince tozun 790 °C sıcaklıkta, 2 mm nozul çapında 35 bar gaz basıncında oluştuğu ve tozların genelinin damlamsı ve küresel şekilli olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AZ31 Mg alaşım tozu, Gaz atomizasyonu, Gaz basıncı

#### Abstract

In this study, the effect of gas pressure on the shape and size of the AZ31Mg alloy powder produced by the gas atomization method is investigated experimentally. Experiments were carried out at a constant temperature of 790 °C, with a diameter of 2 mm and by applying 4 different gas pressures (5, 15, 25 and 35 bar). The atomization of the melt is carried out with argon gas. Scanning electron microscopy (SEM) was used to determine the shape of the AZ31 Mg powder produced, XRD and XRF analyzes were used to determine the phases generated in the internal structures of the powders produced and percentage of these phases, and laser measurement device was used for powder size analysis. The general appearance of the AZ31 Mg alloy powders produced is in the form of ligaments, rods, droplet, flakes and spherical, and the shape of the powders has mostly changed to flake and spherical depending on the increase of the gas pressure. It was determined that the finest powder obtained was at a temperature of 790 °C, a gas pressure of 35 bar at a diameter of 2 mm, and that the overall powder was droplet and spherical.

**Keywords:** AZ31 Mg alloy powder, Gas atomization, Gas pressure

\*a Mehmet AKKAŞ; mehmetakkas@kastamonu.edu.tr; Tel: (0366) 871 85 56-112; orcid.org/0000-0002-0359-5142

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0992-7753

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-8060-344X

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-9148-0748



## 1. Giriş

Yüksek özgül mukavemet ve hafiflik avantajlarından dolayı magnezyum alaşımları savunma sanayi ve taşımacılık sektöründe son derece önemlidir (Mordike ve Ebert, 2001). Magnezyum ve alaşımları ayrıca yüksek ısı iletkenlik, yüksek boyutsal kararlılık, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümleme, iyi işlenebilirlik ve geri kolay geri dönüşüm özelliklerine sahiptir (Froes vd., 1998; Fredrich ve Schumann, 2001; Furuya vd., 2001). Bu gibi avantajlarından dolayı Mg alaşımları otomotiv, havacılık, bilgisayar, spor malzemeleri, mobil telefonlar gibi farklı sektörlerde değeri her geçen gün artmaktadır. Bunun yanısıra düşük ağırlık ve metabolizma uyumu açısından implant malzemesi olarak da kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Gray ve Luan, 2002; Duygulu vd., 2007; Kaya, 2007; Kaya vd., 2007). Magnezyum alaşımsız olarak düşük mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olduğundan alaşımlandırılarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, magnezyumun mukavemetini, korozyonu ve yangın direncini arttırmak için, genellikle alüminyum, çinko, zirkonyum ve nadir toprak elementleri gibi elementlerle alaşımlandırılırlar (Neite vd., 1996; Karagöz vd., 2009). Alaşımlandırma yapılan malzemelerde dayanım artacağından, magnezyum gibi şekillendirilebilirliği düşük malzemelerin ve alaşımlarının toz metalürjisi ile üretimi ihtiyaç haline gelmiştir.

Toz metalürjisi yöntemi ile kompozitler elde edilerek malzemelere yüksek sıcaklıkta yüzey aşınma direnci, yüzey sürtünmesi ve yüzey gerilmelerinin artırılması gibi özellikler kazandırılabilir. Toz metalürjisi yöntemiyle toz üretme tekniği 4 farklı yöntemle yapılır. Bunlar; mekanik yöntemler, kimyasal yöntemler, elektroliz yöntemi ve atomizasyon yöntemidir. Bu üretim yöntemleri içerisinde ince ve küresel tozlar elde etmek için en yaygın olarak gaz atomizasyon yöntemi kullanılır. Küresel toz arzulanmasının en önemli sebebi, presleme ve sinterleme aşamalarında toz-toz temasının homojen ve çok yönlü olması gerektiğinden istenmektedir (Oğuz vd., 2011).

Atomizasyon, ergitilmiş metalin su, hava ve gaz basıncı ile veya mekanik olarak çok küçük damlacıklara parçalanması ve katılaşması olarak tanımlanır. Bu yüzden atomizasyon işlemi, su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, santrifüj atomizasyonu ve vakum atomizasyonu olmak üzere 4 farklı bölüme ayrılır. Fakat üretilen metal ve metal dışı tozların yarısından fazlasının gaz atomizasyonu ile üretilmesi bu yöntemi üstün kılmaktadır. Gaz atomizasyonunda sıvı metal

demetini parçalamak için basınçlı akışkan olarak hava, azot, argon ve helyum gibi gazlar kullanılabilir (Yıldırım ve Özyürek, 2013; Gökçe vd., 2017). Gerçekte, gaz atomizasyon yöntemiyle ergitilebilen her türlü metal ve alaşım tozlarının üretimini gerçekleştirmek mümkündür.

Gaz atomizasyon yöntemiyle toz üretiminde; gazın cinsi, gaz basıncı, nozul çapı ve ergitme sıcaklığı gibi parametreler kullanılır. Gaz basıncının artmasıyla, ergitilmiş malzemenin sıcaklığı ve viskozitesi düşer bu da daha küçük boyutta toz üretilmesini mümkün kılar.

Bu çalışmada, üretilen tozların preslenebilirliğini ve sinterlenebilirliğini artırabilmek için küçük ve küresel tozlar üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın kullanımı olan AZ31 Mg alaşımının gaz atomizasyonu yöntemi ile toz üretimi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Gaz Atomizasyon Ünitesi'nde yapılmıştır. Şekil 1'de görülen Gaz Atomizasyon Ünitesi yedi temel bölümden oluşmaktadır.



Şekil 1. Gaz Atomizasyon Ünitesi

Bunlar; Ergitme fırını (yaklaşık olarak 1200 °C’de sürekli çalışabilir), Atomizasyon kulesi (paslanmaz çelikten imal edilmiştir), Nozul ve nozul tutucu (yakından eşlemeli ve dairesel delikli süpersonik), Toz toplama ünitesi, Gaz basınç rampası, Siklonlar ve Kontrol paneli. Kullanılan AZ31 Mg alaşımı külçe halinde Varzene Metal şirketinden temin edilmiştir.

Deneyler 790 °C sabit sıcaklıkta, 2 mm nozul çapı ve 4 farklı gaz basıncı (5, 15, 25 ve 35 Bar) uygulanarak yapılmıştır. Atomizasyon gazı olarak argon gazı kullanılmıştır.

Toz boyut analizleri, Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Mastersizer 3000 model cihaz ile yapılmıştır. Cihazın çalışma

prensibi, numune üzerine kırmızı ve mavi lazer ışığı gönderilir. Numuneden yansıyan ve kırılan lazer ışığı detektörler ile incelenir. Saçılan ışığın açısı ve şiddeti numunenin parçacık boyut dağılımını belirler.

Üretilen AZ31 Mg alaşım tozlarının boyut değerleri Dv(10), Dv(50) ve Dv(90) olarak Tablo 1’de verilmiştir. Bunun yanısıra Şekil 2’de ise gaz basıncının toz boyutuna etkisi net bir şekilde görülmektedir.

Gaz atomizasyon yöntemiyle toz üretiminde gaz basıncının toz boyutu ve şekli üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Tablo 1’de görüldüğü gibi bu çalışmada en yüksek gaz basıncı değeri 35 bar olarak alınmıştır.

**Tablo 1.** AZ31 Mg tozlarının boyut değerleri

Sıcaklık (°C)	Nozul Çapı (mm)	Gaz Basıncı (bar)	Dv (10) µm	Dv (50) µm	Dv (90) µm	Spesifik Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /kg)
790	2	5	100	383	984	27.89
		15	54	144	402	57.31
		25	28.1	94	263	127.8
		35	24.5	66	146	117.8

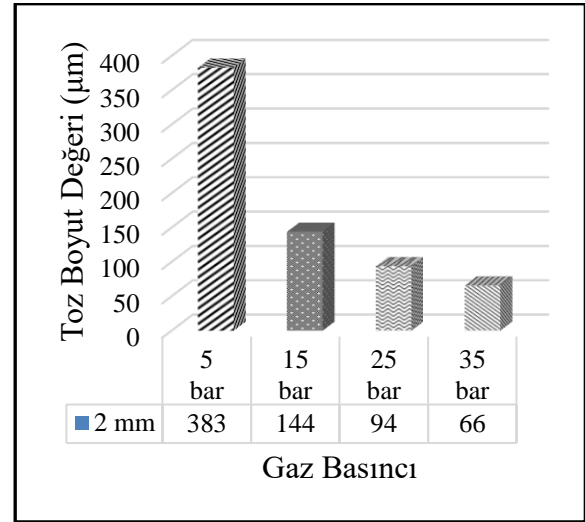
Tablo 1 ve Şekil 2 incelendiğinde, üretilen tozların 0.1 ile 984 µm aralığında olduğu ve en küçük ortalama toz boyutunun 66 µm olarak 35 bar gaz basıncında elde edildiği görülmektedir. 35 bar gaz basıncında üretilen tozların %10’u 24.5 µm altı iken, %90’ı ise 146 µm altı tozlardan oluşmuştur. Üretilen tozların en az %10’unun ise 10 µm altı tozlardan oluştuğu tespit edilmiştir, ancak bu tozlar gerek atomizasyon kulesi ve siklonlara gerekse tozların depolandığı kaplara sıvandığı için ölçümü mümkün olmamıştır.

Literatürde kg başına alan olarak bilinen Spesifik Yüzey Alanı incelendiğinde, gaz basıncının artmasıyla spesifik yüzey alanının arttığı görülmektedir. Spesifik yüzey alanı hesabı:

$S=6/PM.D$  denkleminden çıkarılmaktadır.

Burada; S: Spesifik yüzey alanı, PM: teorik malzeme yoğunluğu, D: ortalama parçacık boyutu olarak tanımlanır.

Spesifik yüzey alanı üretilen tozların preslenebilirlik ve sinterlenebilirlik özelliklerini etkilediği bilinmektedir.



**Şekil 2.** Farklı gaz basınçlarında üretilen

Gaz atomizasyonu yöntemi ile AZ31 Mg tozu üretiminde yapılan deneyler sonucunda, gaz basıncının etkisi açıkça görülmüştür. Bunun yanısıra gaz atomizasyonu yöntemi ile toz üretiminde atomizasyon sıcaklığının ve nozul çapının da etkisi vardır. Fakat gaz atomizasyonu ile toz üretiminden önemli parametre atomizasyon gazı basıncı olduğu düşünülmektedir.

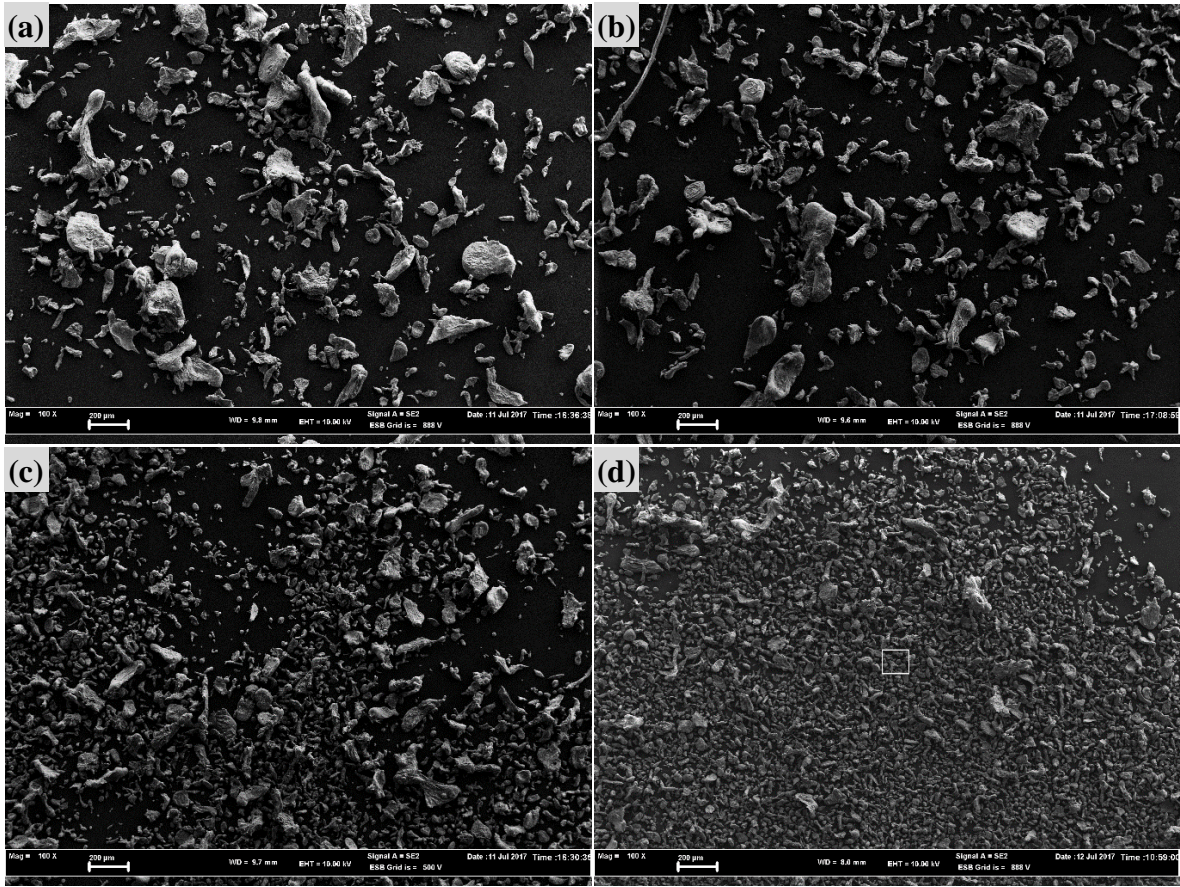


Gaz basıncının artması ile üretilen tozların tane boyutunun küçüldüğü Şekil 2’de verilen toz boyut değerlerinde açıkça anlaşılmaktadır.

AZ31 Mg tozlarının boyut değerleri. Şekil 2 incelendiğinde gaz basıncının artmasına bağlı olarak ortalama toz boyutunun küçüldüğü görülmektedir. 5 bar gaz basıncında üretilen tozun ortalama toz boyutu (Dv50) 383 µm iken, gaz basıncı 35 bar’a artırıldığında ortalama toz boyutu (Dv50) 66 µm’a kadar küçülmüştür.

Bu çalışmada farklı gaz basınçlarında üretilen tozlardan alınan SEM görüntüleri (100X) Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 3’ten görüldüğü gibi gaz basıncının artması ile toz boyutu küçülmektedir. Gaz basıncına bağlı olarak toz boyutundaki küçülmenin sebebi, yüksek gaz basınçlarında ergiyik metale daha yüksek enerji aktarılması sağlandığı için metal tozu üretiminde ortalama toz boyut değerinin küçüldüğü olarak yorumlanabilir.



**Şekil 3.** Farklı gaz basınçlarında a) 5 bar b) 15 bar c) 25 bar d) 35 bar üretilen tozların SEM görüntüleri (100X).

Üretilen tozların genellikle karmaşık, ligament, yapraksı, damlamsı ve küresel şekilde olduğu Şekil 4’ den anlaşılmaktadır.

Şekil 4’de verilen SEM görüntülerinden gaz basıncının artmasına bağlı olarak toz şeklinin ligament, çubuksu ve karmaşık şekilden, damlamsı ve küresel’e doğru değiştiği görülmektedir. Özellikle 35 bar gaz basıncında üretilen ve Şekil 4’de SEM görüntüsü verilen tozların ciddi anlamda küçüldüğü, şeklinin ise

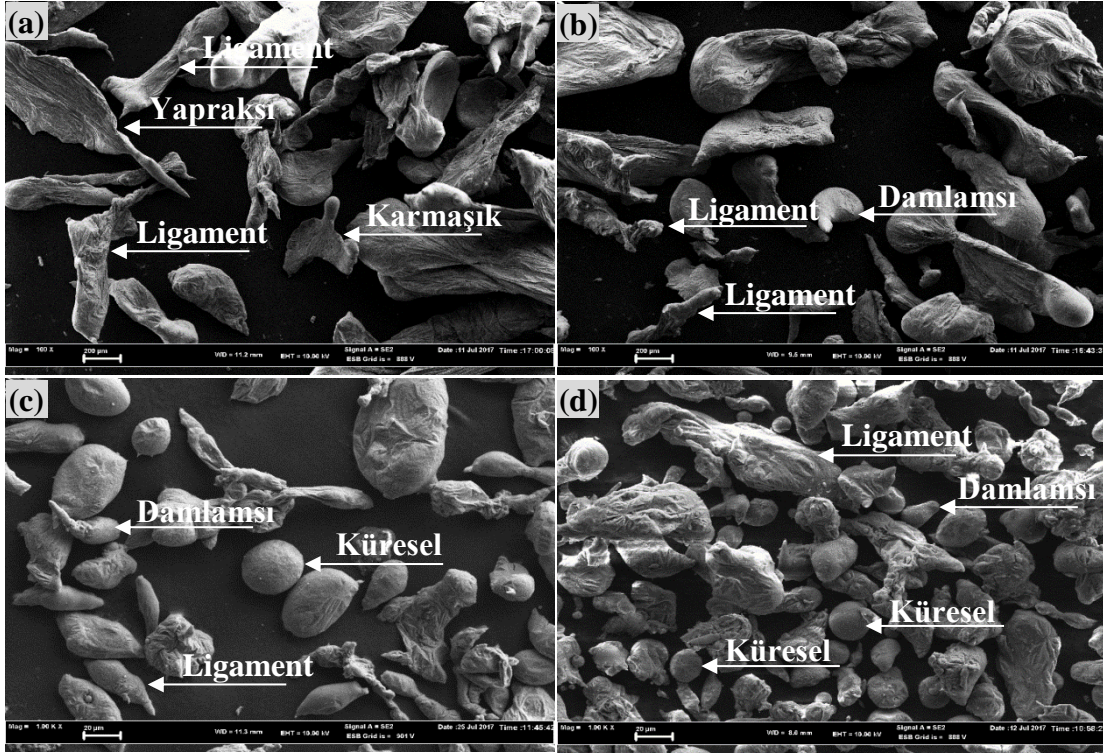
damlamsı ve küresel olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4 a ve b incelendiğinde tozların ligament ve karmaşık şekilli olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebinin atomizasyon gaz basıncının düşük olması ve atomizasyon kulesinin yeterli yükseklikte olmaması olarak düşünülmektedir. Zira toz partikülleri küreselleşebilecek zamanı bulamadan atomizasyon kulesinin tabanına çarparak katılışmaktadırlar.

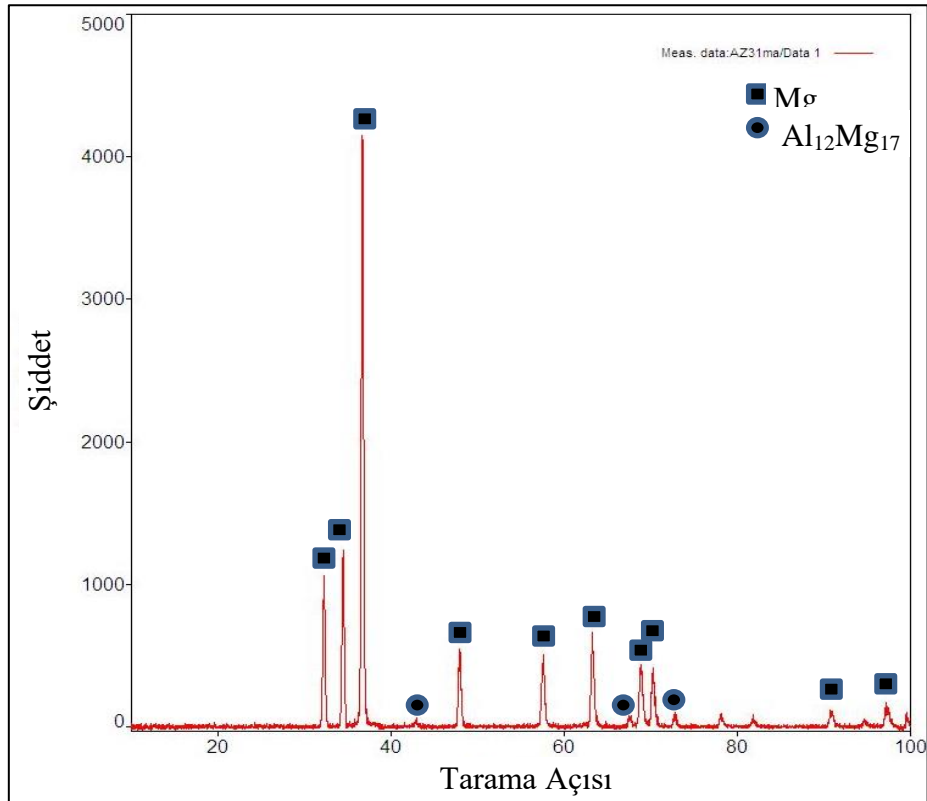


Preslenebilirlik ve sinterlenebilirlik açısından toz-toz teması olduğu için genellikle küresel toz arzu edilmektedir. Bu yüzden, bu çalışmada amacımız

genellikle küresel toz üretimi olmuştur. Kürese tozların dışındaki tozlar da farklı üretim yöntemlerinde (filtre yapımında) kullanılabilir.



Şekil 4. Farklı gaz basınçlarında a) 5 bar b) 15 bar c) 25 bar d) 35 bar üretilen tozların SEM görüntüleri (1000X).



Şekil 5. Üretilen AZ31 Mg alaşım tozunun XRD grafiği.

Üretilen magnezyum alaşımı AZ31 Mg tozunun XRD grafiğinde (Şekil 5),  $\alpha$  (Mg) ve  $\beta$  ( $Al_{12}Mg_{17}$ ) fazları tespit edilmiştir. Şekil 5’de verilen XRD grafiği sonucunda Mg ve Al elementlerinin katılma boyunca  $Al_{12}Mg_{17}$  bileşimini oluşturduğu yorumlanmaktadır. Bunun yanısıra üretilen tozların kimyasal analizini belirleyebilmek amacıyla XRF analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Üretilen AZ31 Mg alaşım tozunun XRF analiz sonucu.

Element	Mg	Al	Zn	Mn	Si
İçerik (Ağırlık %)	94.71	2.75	1.62	0.61	0.22

Tablo 2’de verilen sonuçlar doğrultusunda, üretilen AZ31 Mg alaşım tozunun kimyasal analizi %94.71 Mg, %2.75 Al, %1.62 Zn, %0.61 Mn ve %0.22 Si içermektedir. Çünkü geçmişte yaptığımız çalışmalarda gaz atomizasyonu ile toz üretiminin en büyük avantajı üretilen toz ile hammadde arasında kimyasal bileşimin neredeyse değişmediğini tespit ettik. Bu yüzden diğer parametrelerin kimyasal analizine gerek duymadık. Mn içeriğinin fazla olması ise atomizasyon kulesinin çok iyi temizlenmemiş olması ve daha önce yapılan üretimlerden kaldığını yorumlayabiliriz.

Üretilen tozlar toz toplama ünitesinden alınırken oksijen ile teması kesmek neredeyse imkânsız bizim için. Ancak yaptığımız farklı çalışmalarda ürettiğimiz tozların preslenebilirliğini ve sinterlenebilirliğini çalıştığımızda çok az miktarda oksijen olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden bu çalışmada oksijen değerlendirmesi yapmadık.

### 3. Sonuçlar

Farklı parametreler uygulanarak gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen AZ31 Mg tozunun karakterizasyonu üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Gaz atomizasyon yöntemi ile farklı boyut ve şekilde tozlar üretilmiştir. En küçük toz boyut değeri 790 °C sıcaklık, 2 mm nozul çapı ve 35 bar gaz basıncında elde edilmiştir.
2. Artan gaz basıncına bağlı olarak toz boyut değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.
3. Gaz basıncının artması ile, üretilen tozların şekilleri ligament, pulsu ve karmaşık yapıdan

damlamsı ve küresel yapıya doğru değiştiği gözlemlenmiştir.

4. Üretilen AZ31 Mg alaşım tozunun XRD ve XRF analizleri sonucunda iç yapıda  $\alpha$  ve  $\beta$  ( $Mg_{17}Al_{12}$ ) fazları tespit edilmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Gaz Atomizasyon Ünitesi’nde yapılmıştır.

### Kaynaklar

- Duygulu, O., Kaya, R.A., Oktay, G. and Kaya, A.A., 2007. Investigation on the Potential of Magnesium Alloy AZ31 as a Bone Implant, Materials Science Forum, 546-549, 421-424.
- Fredrich, H. and Schumann, S., 2001. Research for a New Age of Magnesium in the Automotive Industry, J. Mat. Proc. Tech., 117, 276-28.
- Froes, F.H., Eliezer, D. and Aghion, E., 1998. The Science, Technology, and Applications of Magnesium. J. Mat. Proc. Tech., 50 (9), 30-34.
- Furuya, H., Kogiso, N., Matunaga, S. and Senda, K., 2001. Applications of Magnesium Alloys for Aerospace Structure Systems, Materials Science Forum, 341-348.
- Gökçe, A., Fındık, F., ve Kurt, A.O., 2017. Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri. Engineer & the Machinery Magazine, 58, 686.
- Gray, J.E. and Luan, B., 2002. Protective Coatings on Magnesium and its Alloys—A Critical Review, J. Alloys Compd., 336, 88-113.
- Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R., ve Atapek, Ş.H., 2009. Metalik toz işleme teknolojisi ve prosesleme kademeleri açısından parametrik ilişkiler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:XXII, Sayı:3, 77-87.
- Kaya, A.A., 2007. Future of Magnesium: Applications in Transportation and Bone Surgery, 10th Int. Symposium on Advanced Materials (ISAM-2007), Islamabad, Pakistan.
- Kaya, A.A., Kaya, R.A., Witte, F., and Duygulu, Ö., 2007. Useful Corrosion- Potential of Magnesium Alloys as Implants, International Corrosion Engineering Conference, Seoul, Korea.
- Mordike, B.L., Ebert, T., 2001. Magnesium Properties- Applications-Potential, Mat. Sci. Eng. A, 302, 37-45.

Neite, G., Kubota, K., Higashi, K. and Hehmann, F., 1996. Chapter 4-Magnesium-Based alloys, in: R.W. Cahn, P. Haasen, E.J. Kramer (Eds.), *Structure and Properties of Nonferrous Alloys*, vol. 8, 113-212.

Oğuz, Ş., Öztürk, Z., Uzun, E., Kurt, A. ve Boz, M., 2011. Gaz atomizasyonu yöntemi ile kalay tozu

üretiminde gaz basıncının toz boyutu ve şekline etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 565-568.

Yıldırım, M., and Özyürek, D., 2013. The effects of Mg amount on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys, *Materials & Design*, 51, 767-774.



## Cu25W Kompozit Tozunun Bilyeli Öğütme Yöntemiyle Üretimine Farklı İşlem Kontrol Katkılarının Etkisinin İncelenmesi

*Investigation of the Effect of Different Process Control Agents on the Production of Cu25W Composite Powder via Ball Milling Technique*

**Serkan BIYIK\***

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 61530, Trabzon*

• Geliş tarihi / Received: 25.05.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 02.08.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 08.08.2018

### Öz

Bakır (Cu) esaslı kompozitler, özellikle de tungsten (W) veya molibden gibi refrakter metal içeren bileşimler geleneksel malzemelere göre daha geniş bir sıcaklık aralığında üstün fiziksel ve mekanik özellikler sergilerler. Cu-esaslı refrakter metal içerikli kompozitler yüksek sertlikleri, iyi derecede ısıl ve elektriksel iletkenlikleri ve ark-erozyonuna karşı yüksek dirençleri sebebiyle özellikle elektrik kontak malzemeleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu kompozitlerin bilyeli öğütme yöntemiyle üretimi mümkün olmakla birlikte bu yöntemde mevcut olan işlem kontrol katkısı, öğütme hızı, bilye-toz-ağırlık oranı, öğütme süresi vb. gibi birçok işlem değişkenlerinin etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada; bilyeli öğütme değişkenlerinden bir tanesi olan işlem kontrol katkısının, Cu-esaslı W-takviyeli kompozit tozunun üretimine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla sıvı işlem kontrol katkılarından olan etanol ve metanol; element haldeki Cu ve W tozlarından hazırlanan karışımlara ayrı ayrı katılarak iki istasyonlu gezegen tip bilyeli öğütücüde öğütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Etanol ve metanol katkılarının Cu25W toz boyut ve morfolojisine olan etkileri parçacık boyut analizi ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Artan öğütme süresi ile birlikte her iki bileşimde de ortalama parçacık boyutunda azalma gözlenmiştir. Söz konusu azalma özellikle metanol katkısı içeren toz karışımında daha belirgin olduğundan dolayı Cu25W kompozit tozunun üretiminde ağırlıkça % 2'lik oran için bir işlem kontrol katkısı olarak metanolün etanole göre daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, metanol katkısı ile 25 saatlik öğütme süresi sonunda etanol katkılı toz karışımına nazaran daha homojen bir dağılım elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Bakır-esaslı kompozitler, Bilyeli öğütme, Etanol, İşlem kontrol katkısı, Metanol, Tungsten

### Abstract

Copper (Cu) based composites, especially compositions containing refractory metals such as tungsten (W) or molybdenum, exhibit superior physical and mechanical properties over a wide range of temperatures compared to conventional materials. Due to their high hardness, good electrical and thermal conductivities, and excellent arc-erosion resistance; Cu-based refractory metal reinforced composites are frequently used as electrical contact materials. Although, it is possible to produce aforementioned composites via ball milling technique, this method also contains several parameters that have to be investigated in detail, such as process control agent, milling speed, ball-to-powder weight ratio, milling time, and so on. In this paper; the effect of process control agent, which is one of the most important parameters in ball milling technique, on production of Cu-based W-reinforced composite powder was investigated. For this purpose, two different liquid process control agents, namely ethanol and methanol were separately added to powder mixtures containing elemental Cu and W, and then ball milling experiments were performed using a two stationary planetary-type ball mill. The effects of ethanol and methanol additions on particle size and morphology of Cu25W powder mixture were investigated using laser diffraction analysis (Mastersizer) and scanning electron microscopy (SEM). It was found that average particle size values of both compositions decreased with increasing milling duration. Considering its improved particle size reduction effectiveness as a process control agent, methanol at the amount of 2 wt.% was found to be more effective comparing to the same amount of ethanol in terms of producing Cu25W composite powder. Besides, more homogeneous dispersion of elements was achieved in powder mixture containing methanol after ball milling duration of 25 hours.

**Keywords:** Copper-based composites, Ball milling, Ethanol, Process control agent, Methanol, Tungsten

\* Serkan BIYIK; serkanbiyik@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 81 84; orcid.org/0000-0002-6083-0802

## 1. Giriş

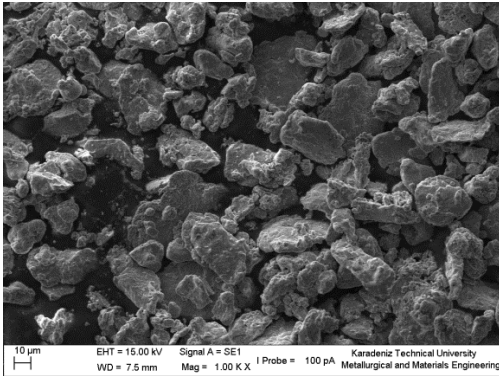
Elektrik kontakları röle veya kontaktör gibi elektromanyetik anahtarların en önemli elemanlarından biri olup elektrik devresinin belirlenen zamanlarda açılıp kapanması görevini üstlenirler. Kontaklar, üzerlerinden elektrik akımı geçtiği için hem mekanik hem de elektriksel olarak aşınmaya maruz kalırlar. Elektriksel aşınma veya ark-erozyonu özellikle iki kontak arasındaki malzeme transferinin ve kontak yüzeylerindeki bozunumların en önemli sebebidir (Bıyık vd., 2015; Li vd., 2017; Zhu vd., 2017). Elektrik kontaklarının sürekli açılıp kapanması ile veya artan çevrim sayıları ile kontak yüzeylerindeki bozunum ve malzeme kaybı da artmaktadır (Bıyık ve Aydın, 2016). Elektrik kontaklarında oluşabilecek bir arıza kentlerde enerji çöküşü, telefon sistemlerinin bozulması ve hatta bir uçağın kontrolden çıkması gibi çeşitli trajik sonuçlar doğurabilir. Bu yüzden elektrik kontakları için tercih edilecek malzemelerin yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, yüksek sertlik, oksit, sülfür ve diğer bileşiklere karşı yüksek reaksiyon direnci ve yüksek ergime sıcaklığı gibi birtakım özelliklere sahip olmaları arzu edilir (Feng vd., 2005; Pandey vd., 2008; Cosovic vd., 2012). Ancak hiçbir malzeme bütün bu özelliklere tek başına sahip olmadığından emniyet, tedarik edilebilme, ömür ve maliyet gibi değişkenler göz önüne alınarak belirlenen her uygulama için farklı özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda elektrik endüstrisindeki çoğu kontak uygulamalarında bakır (Cu) esaslı kompozit kontak malzemeleri tercih edilmektedir (Bıyık ve Aydın, 2015; Shi vd., 2015). Bakırın özellikle yüksek sıcaklıklardaki ark-erozyon performansını iyileştirmek ve sertliğini artırmak için tungsten (W) veya molibden gibi refrakter metaller kullanılmakta ve yeni kompozitler geliştirilmektedir (Bıyık, 2017; Dong vd., 2017; Yusefi ve Parvin, 2017). Kompozitlerin üretiminde geleneksel toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanılırken, kompozit tozların üretiminde bilyeli öğütme yönteminden faydalanılmaktadır (Bıyık ve Aydın, 2017/1). Bilyeli öğütme yöntemi ile soğuk kaynak ve kırılma olayları arasındaki denge sağlandığında toz parçacıklarındaki boyut küçülmeleri ile birlikte daha homojen dağılımlı i yapılar elde edilebilmektedir (Bıyık ve Aydın, 2017/2). Homojenliğin sağlanamaması ve yerel bileşim farklılıkları (segregasyon) gibi durumlar kontakların performansını olumsuz etkileyeceğinden bilyeli öğütme yönteminin önemi burada ön plana çıkmaktadır. Bilyeli öğütme yönteminden alınacak verim, toz karışımına ilave edilecek

işlem kontrol katkılarının türü ve miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Suryanarayana, 2004). İşlem kontrol katkıları katı, sıvı veya gaz halde olabilir. Kullanılan toz karışımının içeriğine (sünek veya gevrek toz) bağlı olarak en uygun işlem kontrol katkısının ve miktarının, yapılacak öğütme deneyleri ile belirlenmesi gerekir. Katı işlem kontrol katkıları olarak stearik asit, polietilen glikol (PEG) ve çinko stearat kullanılırken sıvı halde en çok tercih edilen işlem kontrol katkıları etanol ve metanoldür. Özellikle elektrik kontak malzemelerinin üretimi gibi yüksek saflık gerektiren uygulamalarda, katı işlem kontrol katkılarının sıvı işlem kontrol katkılarına göre içyapıda safsızlık oluşturma eğilimleri daha yüksek olabileceği için sıvı işlem kontrol katkılarına yönelim daha uygun görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada bilyeli öğütme yöntemi kullanılarak etanol ve metanol gibi iki farklı türde sıvı işlem kontrol katkısı içeren Cu-W kompozit tozları üretilmiş ve bunların toz boyutu ve morfolojisindeki değişimler incelenerek daha homojen bir içyapı elde edilmesi ve böylece kontak performansını iyileştirici etki yaratılması amaçlanmıştır.

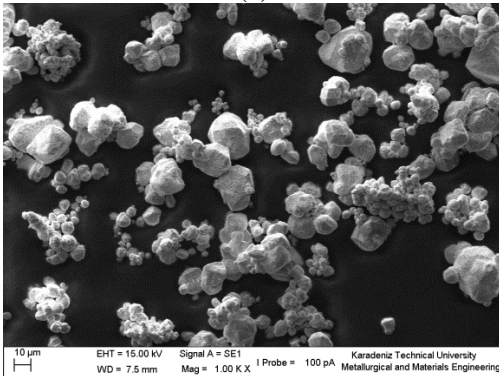
## 2. Amaç, Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada matris fazı olarak Cu, takviye fazı olarak ise W tercih edilmiştir. Bilyeli öğütme deneylerinde kullanılan başlangıç tozları sırasıyla elementel Cu (maksimum toz boyutu 44 µm, % 99 saflıkta) ve W (ortalama toz boyutu 12 µm, % 99.9 saflıkta) tozlarıdır. Başlangıç toz morfolojilerinin taramalı elektron mikroskobu (Zeiss Evo LS 10) görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Öncelikle başlangıç tozları 75:25 ağırlık oranlarında karıştırılarak aynı içeriğe sahip iki karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara % 2'lik ağırlık oranında işlem kontrol katkıları (etanol ve metanol) ilave edilmiştir. Böylece iki farklı sıvı işlem kontrol katkısı içeren iki ayrı karışım elde edilmiştir. Hazırlanan karışımlar tungsten karbürden imal edilen öğütme kaplarına yerleştirilmiş ve bilye malzemesi olarak yine tungsten karbürden üretilen 10 mm çapında bilyeler tercih edilmiştir. Öğütme kapları iki istasyonlu bir bilyeli öğütücüye (Retsch PM 200) yerleştirilerek, hazırlanan toz karışımlarının 300 d/dk hızda ve 10:1 bilye-toz-ağırlık oranında öğütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Belirli aralıklarla öğütücü durdurularak öğütme kabı sıcaklığının ortam sıcaklığına düşmesi sağlanmıştır. Her çevrim aralığı sonunda parçacık boyut analizi cihazı (Malvern Mastersizer 2000) kullanılarak ortalama toz boyutları belirlenmiş ve öğütme işlemine tekrar devam edilerek 25 saatlik

öğütme süresine erişilmiştir. Ayrıca, ortalama toz boyutunun öğütme süresi ile değişimi süresince toz morfolojisindeki değişimler taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Buna göre işlem kontrol katkısı olarak etanol ve metanolün kullanılması sonucunda son toz boyutlarında ve morfolojilerinde oluşan farklılıklar ve homojenlik durumları karşılaştırılmış ve Cu25W kompozit tozunun üretimi için %2'lik ağırlık oranında en uygun sıvı işlem kontrol katkısının türü belirlenmiştir. Bu çalışmada, mekanik alaşımlamada görülen Cu-W arasında yapısal dönüşüm oluşturmadan ziyade bilyeli öğütme yöntemiyle toz boyut küçülmeleri ile birlikte daha homojen bir içyapı oluşturma üzerine odaklanılmıştır. Böylece yerel bileşim farklılıkları en aza indirgenerek elementlerin elektrik kontak malzemesi yüzeyleri üzerinde dengeli dağılımı sağlanarak fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 1.** Başlangıç toz morfolojileri; (a) Cu ve (b) W tozu.

### 3. Bulgular ve Tartışma

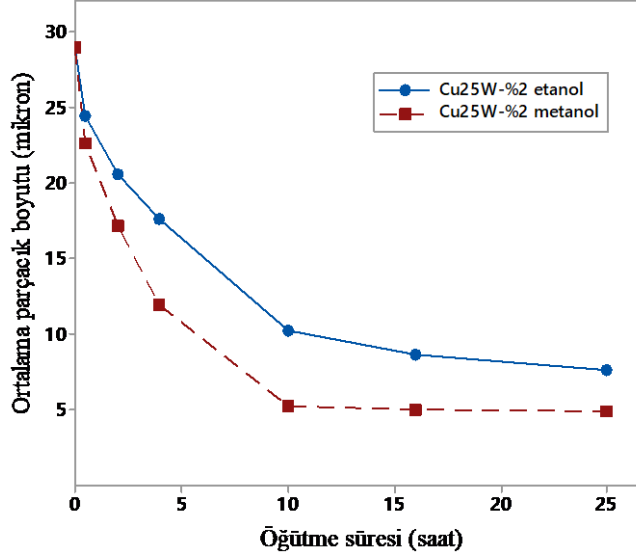
Başlangıç tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, Cu tozunun düzensiz (Şekil 1a), W tozunun ise açılı (Şekil 1b) bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, takviye elemanı olan tungstenin matris elemanı olan bakıra göre çok daha düşük boyutlu olduğu aynı görüntülerden

desteklenmektedir. Parçacık boyut analizi cihazı kullanılarak her öğütme çevrimi sonunda Cu25W toz karışımlarından elde edilen ortalama toz boyutu değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre etanol ve metanol kullanımına bağlı olarak ortalama toz boyutu değerleri de her çevrim aralığı sonunda değişim göstermiştir. İşlem kontrol katkılı numunelerde gözlenen durumun aksine işlem kontrol katkısı içermeyen numunede artan öğütme süresi ile toz boyutlarında ilk 4 saate kadar artış gözlenmiştir (Bıyık ve Aydın, 2017/2). Bu bağlamda kısa süreli öğütmelerde işlem kontrol katkısı kullanımının toz boyutu üzerine olumlu etkisi ön plana çıkmaktadır.

Bilyeli öğütme işleminde yüksek enerjili öğütme işlemine maruz kalan toz parçacıkları bilye-toz-bilye, bilye-toz-değirmen yüzeyi çarpışmaları sonucunda hem morfolojik hem de boyutsal anlamda değişim gösterirler. Bilyeli öğütme sayesinde sürekli olarak plastik deformasyon, kırılma, soğuk kaynak, yeniden kırılma ve kaynaklanma olayları etkisi ile kademeli olarak değişim gösteren ve son derece homojen mikro yapıların elde edilebilmesi mümkündür. Bilyeli öğütme ile ilgili yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde öğütmenin ilk evrelerinde toz boyutunun soğuk kaynak etkisi altında genellikle dalgalandığı, ilerleyen evrelerde ise kademeli olarak azaldığı ve kararlı hale ulaştığı görüşü hakimdir (Bıyık ve Aydın, 2017). Bununla birlikte, kullanılan tozların başlangıç boyutu ve morfolojisi, öğütücü kap malzemesi, kullanılan bilye malzemesi ve boyutları, bilyeli öğütme değişkenlerinin seçimi, özellikle de işlem kontrol katkısının etkisi; işlem verimi açısından diğer dikkate alınacak etmenler arasında sayılabilir. Bu çalışmada işlem kontrol katkısı olarak etanol ve metanolün kullanılması sonucunda Cu25W toz karışımında ortaya çıkan değişimler Şekil 2'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 2, Tablo 1'deki değerlerin kullanılması ile elde edilen bir grafik olup, ortalama toz boyut değerlerinin işlem kontrol katkısından bağımsız olarak öğütme süresi ile birlikte kademeli olarak azaldığını ortaya koymaktadır. Söz konusu azalmanın derecesi özellikle ilk 10 saat için daha belirgindir. Sonrasında ise ortalama toz boyutu değerlerinde önemli ölçüde değişim gözlenmemiştir. Başlangıç ortalama toz boyutu 28.897 µm olan Cu25W tozunun 25 saatlik öğütme süresi sonunda son toz boyutu etanol ve metanol kullanılmasıyla sırasıyla 7.621 ve 4.875 µm değerlerine düşmüştür (Tablo 1). İşlem kontrol katkıları ve ortalama toz boyut değerleri incelendiğinde, metanolün etanole göre ortalama toz boyutu değerleri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür (Şekil 2).

**Tablo 1.** Artan öğütme süresi ile birlikte etanol ve metanol katkılarına bağlı olarak değişen Cu25W ortalama toz boyut değerleri.

Kimyasal bileşim	Öğütme süresi (saat) ve ortalama toz boyutu ( $\mu\text{m}$ )						
	0	0.5	2	4	10	16	25
Cu25W (katkısız)	28.897	27.771	32.751	32.760	17.225	9.366	6.964
Cu25W-% 2 etanol	28.897	24.389	20.536	17.532	10.236	8.627	7.621
Cu25W-% 2 metanol	28.897	22.589	17.166	11.940	5.264	5.024	4.875

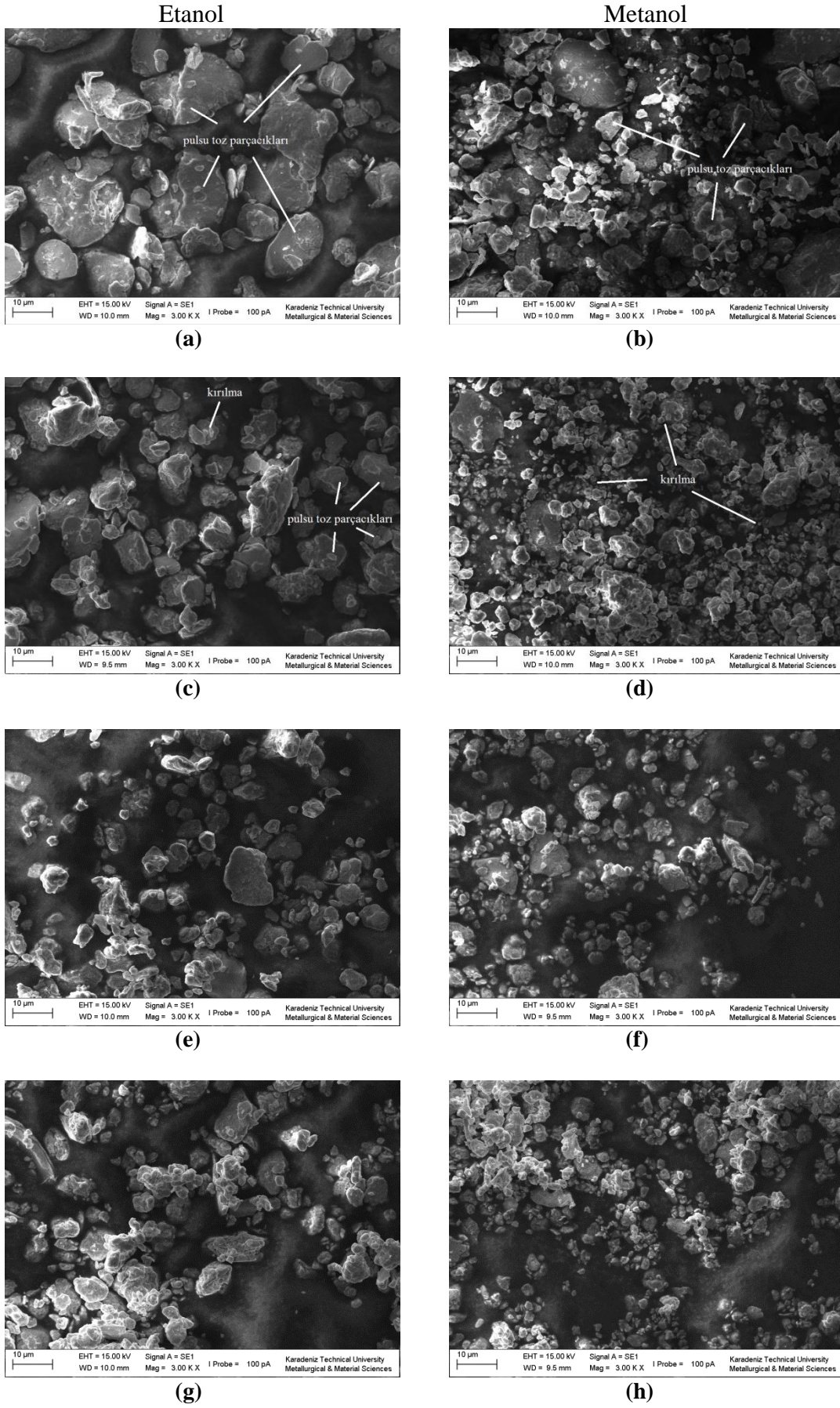
**Şekil 2.** Etanol ve metanol katkılarının Cu25W toz karışımının ortalama toz boyutuna etkisi.

Etanol ve metanol katkılarının 2, 10, 16 ve 25 saatlik öğütme süreleri sonunda Cu25W toz morfolojisine etkisini gösteren SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. İlk 2 saatlik öğütme süresi sonundaki toz morfolojileri incelendiğinde etanol katkıli numunede (Şekil 3a) metanol katkıli numuneye (Şekil 3b) göre daha yüksek oranda pulsu yapıların mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum parçacık boyut analizi sonuçlarına da yansımış ve 2 saatlik öğütme süresi sonunda etanol ve metanol kullanılması sonucunda toz boyut değerleri başlangıç boyutu olan 28.897  $\mu\text{m}$  değerinden sırasıyla 20.536 ve 17.166  $\mu\text{m}$  değerlerine düşmüştür. Aradaki boyut farkı özellikle soğuk kaynak etkisinin kırılmaya göre baskın olmasıyla belirginleşen pulsu yapıların çoğunlukta olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum çoğunlukla sünek metal tozlarının öğütülmesi sırasında meydana gelen soğuk kaynak eğiliminin, toz parçacıklarının kırılmasını engelleyici bir düzen oluşturmasıyla ilişkilidir (Suryanarayana, 2004). Toz parçacıkları arasındaki soğuk kaynak etkisini en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için özel kimyasallar, yağlayıcılar veya yüzey işlemcileri olarak da bilinen işlem kontrol katkılarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Özellikle ilk 2 saatlik öğütme işlemi sonunda elde edilen toz morfolojileri

incelendiğinde takviye parçacıklarının matris tozları üzerinde yeterince homojen dağılmadığı görülmektedir. Artan öğütme süresi ile birlikte, özellikle de 10 saate kadar kırılma etkisinin bilyeli öğütmede soğuk kaynak etkisine göre daha hakim olduğu gözlenmiştir. Söz konusu süre sonunda Tablo 1'den de görüleceği üzere toz boyut değerlerinin etanol katkıli numune için 10.236  $\mu\text{m}$ ; metanol katkıli numune içinse 5.264  $\mu\text{m}$  değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 3c'de pulsu yapılarıdaki azalma dikkat çekerken, Şekil 3d'de ise daha etkin bir kırılma sonucu dengeli bir öğütme işleminin gerçekleştiği görülmektedir. 10 saatlik öğütme süresinin üzerinde etanol katkıli numunede kademeli bir değişim gözlenirken (Şekil 3e ve g), metanol katkıli numunede ise önemli bir değişime rastlanmamıştır (Şekil 3f ve h).

25 saatlik öğütme süresi sonunda toz boyut değerlerinin etanol ve metanol kullanımı için sırasıyla 7.621 ve 4.875  $\mu\text{m}$  değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle 16-25 saatlik öğütme süresi aralığında toz boyutlarında kayda değer bir boyut küçülmesi gözlenmediği de dikkate alınarak 25 saatlik öğütme süresinin takviye-matris etkileşimi açısından yeterli olduğu görülmüştür.





**Şekil 3.** Etanol ve metanol katkılarının Cu25W toz morfolojisine etkisi; (a-b): 2, (c-d): 10, (e-f): 16 ve (g-h): 25 saatlik öğütme süresi.

Öğütme işlemine tabi tutulan tozlarda özellikle ilk 2 saatlik öğütme süresi sonunda plastik deformasyonu gösteren pulsu morfolojinin; 10 saatlik öğütme süresi sonunda kırılma sonucu oluşan düzensiz morfolojinin; 25 saatlik öğütme süresi sonunda ise kırılma ve soğuk kaynak olayları arasındaki dengenin sağlanması ile birlikte sistemin kararlı hale geldiğini gösteren eş eksenli morfolojinin hakim olduğu gözlemlenmiştir. Toz boyut değerlerinin ve Şekil 3g ve h'deki SEM görüntülerinin birlikte değerlendirilmesi sayesinde metanol kullanımının Cu25W toz boyutu ve morfolojisi üzerinde etanole göre daha olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Öğütme süresi ile birlikte artan ortam sıcaklığına bağlı olarak, işlem kontrol katkıları ergime veya buharlaşmaya maruz kalabilmektedir. Ayrıca kimyasal bileşime göre değişim gösteren hidrojen, karbon ve oksijen elementlerinin toza karışarak dağılım sertleştirilmesine katkıda bulunduğu; bazı durumlarda ise hidrojenin tozu gevreklettiği ve böylelikle de daha düşük boyutlu toz üretimine yardımcı olduğu belirtilmiştir (Suryanarayana, 2004). Bu bilgilerin ışığında etanol ve metanol kullanımına bağlı olarak son toz boyutlarında gözlemlenen değişim, iki işlem kontrol katkısının kimyasal ve ısıl kararlılıkları arasındaki farka dayandırılmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bilyeli öğütme yöntemi kullanılarak Cu25W kompozit tozunun sentezlenmesi üzerine etanol ve metanol gibi iki farklı işlem kontrol katkısının kullanımının etkisi incelenmiştir. Öğütme süresinin artmasıyla birlikte her iki toz karışımında da ortalama toz boyutu değerlerinde kademeli bir azalma ortaya çıkmıştır. Özellikle metanol katkılı toz karışımlarında ortalama toz boyutu değerlerinde etanol katkılı numunelere göre daha etkili bir kırılma gözlenmesi sonucunda daha düşük toz boyut değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak Cu25W kompozitinin sentezinde % 2'lik ağırlık oranı için, metanol kullanımının etanol kullanımına göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

Bıyık, S., 2017. Characterization of Nanocrystalline Cu25Mo Electrical Contact Material Synthesized via Ball Milling. *Acta Physica Polonica A*, 132, (3), 886-888.

Bıyık, S. ve Aydın, M., 2017/1. Fabrication and Arc-Erosion Behavior of Ag8SnO<sub>2</sub> Electrical

Contact Materials under Inductive Loads. *Acta Physica Polonica A*, 131, (3), 339-342.

- Bıyık, S. ve Aydın, M., 2017/2. Optimization of Mechanical Alloying Parameters of Cu25W Electrical Contact Material. *Acta Physica Polonica A*, 132, (3), 909-912.
- Bıyık, S. ve Aydın, M., 2016. Investigation of the Effect of Different Current Loads on the Arc-Erosion Performance of Electrical Contacts. *Acta Physica Polonica A*, 129, (4), 656-660.
- Bıyık, S., Arslan, F. ve Aydın, M., 2015. Arc-Erosion Behavior of Boric Oxide-Reinforced Silver-Based Electrical Contact Materials Produced by Mechanical Alloying. *Journal of Electronic Materials*, 44, (1), 457-466.
- Bıyık, S. ve Aydın, M., 2015. The Effect of Milling Speed on Particle Size and Morphology of Cu25W Composite Powder. *Acta Physica Polonica A*, 127, (4), 1255-1260.
- Cosovic, V., Talijan, N., Zivkovic, D., Minic, D. ve Zivkovic, Z., 2012. Comparison of Properties of Silver-Metal Oxide Electrical Contact Materials. *Journal of Mining and Metallurgy*, 48, (1), 131-141.
- Dong, L.L., Chen, W.G., Deng, N., Song, J.L. ve Wang, J.J., 2017. Investigation on Arc Erosion Behaviors and Mechanism of W70Cu30 Electrical Contact Materials Adding Graphene. *Journal of Alloys and Compounds*, 696, 923-930.
- Feng, Y., Yuan, H.L. ve Zhang, M., 2005. Fabrication and Properties of Silver-Matrix Composites Reinforced by Carbon Nanotubes. *Materials Characterization*, 55, 211-218.
- Li, H.Y., Wang, X.H., Liu, Y.F. ve Guo, X.H., 2017. Effect of Strengthening Phase on Material Transfer Behavior of Ag-based Contact Materials under Different Voltages. *Vacuum*, 135, 55-65.
- Pandey, A., Verma, P. ve Pandey, O.P., 2008. Comparison of Properties of Silver-Tin Oxide Electrical Contact Materials Through Different Processing Routes. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 15, 236-240.
- Shi, Q., Yang, J., Peng, W.X., Dong, J.Z., Chu, Y.Q., Tang, H. ve Li, C.S., 2015. Synergetic Effect of NbSe<sub>2</sub> and Cr<sub>2</sub>Nb on the Tribological and Electrical Behavior of Cu-based Electrical Contact Composites. *Rsc Advances*, 5, (122), 100472-100481.
- Suryanarayana, C., 2004. *Mechanical Alloying and Milling*. CRC Press, Boca Raton, FL, 488p.

Yusefi, A. ve Parvin, N., 2017. Fabrication of Three Layered W-Cu Functionally Graded Composite via Spark Plasma Sintering. *Fusion Engineering and Design*, 114, 196-202.

Zhu, S., Liu, Y., Tian, B., Zhang, Y. ve Song, K., 2017. Arc Erosion Behavior and Mechanism of Cu/Cr20 Electrical Contact Material. *Vacuum*, 143, 129-137.

## Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Karayemiş Bitkisinin (*Prunus laurocerasus* L.) Meyve ve Toprak Örneklerinin Radyolojik Değerlendirilmesi

*Radiological Evaluation of fruit and soil samples of Cherry Laurel Plant (*Prunus laurocerasus* L.) Growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey*

Erkan KIRIŞ\*

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 24.02.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 30.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 10.08.2018

### Öz

Bu çalışma Doğu Karadeniz Bölgesinde on dört farklı istasyondan toplanan karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.)'in meyve kısmında ve bu türün köklerindeki toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid konsantrasyon sonuçlarını göstermektedir. Karayemişin meyve kısmında  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'in ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1.75, 1.03, 2.07 ve 215.38 Bq kg<sup>-1</sup>(kuru ağırlık)'dır. Toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'in ortalama aktivite konsantrasyonları Dünya ortalaması değerlerinden daha düşük olarak belirlenmiştir. Karayemiş meyvesi ve toprak örneklerinde en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid konsantrasyonu Rize Merkez istasyonunda gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, karayemişin tüketimine bağlı olarak  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'in günlük alımı, yıllık alınan etkin doz ve kanserojen risk değerleri hesaplanmış ve uluslararası değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca toprak örneklerinde radyum eşdeğer aktivitesi, soğurulmuş doz oranı, dış tehlike indeksi ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ilaveten topraktan karayemişin meyve kısmına geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri için transfer faktörleri belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kanserojen risk ve radyolojik etki parametre değerlerinin herhangi bir risk taşımadığını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Günlük alım dozu, HPGe dedektör, Karayemiş, Radyoaktivite, Transfer faktörü

### Abstract

This study presents the results of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  radionuclide concentrations in the fruit part of cherry laurel (*Prunus laurocerasus* L.) and soil samples in root of this species were collected from fourteen different stations in the Eastern Black Sea Region. The mean activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in the fruit part of cherry laurel were 1.75, 1.03, 2.07 and 215.38 Bq kg<sup>-1</sup>, respectively. The mean activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in soil samples were determined to be lower than the world average value. The highest  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide concentration in fruit of cherry laurel and soil samples was monitored in the Rize center location. In addition, radiological impact parameters such as daily intake of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$ , annual committed effective dose and carcinogenic risk due to the consumption of cherry laurel were calculated and compared with the international data. The radium equivalent activity ( $Ra_{eq}$ ), the absorbed dose rate ( $D$ ), the external hazard index ( $H_{ex}$ ) and the annual effective dose equivalent (AED) for soil samples were also evaluated. Moreover, transfer factors of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  from soil to fruit part of cherry laurel were determined. The results indicate that the lifetime cancer risk and the radiological impact parameters values in the samples from the area studied in this present work is not significant.

**Keywords:** Daily intake dose, HPGe detector, Cherry laurel, Radioactivity, Transfer factor

\*a Erkan KIRIŞ, erkan.kiris@erdogan.edu.tr, Tel: (0464) 223 61 26 (dâhili: 1867), orcid.org/0000-0003-2015-6005



## 1. Giriş

Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L. / Synonym: *Laurocerasus officinalis* Roem.) Rosaceae familyasına ait olup, Türkiye’de Karadeniz kıyılarında yayılış gösteren ve yerelde "Taflan" olarak adlandırılan beğenilerek tüketilen bir meyvedir (Alasalvar vd., 2005). Doğu Karadeniz Bölgesi’nde taze veya kurutulmuş şekilde yaygın olarak tüketilen karayemiş reçel, meyve suyu ve marmelat yapımında da kullanılmaktadır (Kolaylı vd., 2003; Liyana-Pathirana vd., 2006).

Çevredeki radyoaktivite kaynakları doğal ve antropojenik kökenlere sahiptir (Badran vd., 2003). Doğal çevresel radyoaktivite ve öncelikle jeolojik ve coğrafi koşullara bağlı gama ışınından dolayı maruz kalınan dış ışınlama dünyadaki her bölgenin topraklarında farklı seviyelerde görülmektedir (UNSCEAR, 2000). Doğal radyoaktivite temel olarak tüm yeryüzünün oluşumundan beri var olan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ve bunların bozunma ürünlerinden gelen radyonüklidlerden oluşmaktadır (Tzortzis vd., 2004). Yapay radyonüklidin büyük bir miktarı atmosferik nükleer silah testleri, Çernobil gibi nükleer kazalar sonucu serpinti olarak ve dünyayı kirleten hava akımları ile birlikte çevreye salınmaktadır (Lu vd., 2006).  $^{137}\text{Cs}$ , 30 yıl yarı ömrü olan antropojenik bir radyonükliddir. Bu yarı ömrün uzun olması  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidini insan sağlığı için bir endişe kaynağı haline getirmektedir (Strode vd., 2012).

$^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi doğal radyonüklidlerin radyoaktif bozunumu sonucu atmosferik hareketlerle çevreye yayılması ve çevrede her yerde bulunmaları ve kalıcı olmaları nedeniyle bu radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi önemlidir (Pulhani vd., 2005). Toprakta doğal olarak oluşan uzun yarı ömürlü radyonüklidler, mineral alımı sırasında bitkiler üzerine transfer edilebilir ve bitkilerin çeşitli kısımlarında birikebilir. Böylece bu bitkilerin tüketimine bağlı olarak canlılar radyasyon dozuna maruz kalabilir (Shanthi vd., 2012).

Toprak-bitki sistemindeki kirleticilerin (radyonüklidler dahil) yer değiştirmesi ve birikimi karmaşıktır, ve değerlendirme modelleri yaygın olarak, besin zinciri boyunca radyonüklidlerin taşınmasını tahmin etmek için transfer faktörü (TF) olarak adlandırılan bir toprak-bitki konsantrasyon oranını kullanmaktadır. Bu oran topraktan bitkiye girmesi beklenen radyonüklid miktarını tanımlamaktadır (Chen vd., 2005). Belirli bir bitki türü ve radyonüklid için TF, mevsim ve kirlilikten

sonraki zamana bağlı olarak, bir alandan diğerine önemli ölçüde değişebilir. Bu değişiklikler toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, çevresel koşullar ve topraktaki radyonüklidin kimyasal formu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Persson ve Holm, 2011).

Radyoaktif kirlenme konusunda halkı bilgilendirmek için doğal radyonüklid seviyelerini bilmenin yanı sıra, çevrede bulunan radyonüklidlerin yaydığı radyasyona bağlı olarak doz ve sağlık riskini değerlendirmek için doğal radyonüklidlerin dağılımını da ayrıca bilmek gereklidir (Lauria vd., 2009). Çevreye salınan radyoaktif kirliliğin izlenmesi çevreyi ve insan sağlığını korumak için çok önemlidir.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yetişen karayemiş bitkilerinin meyvelerinde ve bu türün kökündeki toprak örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca, karayemiş meyvelerini tüketilmesine bağlı olarak  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’in radyolojik parametreleri hesaplanmış ve topraktan karayemişin meyve kısmına geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri için transfer faktörleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örnek Toplama

Karayemiş örnekleri Temmuz 2013’de Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki on dört farklı istasyondan toplanmıştır. Karayemiş ağaçları çoğunlukla bahçelerin, evlerin ve yolların kenarlarında bulunmaktadır. Toprak örnekleri de aynı istasyonlardaki karayemiş ağaçlarının kökünden 0-10 cm derinlikten toplanmıştır. Bu çalışmadaki örnekleme alanları Türkiye’nin Karadeniz Kıyısının doğusunda yer alan Trabzon, Rize ve Artvin illeridir. Örnekleme istasyonlarının adları ve coğrafi koordinatları Tablo 1’de verilmiştir.

### 2.2. Radyoaktivite Ölçümleri

Toplanan karayemiş örneklerinin meyve kısımları yapraklarından çıkartılmış ve sonra çekirdekleri meyve kısmından ayıklanmıştır. Meyve ve toprak örnekleri, nemi uzaklaştırmak için sıcaklık kontrollü bir fırında  $85^{\circ}\text{C}$ ’de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kuruyan örnekler öğütülmüş ve porselen havanda toz haline getirilmiştir. Her bir numune  $63\ \mu\text{m}$ ’lik eleklerden geçirilerek homojen hale getirilmiş ve gama aktivite analizi için darası ve boş sayımları alınmış silindirik 100 mL’lik plastik kaplara kapatılarak radyoaktif dengenin

oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece örnekler gama spektrometresi cihazında sayıma hazır hale getirilmiştir.

**Tablo 1.** Örnekleme istasyonlarının isimleri ve coğrafi koordinatları

İstasyon	Enlem	Boylam
<b>Trabzon</b>		
Yomra	40° 57' 14"	39° 52' 00"
Araklı	40° 56' 24"	40° 03' 00"
Çamburnu	40° 54' 42"	40° 12' 10"
Sürmene	40° 54' 40"	40° 07' 08"
Of	40° 55' 28"	40° 16' 41"
<b>Rize</b>		
İyidere	41° 00' 41"	40° 21' 37"
Derepazarı	41° 01' 26"	40° 25' 18"
Rize Merkez	41° 01' 36"	40° 31' 02"
Çayeli	41° 04' 58"	40° 42' 58"
Pazar	41° 10' 49"	40° 53' 11"
Ardeşen	41° 11' 30"	40° 59' 18"
Fındıklı	41° 16' 14"	41° 08' 23"
<b>Artvin</b>		
Arhavi	41° 21' 10"	41° 18' 31"
Hopa	41° 23' 40"	41° 25' 11"

Örneklerin radyoaktiflik ölçümleri için 1332.5 keV'de 1.9 keV ayırma gücüne ve % 55'lik relatif verime sahip ORTEC marka GEM55P4-95 model HPGe detektörü kullanılmıştır. HPGe detektörün enerji ve verim kalibrasyonu yapıldıktan sonra, temin ettiğimiz yosun-toprak (IAEA-447) radyoaktif referans malzemesi sistemde 3 tekrarlı olarak okutuldu ve ortalaması alınarak cihazın doğruluğu tespit edildi. Radyoaktif dengenin sağlanması için bir aylık bekleme süresinden sonra ölçümlere geçildi. Sayımlarda kullanılan HPGe dedektörünün besleme voltajı yaklaşık 5000 V'tur. Sayım programı olarak Genie-2000 kullanıldı. Örnekler, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konuldu. Numune sayım süresi karayemiş örnekleri için 100000 s ve toprak örnekleri için 50000 s olarak seçildi. Bu süre sonunda numunelerden yayınlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar elde edildi. Dedektör çevresindeki ortamdaki arka plan dağılımını belirlemek için boş bir kap, örneklerle aynı şekilde ve geometride sayıldı. Arka plan

spektrumu, ölçülen izotopların gama ışınlarının net pik alanını düzeltmek için kullanıldı (Baltas vd., 2014).

Örneklerin spesifik aktiviteleri %3-7 düzeyindeki hatalar içinde sertifikalı değerlerine uygun olarak elde edilmiştir.  $^{226}\text{Ra}$  serisinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için 351.9 keV ( $^{214}\text{Pb}$ ) ve 609.3 keV ( $^{214}\text{Bi}$ ) enerjilerin gama-ışını geçişleri kullanıldı.  $^{232}\text{Th}$  serisinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için 911.1 keV ( $^{228}\text{Ac}$ ) ve 583.1 keV ( $^{208}\text{Tl}$ ) gama ışını çizgileri kullanıldı.  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları belirlemek için sırasıyla 1460.8 ve 661.6 keV gama ışını geçişleri kullanılmıştır.

Ölçülen örneklerdeki radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$C = \frac{N}{\epsilon.P_{\gamma}.T.m} (\text{Bq kg}^{-1}) \quad (1)$$

Burada N gama ışınının sayım sayısı,  $\epsilon$  ilgili gama enerjisindeki verim,  $P_{\gamma}$  gama ışınının salınım hızı, T sayma süresi ve m numune miktarıdır.

Minimum dedekte edilebilir aktivite, belli koşullar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Currie, 1968):

$$\text{MDA} = \frac{\sigma\sqrt{B}}{\epsilon.P_{\gamma}.T.m} \quad (2)$$

Burada MDA Bq kg<sup>-1</sup> biriminde olup,  $\sigma$  istatistiksel kapsama faktörüdür ve 1.645 değerine eşittir, B ise artalan radyasyon değeridir. MDA değerleri  $^{226}\text{Ra}$  için 0.16 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{232}\text{Th}$  için 0.24 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  için 0.02 Bq kg<sup>-1</sup> ve  $^{40}\text{K}$  için 1.69 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Yosun-toprak (IAEA-447) radyoaktif referans malzemesi için aktivite konsantrasyonlarının sertifika değerleri sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$  için 25.04 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{232}\text{Th}$  için 37.3 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  için 371.11 Bq kg<sup>-1</sup> ve  $^{40}\text{K}$  için 550 Bq kg<sup>-1</sup> değerlerine eşittir. Kullanılan dedektör sisteminde bu değerler  $^{226}\text{Ra}$  için 23.96 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{232}\text{Th}$  için 35.7 Bq kg<sup>-1</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  için 362.55 Bq kg<sup>-1</sup> ve  $^{40}\text{K}$  için 521 Bq kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

### 2.3. Radyonüklidlerin Günlük Alımı

Radyoaktivitenin günlük alımı karayemişin tüketilmesiyle insan vücuduna alınan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerin birikmesi olarak düşünülmektedir. Rize'de günde kişi başına

karayemiş tüketimi 2.74 g olarak verilmiştir (Korkmaz Görür vd., 2012). Karayemişin tüketilmesinden dolayı insanların vücutlarına biriktirdiği radyoaktivitenin günlük alımı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Khandaker vd., 2013):

$$GA = \frac{C \times A_{ig} \times F_c}{Y_d} \quad (3)$$

Burada, GA insanlar tarafından radyonüklilerin günlük alımı (Bq gün<sup>-1</sup>), C radyonüklilerin aktivite konsantrasyonu (Bq kg<sup>-1</sup>), A<sub>ig</sub> yılda kişi başına karayemiş tüketimi, F<sub>c</sub> tüketim kesri ve Y<sub>d</sub> bir yıldaki gün sayısıdır.

#### 2.4. Yıllık Alınan Etkin Doz

Karayemişin tüketilmesiyle <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyonüklidlerin vücuda alınmasından dolayı insanlara geçen yıllık etkin doz aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır (Khandaker vd., 2013):

$$YAED \text{ (Sv yıl}^{-1}\text{)} = C \times A_{ig} \times D_{cf} \times F_c \quad (4)$$

Burada, YAED radyonüklidlerin vücuda alınmasıyla insanlara geçen yıllık etkin doz, C radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonu (Bq kg<sup>-1</sup>), A<sub>ig</sub> karayemişin yıllık tüketimi (kg yıl<sup>-1</sup>) ve D<sub>cf</sub> ilgili radyonüklidin doz alım dönüşüm faktörü'dür (<sup>226</sup>Ra için 2.8x10<sup>-7</sup> Sv Bq<sup>-1</sup>, <sup>232</sup>Th için 2.3x10<sup>-7</sup> Sv Bq<sup>-1</sup>, <sup>137</sup>Cs için 1.3x10<sup>-8</sup> Sv Bq<sup>-1</sup> ve <sup>40</sup>K için 6.2x10<sup>-9</sup> Sv Bq<sup>-1</sup>) (IAEA, 2011). <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyonüklidleri için Dünya ortalaması değerleri sırasıyla 120, 120 ve 170 µSv y<sup>-1</sup> olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Toplam yıllık alınan etkin doz ise aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Khandaker vd., 2013).

$$YAED_T = (C_{Ra} + C_{Th} + C_{Cs} + C_K) \times A_{ig} \times D_{cf} \quad (5)$$

Burada C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub>, C<sub>Cs</sub> ve C<sub>K</sub> sırasıyla <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarıdır.

#### 2.5. Kanserojen Risk

Daha fazla radyasyona maruz kalma durumu kanser sıklığının artması ile ilişkilendirilerek, karayemiş gibi gıda örneklerinin yenmesi durumunda kanser riski belirlenebilir. Kanser riskini hesaplamak için aşağıdaki denklem (Khandaker vd., 2015) kullanılmıştır.

$$KR = A_{ir} \times A_{Is} \times R_c \quad (6)$$

Burada KR, A<sub>ir</sub>, A<sub>Is</sub> ve R<sub>c</sub> sırasıyla kanser riski, radyonüklidin yıllık alımı (Bq), ortalama yaşam süresi (78 y) ve ölüm riski katsayısıdır (Bq<sup>-1</sup>). USEPA'dan alınan ölüm riski katsayısı değerleri <sup>226</sup>Ra için 9.56x10<sup>-9</sup> Bq<sup>-1</sup>, <sup>232</sup>Th için 2.45x10<sup>-9</sup> Bq<sup>-1</sup>, <sup>137</sup>Cs için 9.25x10<sup>-13</sup> Bq<sup>-1</sup> ve <sup>40</sup>K için 5.89x10<sup>-10</sup> Bq<sup>-1</sup>'dir (USEPA, 1999). Kanserojen risk için kabul edilen limit değerinin 10<sup>-3</sup> olduğu belirtilmiştir (Khandaker vd., 2015).

#### 2.6. Radyum Eşdeğer Aktifliği

<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K'ın numunelerdeki dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktifliklerinden radyasyona maruz kalmayı standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktifliği (Ra<sub>eq</sub>) aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır (Beretka ve Mathew, 1985; UNSCEAR, 2000; Amrani ve Tahtat, 2001):

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad (7)$$

Burada C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub> ve C<sub>K</sub> sırasıyla <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K'ın Bq kg<sup>-1</sup> biriminde spesifik aktivite değerleridir.

#### 2.7. Soğurulan Gama Doz Hızı

Yeryüzünün 1 m üzerinde havada soğurulmuş doz oranı aşağıdaki formülle belirlenir (UNSCEAR, 2000).

$$D \text{ (n Gy saat}^{-1}\text{)} = 0,462C_{Ra} + 0,604C_{Th} + 0,0417C_K \quad (8)$$

Burada C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub> ve C<sub>K</sub> sırasıyla <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K'ın Bq kg<sup>-1</sup> biriminde spesifik aktiviteleridir. <sup>137</sup>Cs çevreyle ilgili arka plandan toplam doza dahil edilememesi nedeniyle burada göz ardı edilmiştir (Amanjeet vd., 2017).

#### 2.8. Dış Tehlike İndeksi

Dış tehlike indeksi H<sub>ex</sub>, Krieger (Krieger, 1981) tarafından önerilen model kullanılarak, incelenen örnekler için hesaplanmıştır; pencere ve kapılar olmadan kalın duvarlar varsayımıyla, dış tehlike indeksi aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1 \quad (9)$$

Burada C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub> ve C<sub>K</sub> sırasıyla <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K'ın Bq kg<sup>-1</sup> biriminde spesifik aktiviteleridir.

## 2.9. Yıllık Etkin Doz

Soğrulan doz için dönüşüm faktörü (0.7 Sv Gy<sup>-1</sup>) ve dış ortamlarda maruz kalma faktörü (0.2) (UNSCEAR, 2000) dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$YED (\mu\text{Sv yıl}^{-1}) = D(\text{nGy saat}^{-1}) \times 8760 (\text{saat yıl}^{-1}) \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 10^{-3} \quad (10)$$

## 2.10. Transfer Faktörü

Transfer faktörü (TF) kök sistemi yoluyla radyonüklidlerin (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K) topraktan bitkiye geçişini göstermek için kullanılır. TF değerleri bitki ve bitki kökündeki toprak örnekleri için elde edilen radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (IUR, 1994).

$$TF = \frac{C_p}{C_s} \quad (11)$$

Burada C<sub>p</sub> bitki kısmındaki radyonüklid aktivitesi (Bq kg<sup>-1</sup>) ve C<sub>s</sub> ise topraktaki radyonüklid aktivitesidir (Bq kg<sup>-1</sup>).

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanı olarak on dört farklı istasyondan toplanan karayemiş örneklerinin meyve kısımlarında ve bu türün köklerindeki toprak örneklerinde doğal ve yapay radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Karayemiş için bu konsantrasyon değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Karayemişin meyve kısmında aktivite konsantrasyon aralıkları <sup>226</sup>Ra için 0.22±0.01 – 5.17±0.28 Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>232</sup>Th için 0.43±0.02 – 2.18±0.12 Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>137</sup>Cs için 0.27±0.01 – 10.28±0.42 Bq kg<sup>-1</sup> ve <sup>40</sup>K için 170.98±6.15 – 270.09±11.07 Bq kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K konsantrasyon değerleri sırasıyla Pazar, Hopa, Rize merkez ve Sürmene istasyonlarında gözlemlenmiştir.

**Tablo 2.** Karayemişin <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları.

İstasyon	Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> )			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
<b>Trabzon</b>				
Yomra	<DL	0.86 ± 0.04	0.76 ± 0.04	226.12 ± 10.87
Araklı	2.67 ± 0.11	0.88 ± 0.05	<DL	215.24 ± 10.44
Çamburnu	0.22 ± 0.01	0.77 ± 0.04	<DL	176.88 ± 7.51
Sürmene	0.39 ± 0.02	1.44 ± 0.07	<DL	270.09 ± 11.07
Of	<DL	<DL	<DL	177.22 ± 8.15
<b>Rize</b>				
İyidere	0.43 ± 0.02	<DL	1.24 ± 0.06	262.64 ± 10.75
Derepazarı	0.43 ± 0.02	0.95 ± 0.05	0.37 ± 0.02	182.32 ± 7.02
Rize Merkez	<DL	<DL	10.28 ± 0.42	179.06 ± 9.08
Çayeli	<DL	0.94 ± 0.05	3.47 ± 0.18	260.39 ± 13.21
Pazar	5.17 ± 0.28	0.87 ± 0.21	0.27 ± 0.01	234.81 ± 10.95
Ardeşen	1.98 ± 0.09	<DL	0.68 ± 0.03	243.64 ± 10.59
Fındıklı	0.90 ± 0.05	0.43 ± 0.02	1.83 ± 0.09	170.98 ± 6.15
<b>Artvin</b>				
Arhavi	0.88 ± 0.04	<DL	0.51 ± 0.03	222.30 ± 9.38
Hopa	4.45 ± 0.17	2.18 ± 0.12	1.25 ± 0.06	193.61 ± 7.68
Ortalama	1.75	1.03	2.07	215.38
Min.–Mak.	0.22–5.17	0.43–2.18	0.27–10.28	170.98–270.09

<DL: Dedeksiyon limitinin altında



Karayemiş örnekleri için belirlenen ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri daha önce yapılan çalışmayla karşılaştırıldığı zaman Rize’de (Korkmaz Görür vd., 2012) karayemiş için elde edilen ortalama verilerden ( $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ),  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla 0.72, 1.64, 2.46 ve  $222.24 \text{ Bq kg}^{-1}$ )  $^{226}\text{Ra}$  hariç  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın ortalama değerlerinin daha düşük olduğu ve üzüm için elde edilen ortalama verilerden ( $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ),  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla 8.04, 3.22, 1.78 ve  $369.71 \text{ Bq kg}^{-1}$ )  $^{137}\text{Cs}$  hariç  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın ortalama değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Karayemişin tüketilmesiyle radyonüklidlerin vücuda alınmasından dolayı insana geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın günlük alımı, yıllık alınan etkin doz, toplam yıllık alınan etkin doz ve kanserojen risk değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Tahmin edilen yıllık etkin doz değerlerinin Dünya ortalaması değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin alımı sonucu yıllık etkin doz değerlerinin Dünya ortalamaları sırasıyla 120, 120 ve  $170 \mu\text{Sv yıl}^{-1}$ ’dir (UNSCEAR, 2000). Kanserojen risk değerlerinin de kabul edilen kanser riski değerinden ( $10^{-3}$ ) (Khandaker vd., 2015) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Karayemiş türlerinin köklerinden toplanan toprak örnekleri için belirlenen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın aktivite konsantrasyonları, radyum eşdeğer aktiviteleri, soğurulan doz oranları, diş tehlike indeksleri ve yıllık etkin doz oranları Tablo 4’te verilmiştir. Toprak örneklerinde aktivite konsantrasyon aralıkları  $^{226}\text{Ra}$  için  $5.21 \pm 0.25 - 32.93 \pm 1.28 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için  $6.18 \pm 0.32 - 42.62 \pm 1.84 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  için  $2.80 \pm 0.15 - 368.11 \pm 20.24 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için  $146.66 \pm 5.82 - 650.94 \pm 38.52 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde en yüksek  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu Hopa istasyonunda izlenirken,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın en yüksek konsantrasyonu sırasıyla Sürmene ve Pazar istasyonlarında izlenmiştir. Toprak örnekleri için elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın ortalama aktivite konsantrasyonlarının Dünya ortalaması değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Toprak için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın Dünya ortalaması değerleri sırasıyla 35, 30 ve  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$ ’dir. (UNSCEAR, 2000).

Toprak örnekleri için elde edilen en yüksek  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığı zaman Rize (Fırtına Vadisi) (Kurnaz vd., 2007), Trabzon (Kurnaz vd., 2011), Giresun (Celik vd., 2008) ve Doğu Karadeniz Bölgesi (Celik vd., 2009) için elde

edilen en yüksek verilerden (sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$  için 188.26, 140 ( $^{238}\text{U}$ ), 85 ve  $120.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için 105.23, 116, 82 ve  $121.4 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için 1234.65, 1697, 1301 ve  $1294.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Araklı’da ölçülen en yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite değeri Araklı’daki toprak örnekleri için yapılan çalışmalarla (Celik vd., 2009; Kurnaz vd., 2011) karşılaştırıldığı zaman elde edilen aktivite değerlerinden (sırasıyla  $348.9 - 547.8 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $389 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.  $^{40}\text{K}$  aktivite değerindeki bu artış bu alanlarda uzun vadede yapılan mineral gübreleme uygulamasıyla bağlantılı olabilir (Yazici vd., 2008). Elde edilen en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değeri ise Giresun (Celik vd., 2008) ve Doğu Karadeniz Bölgesi (Celik vd., 2009) için elde edilen en yüksek değerlerden (sırasıyla 1304 ve  $774.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) daha düşük olduğu, Rize (Fırtına Vadisi) (Kurnaz vd., 2007) ve Trabzon (Kurnaz vd., 2011) için elde edilen en yüksek değerlerden (sırasıyla 232.44 ve  $199 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Rize Merkez istasyonunun (Fener Mahallesi) toprak örneğinde ölçülen en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin Rize’de yapılan bir çalışmayla (Keser vd., 2011) karşılaştırıldığı zaman bitki köklerindeki toprak örnekleri için elde edilen en yüksek veriden ( $578.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin, birkaç ülke tarafından gerçekleştirilen atmosferik nükleer silah testlerinden kaynaklandığı düşünölmektedir; Bununla birlikte, küçük bir miktarının da 1986’da meydana gelen Çernobil kazasından kaynaklı olabileceği düşünölmektedir (Baltas vd., 2017) ve serpinti şeklinde yayılan radyasyonun çoğu toprakta birikebileceği de ifade edilmektedir (UNSCEAR, 1982). Ayrıca, Rize Merkez istasyonunun karayemiş örneğinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin yüksek olması, bu bitki kökündeki toprak örneğinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin yüksek olmasına dayandırılabilir.

Toprak örnekleri için hesaplanan  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  değerlerinin  $33.8-126.60 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değiştiği ve ortalama  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  değerinin  $72.67 \text{ Bq kg}^{-1}$  olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan bu ortalama değerin tavsiye edilen maksimum  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  değerinden ( $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Soğurulan doz oranları değerlerinin  $16.24-60.75 \text{ nGy saat}^{-1}$  aralığında değiştiği ve ortalama değerin  $34.31 \text{ nGy saat}^{-1}$  olduğu belirlenmiştir. Bu ortalama değerin Dünya ortalaması değerinden ( $59 \text{ nGy saat}^{-1}$ ) (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.  $H_{\text{ex}}$  değerlerinin  $0.09-0.34$  aralığında değiştiği ve ortalama değerin  $0.19$  olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Karayemişin tüketime bağlı olarak  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'in günlük alımı, yıllık alınan etkin doz ve kanserojen risk değerleri.

İstasyon	Radyonüklidlerin Günlük Alımı GA (Bq gün <sup>-1</sup> )				Yıllık Alınan Etkin Doz YAED (μSv yıl <sup>-1</sup> )				YAED <sub>T</sub> (μSv yıl <sup>-1</sup> )	Kanserojen Risk (KR)			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$		$^{226}\text{Ra}$ (×10 <sup>-6</sup> )	$^{232}\text{Th}$ (×10 <sup>-7</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ (×10 <sup>-10</sup> )	$^{40}\text{K}$ (×10 <sup>-5</sup> )
<b>Trabzon</b>													
Yomra	—	0.002	0.002	0.620	—	0.20	0.01	1.40	1.61	—	1.64	0.55	1.04
Araklı	0.007	0.002	—	0.590	0.75	0.20	—	1.33	2.28	1.99	1.68	—	0.99
Çamburnu	0.001	0.002	—	0.485	0.06	0.18	—	1.10	1.34	0.16	1.47	—	0.81
Sürmene	0.001	0.004	—	0.740	0.11	0.33	—	1.67	2.12	0.29	2.75	—	1.24
Of	—	—	—	0.486	—	—	—	1.10	1.10	—	—	—	0.81
<b>Rize</b>													
İyidere	0.001	—	0.003	0.720	0.12	—	0.02	1.63	1.77	0.32	—	0.89	1.21
Derepaşarı	0.001	0.003	0.001	0.500	0.12	0.22	0.01	1.13	1.47	0.32	1.82	0.27	0.84
Rize Merkez	—	—	0.028	0.491	—	—	0.13	1.11	1.24	—	—	7.42	0.82
Çayeli	—	0.003	0.010	0.713	—	0.22	0.05	1.61	1.88	—	1.80	2.50	1.20
Pazar	0.014	0.002	0.001	0.643	1.45	0.20	0.00	1.46	3.11	3.86	1.66	0.19	1.08
Ardeşen	0.005	—	0.002	0.668	0.55	—	0.01	1.51	2.07	1.48	—	0.49	1.12
Fındıklı	0.002	0.001	0.005	0.468	0.25	0.10	0.02	1.06	1.43	0.67	0.82	1.32	0.78
<b>Artvin</b>													
Arhavi	0.002	—	0.001	0.609	0.25	—	0.01	1.38	1.63	0.65	—	0.37	1.02
Hopa	0.012	0.006	0.003	0.530	1.25	0.50	0.02	1.20	2.96	3.32	4.17	0.90	0.89
Dünya Ortalaması					120*	120*		170*	290*				10 <sup>-3**</sup>

\*UNSCEAR, 2000; \*\* Khandaker vd., 2015.

**Tablo 4.** Toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'in aktivite konsantrasyonları, radyum eşdeğerleri, soğurulan doz oranları, dış tehlike indeksleri ve yıllık etkin doz oranları.

İstasyon	Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> )				R <sub>eq</sub> (Bq kg <sup>-1</sup> )	D (nGy saat <sup>-1</sup> )	H <sub>ex</sub>	YED (μSv yıl <sup>-1</sup> )
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$				
<b>Trabzon</b>								
Yomra	7.34±0.39	9.04±0.58	22.67±1.04	506.28±21.52	59.25	29.96	0.16	36.75
Araklı	32.93±1.28	30.45±1.69	100.67±5.23	650.94±38.52	126.60	60.75	0.34	74.50
Çamburnu	16.24±0.82	18.21±1.12	10.48±0.46	280.14±10.78	63.85	30.18	0.17	37.02
Sürmene	10.56±0.42	17.45±0.92	2.80±0.15	441.22±20.51	69.49	33.82	0.19	41.47
Of	12.15±0.67	17.49±1.08	27.31±1.32	241.42±12.31	55.75	26.24	0.15	32.19
<b>Rize</b>								
İyidere	29.73±1.41	40.65±1.74	4.53±0.21	368.95±15.49	116.27	53.67	0.31	65.82
Derepaşarı	21.04±0.86	27.98±1.35	51.70±2.84	473.36±22.48	97.50	46.36	0.26	56.86
Rize Merkez	30.27±1.77	42.62±1.84	368.11±20.24	205.67±11.32	107.05	48.30	0.29	59.24
Çayeli	5.40±0.33	10.73±0.57	100.61±4.72	204.84±8.81	36.52	17.52	0.10	21.48
Pazar	19.28±0.88	14.18±0.83	15.97±0.82	146.66±5.82	50.85	23.59	0.14	28.93
Ardeşen	6.89±0.37	9.17±0.62	203.91±9.03	180.19±8.12	33.88	16.24	0.09	19.91
Fındıklı	30.34±1.43	37.89±1.87	9.75±0.42	290.59±11.94	106.90	49.02	0.29	60.12
<b>Artvin</b>								
Arhavi	16.66±0.83	18.63±1.25	62.07±3.07	148.34±7.84	54.72	25.14	0.15	30.83
Hopa	5.21±0.25	6.18±0.32	188.57±7.46	321.51±15.69	38.80	19.55	0.10	23.97
Ortalama	17.43	21.48	83.51	318.58	72.67	34.31	0.19	42.08
Minimum	5.21	6.18	2.80	146.66	33.88	16.24	0.09	19.91
Maksimum	32.93	42.62	368.11	650.94	126.60	60.75	0.34	74.50
Dünya Ortalaması*	35	30		400	370 <sup>a</sup>	59		70

\*UNSCEAR, 2000; <sup>a</sup>Sınırdeğer

Tahmin edilen  $H_{ex}$  değerlerinin 1 den küçük olduğu tespit edildi. Yıllık etkin doz değerlerinin ise 19.91–74.50  $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$  aralığında değiştiği ve ortalama değerin 42.08  $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$  olduğu belirlenmiştir. Bu ortalama değerin Dünya ortalaması değerinden (70  $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$ ) (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Toprakтан bitki kökleri boyunca karayemişin meyve kısmına geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri için hesaplanan transfer faktörleri Tablo 5’de verilmiştir. Transfer faktörü, radyoaktif kirlilik gösteren topraklardaki karasal

bitkilerin bitkisel arıtma potansiyelinin önemli bir göstergesidir (Kaewtubtim vd., 2017). Transfer faktörü ayrıca ürün bitkilerine radyonüklidlerin geğişini belirlemek içinde kullanılır (Aung vd., 2015). TF değerleri 1’den büyükse (TF>1) topraktan bitkiye radyonüklidlerin geğişinin yüksek olduğunu gösterir (Baker ve Brooks, 1989; Hu vd., 2014). TF değerleri  $^{226}\text{Ra}$  için 0.013 – 0.854,  $^{232}\text{Th}$  için 0.011 – 0.353,  $^{137}\text{Cs}$  için 0.003 – 0.274 ve  $^{40}\text{K}$  için 0.33 – 1.60 aralığında değiştiği gözlemlenmiş ve ortalama değerlerinin sırasıyla 0.166, 0.088, 0.060 ve 0.83 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Toprakтан karayemişin meyve kısmına  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın transfer faktörleri.

İstasyon	Transfer faktörü (TF)			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
<b>Trabzon</b>				
Yomra	—	0.095	0.033	0.45
Araklı	0.081	0.029	—	0.33
Çamburnu	0.013	0.042	—	0.63
Sürmene	0.037	0.082	—	0.61
Of	—	—	—	0.73
<b>Rize</b>				
İyidere	0.014	—	0.274	0.71
Derepazarı	0.020	0.034	0.007	0.38
Rize Merkez	—	—	0.028	0.87
Çayeli	—	0.088	0.034	1.27
Pazar	0.268	0.061	0.017	1.60
Ardeşen	0.287	—	0.003	1.35
Fındıklı	0.030	0.011	0.188	0.59
<b>Artvin</b>				
Arhavi	0.053	—	0.008	1.50
Hopa	0.854	0.353	0.007	0.60
Ortalama	0.166	0.088	0.060	0.83
Min.–Mak.	0.013–0.854	0.011–0.353	0.003–0.274	0.33–1.60

#### 4. Sonuçlar

Doğu Karadeniz Bölgesi’nde on dört farklı istasyondan toplanan karayemiş örneklerinin meyve kısmında ve bu türün köklerindeki toprak örneklerinde doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları gama ışını spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. Karayemişin meyve kısmında ve toprak örneklerinde ortalama aktivite konsantrasyonları

sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$  için 1.75 ve 17.43  $\text{Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için 1.03 ve 21.48  $\text{Bq kg}^{-1}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  için 2.07 ve 83.51  $\text{Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için 215.38 ve 318.58  $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Toprak örnekleri için elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın ortalama aktivite konsantrasyonları Dünya ortalaması değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Karayemişin tüketilmesiyle radyonüklidlerin vücuda alınmasından dolayı insana geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın günlük alımı, yıllık alınan etkin doz ve

kanserojen risk değerleri uluslararası değerlerden daha düşük olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, toprak örnekleri için radyum eşdeğer-aktivitesi, soğurulan doz oranı, dış tehlike indeksi ve yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değerleri sırasıyla  $72.67 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $34.31 \text{ nGy saat}^{-1}$ ,  $0.19$  ve  $42.08 \mu\text{Sv yıl}^{-1}$  olarak hesaplanmış ve tavsiye edilen uluslararası değerler ile karşılaştırılmıştır. Bunlara ilaveten topraktan karayemişin meyve kısmına geçen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri için transfer faktörlerinin ortalama değerleri sırasıyla  $0.166$ ,  $0.088$ ,  $0.060$  ve  $0.83$  olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ortalama doz oranlarının tavsiye edilen Dünya ortalaması değerlerini aşmadığını ve halk sağlığı için herhangi bir risk oluşturmadığını ortaya koymaktadır.

### Kaynaklar

- Alasalvar, C., Al-Farsi, M. ve Shahidi, F., 2005. Compositional characteristics and antioxidant components of cherry laurel varieties and pekmez, *Journal of Food Science*, 70, 1, 47-52.
- Amanjeet, Kumar, A., Kumar, S., Singh, J., Singh, P. ve Bajwa, B.S., 2017. Assessment of natural radioactivity levels and associated dose rates in soil samples from historical city Panipat, India, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10, 283-288.
- Amrani, D. ve Tahtat, M., 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials, *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 4, 687-689.
- Aung, H.P., Aye, Y.S., Mensah, A.D., Omari, R.A., Djedidi, S., Oikawa, Y., Ohkama-Ohtsu, N., Yokoyama, T. ve Bellingrath-Kimura, S.D., 2015. Relations of fine-root morphology on  $^{137}\text{Cs}$  uptake by fourteen *Brassica* species, *Journal of Environmental Radioactivity*, 150, 203-212.
- Badran, H.M., Sharshar, T. ve Elnimer, T., 2003. Levels of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in edible parts of some vegetables consumed in Egypt, *Journal of Environmental Radioactivity*, 67, 181-190.
- Baker, A.J.M. ve Brooks, R.R., 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Biorecovery*, 1, 81-126.
- Baltas, H., Kiris, E. ve Sirin, M., 2017. Determination of radioactivity levels and heavy metal concentrations in seawater, sediment and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) from the Black Sea in Rize, Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 116, 528-533.
- Baltas, H., Kiris, E., Ustabas, I., Yilmaz, E., Sirin, M., Kuloglu, E. ve Erdogan Gunes, B., 2014. Determination of natural radioactivity levels of some concretes and mineral admixtures in Turkey, *Asian Journal of Chemistry*, 26, 13, 3946-3952.
- Beretka, J. ve Mathew, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, waste and by-products, *Health Physics*, 48, 87-95.
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A. ve Koz, B., 2009. Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 146-153.
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A. ve Kucukomeroglu, B., 2008. Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1349-1354.
- Chen, S.B., Zhu, Y.G. ve Hu, Q.H., 2005. Soil to plant transfer of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  on a uranium mining-impacted soil from southeastern China, *Journal of Environmental Radioactivity*, 82, 223-236.
- Currie, L.A., 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry, *Analytical Chemistry*, 40, 586-593.
- Hu, N., Ding, D., Li, G., Zheng, J., Li, L., Zhao, W. ve Wang, Y., 2014. Vegetation composition and  $^{226}\text{Ra}$  uptake by native plant species at a uranium mill tailings impoundment in South China, *Journal of Environmental Radioactivity*, 129, 100-106.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2011. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety standards series no. GSR Part 3 (Interim), STI/PUB/1531, pp. 190-219.
- IUR (International Union of Radio ecologists), 1994. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments, Technical reports series no. 364, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Kaewtubtim, P., Meeinkuirt, W., Seepom, S. ve Pichtel, J., 2017. Radionuclide ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) accumulation among plant species in mangrove ecosystems of Pattani Bay, Thailand, *Marine Pollution Bulletin*, 115, 391-400.
- Keser, R., Korkmaz Görür, F., Akçay, N. ve Okumuşoğlu, N.T., 2011. Radionuclide concentration in tea, cabbage, orange, kiwi and soil and lifetime cancer risk due to gamma



- radioactivity in Rize, Turkey, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 987–991.
- Khandaker, M.U., Asaduzzaman, Kh., Nawi, S.M., Usman, A.R., Amin, Y.M., Daar, E., Bradley, D.A., Ahmed, H. ve Okhunov, A.A., 2015. Assessment of radiation and heavy metals risk due to the dietary intake of marine fishes (*Rastrelliger kanagurta*) from the Straits of Malacca. *PLOS ONE* 10,6, 1–16.
- Khandaker, M.U., Norfadira, B.W., Amin, Y.M. ve Bradley, D.A., 2013. Committed effective dose from naturally occurring radionuclides in shellfish, *Radiation Physics and Chemistry*, 88, 1–6.
- Kolaylı, S., Küçük, M., Duran, C., Candan, F. ve Dinçer, B., 2003. Chemical and antioxidant properties of *Laurocerasus officinalis* Roem. (cherry laurel) fruit grown in the Black Sea region, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 25, 7489–7494.
- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., As, N. ve Okumuşoğlu, N.T., 2012. Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 307–312.
- Krieger, R., 1981. Radioactivity of construction materials, *Betonwerk Fertigteil Technology*, 47, 8, 468-473.
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Damla, N. ve Cevik, U., 2011. Radiological maps for Trabzon, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 393–399.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1281–1289.
- Lauria, D.C., Ribeiro, F.C.A., Conti, C.C. ve Loureiro, F.A., 2009. Radium and uranium levels in vegetables grown using different farming management systems, *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 176–183.
- Liyana-Pathirana, C.M., Shahidi, F. ve Alasalvar, C., 2006. Antioxidant activity of cherry laurel fruit (*Laurocerasus officinalis* Roem.) and its concentrated juice, *Food Chemistry*, 99, 1, 121–128.
- Lu, J., Huang, Y., Li, F., Wang, L., Li, S. ve Hsia, Y., 2006. The investigation of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr background radiation levels in soil and plant around Tianwan NPP, China, *Journal of Environmental Radioactivity*, 90, 89–99.
- Persson, B.R.R. ve Holm, E., 2011. Polonium-210 and lead-210 in the terrestrial environment: a historical review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 420-429.
- Pulhani, V.A., Dafauti, S., Hegde, A.G., Sharma, R.M. ve Mishra, U.C., 2005. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331–346.
- Shanthi, G., Kumaran, J.T.T., Raj, G.A.G. ve Maniyan, C.G., 2012. Transfer factor of the radionuclides in food crops from high-background radiation area of south west India, *Radiation Protection Dosimetry*, 149, 3, 327–332.
- Strode, S.A., Ott, L.E., Pawson, S. ve Bowyer, T.W., 2012. Emission and transport of cesium-137 from boreal biomass burning in the summer of 2010, *Journal of Geophysical Research*, 117, 1–8.
- Tzortzis, M., Svoukis, E. ve Tsetos, H., 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus, *Radiation Protection Dosimetry*, 109, 217-224.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation), 2000. Radiation sources and Effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1982. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York.
- USEPA (US Energy Protection Agency), 1999. Cancer risk coefficients for environmental exposure to radionuclides. Federal Guidance Report No.13;EPA 402-R-99-001.
- Yazici, K., Ertuğral, B., Damla, N. ve Apaydın, G., 2008. Radioactive Contamination in Lichens Collected from Trabzon and Rize in the Eastern Black Sea Region, Turkey, and a Comparison with that of 1995, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 475–479.

## Acetaminophen (Paracetamol) ve Gemfibrozil'in Farklı Buğday Varyetelerinin Mineral Alımı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> İçeriği Üzerine Etkileri

*Effects of Acetaminophen (Paracetamol) and Gemfibrozil on Mineral Uptake and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Content of Different Wheat Varieties*

Nuray GÜLOĞLU<sup>a</sup>, Etem OSMA<sup>\*b</sup>, Eda TÜRKÖĞLU<sup>c</sup>, Müjgen ELVEREN<sup>d</sup>

*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 24100, Erzincan*

• Geliş tarihi / Received: 30.10.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 23.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 10.08.2018

### Öz

Bu çalışma ile Tıbbi İlaç ve Kişisel Bakım Ürünleri (PPCPs)'nin Ahmetağa, Cemre ve Michelangelo buğday varyeteleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırmada günlük hayatta sıklıkla tüketilen acetaminophen ve gemfibrozil olmak üzere iki farklı tıbbi ilaç etken maddesi kullanılmıştır. Çalışma için ekim yapılacak toprağa, 50, 100 ve 250 mg olacak şekilde acetaminophen ve gemfibrozil karıştırılmıştır. İlaç etken maddesi ile karıştırılmış 650 g toprağın üzerine her bir varyeteden 7 g buğday tohumu ekilmiş, bunun üzeri ise 100 g toprak ile kaplanmıştır. Tarla kapasitesine uygun olarak buğdaylar belirli aralıklarla sulanarak, 15 gün yetiştirildikten sonra hasat edilmiştir. Hasat edilen örnekler ekstraksiyon işlemi yapıldıktan sonra, örneklerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği belirlenmiştir. Ayrıca, buğday örnekleri ön işlemlerden geçirildikten sonra mineral element konsantrasyonları ICP-OES'te analiz edilmiştir. Kontrol örnekleri ile test örnekleri arasındaki ilişki %95 güven aralığında, istatistiksel olarak ANOVA testi ile değerlendirilmiş, anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışmada, acetaminophen ve gemfibrozil uygulanan örneklerde konsantrasyon artışına bağlı olarak kontrol grubu ile kıyaslandığında buğdayların mineral element alımında azalma gözlenirken, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriğinde artış olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Acetaminophen, Buğday, Gemfibrozil, ICP-OES, Mineral element

### Abstract

*This study investigated the effects of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) on wheat varieties of Ahmetağa, Cemre and Michelangelo. Two different active pharmaceutical substances acetaminophen and gemfibrozil, which are frequently consumed in daily life, were used in the study. For study, acetaminophen and gemfibrozil were mixed with soil as follows: 50, 100, and 250 mg. 7 g of wheat seeds were planted from each varieties on each 650 gr of soil that mixed with the pharmaceuticals substance, then covered with 100 gr of soil. The wheat was irrigated at certain intervals in accordance with the field capacity and harvested after 15 days. After extracting the harvested wheats, the content of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the samples were determined. Moreover, wheat samples were analyzed by ICP-OES for mineral element concentrations after pre-treatment. The relationship between control samples and test samples was evaluated statistically at 95% confidence interval, and significant differences were determined. In the study, it was determined that there was an increase in the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content in parallel with a decrease in mineral element uptake of wheat samples treated with increase amount of acetaminophen and gemfibrozil when compared to the control group.*

**Keywords:** Acetaminophen, Gemfibrozil, ICP-OES, Mineral element, Wheat

\*b Etem OSMA; eosma@erzincan.edu.tr; Tel: (0446) 224 30 32; orcid.org/0000-0002-5250-8194

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-8111-4637

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-8801-3145

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-6110-8088



konsantrasyonunu düşürerek gösterir (URL-4, 2018; URL-5 2018). Buğday varyetelerinden Ahmetağa kuraklığa karşı hassas, soğuğa karşı dayanıklı iken, Cemre varyetesi kuraklığa dayanıklı, soğuğa karşı orta derecede hassastır. Michelangelo varyetesi ise, sağlam sap yapısına sahiptir ve sulanan bölgelerde verimi yüksektir. Protein miktarı Cemre ve Michelangelo varyetelerinden biraz daha yüksektir (URL-1, 2017; URL-2, 2017; URL-3, 2017).

Buğdayların ekimi için 650 g toprağa, 50, 100 ve 250 mg olacak şekilde acetaminophen ve gemfibrozil karıştırılmıştır. Karıştırılan toprağın üzerine 7 g buğday tohumu ekilerek üzeri 100 g toprak ile kaplanmıştır. Daha sonra tarla kapasitesi hesaplanarak, ilk gün 250 ml sulama yapılmıştır. Sonraki günlerde bitki belirli aralıklarla tartılıp eksilen miktar kadar sulamaya devam edilmiştir. 15 günün sonunda buğdayların hasadı yapılarak fizyolojik ve biyokimyasal araştırmalar için örnek ayrılmıştır. Örnekler antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenebilmesi için buzdolabında saklanmıştır. Buğdaylar laboratuvar ortamında yetiştirilmiştir (Osma vd., 2017).

## 2.2. Mineral Element Analizi

Yetiştirilen buğdaylar, on beşinci günün sonunda hasat işlemi yapılarak, etüvde 80 °C'de yirmi dört saat kurutulmuştur. Daha sonra havanda toz haline getirilmiştir. Her işlemten sonra havan etil alkol ile temizlenerek, toz haline getirilen örnekler ayrı poşetlere konulup etiketlenerek saklanmıştır. Bitki numunelerinden 0,5 g tartılarak teflon hücrelere konulup, mikrodalga fırında örnekler içine 10 mL % 65'lik HNO<sub>3</sub> ilave edildikten sonra mikrodalga cihazında 280 PSI basınçta ve 180 °C'de yirmi dakika çözüldürülmüştür. Hücreler, mikrodalga işleminden sonra soğumaya bırakılmıştır. Hücreler içerisindeki numuneler, saf su ile 50 mL'ye tamamlanmıştır. Filtre kağıdından süzöldükten sonra, ICP-OES cihazında metal konsantrasyonları uygun dalga boylarında belirlenmiştir (Osma vd., 2014).

## 2.3. Hidrojen Peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Miktarının Belirlenmesi

0.5 g bitki numunesi alınarak 10 mL soğuk aseton içinde homojenize edildikten sonra, homojenat 10.000 x g'de on dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra elde edilen süpernatantın 1.5 mL'si 0.15 mL % 5'lik Ti(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (titanyum disülfat) ve 0.3 mL %19'luk NH<sub>4</sub>OH (amonyum hidroksit) ile karıştırılmıştır. Çökelek oluştuktan sonra karışım

10.000 x g'de on dakika daha santrifüj yapılmıştır. Tüpün süpernatant kısmı uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen pelet 3 mL 2 M'lık H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfürik asit) içinde çözülerek 415 nm'de absorbansı ölçülmüştür. Elde edilen ortalama absorbans değerleri, daha önceden hazırlanmış standart grafik yardımıyla nanogram cinsinden H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarına dönüştürülmüştür. Sonuçlar g doku başına düşen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı (ng/g doku) olarak verilmiştir (He vd., 2005).

## 2.4. İstatistiksel Analizler

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılmasında %95'lik güven aralığında örneklerin ortalama değerleri, standart sapmaları, ANOVA testi ve çoklu istatistiksel karşılaştırmalar yapılmıştır (Osma vd., 2014).

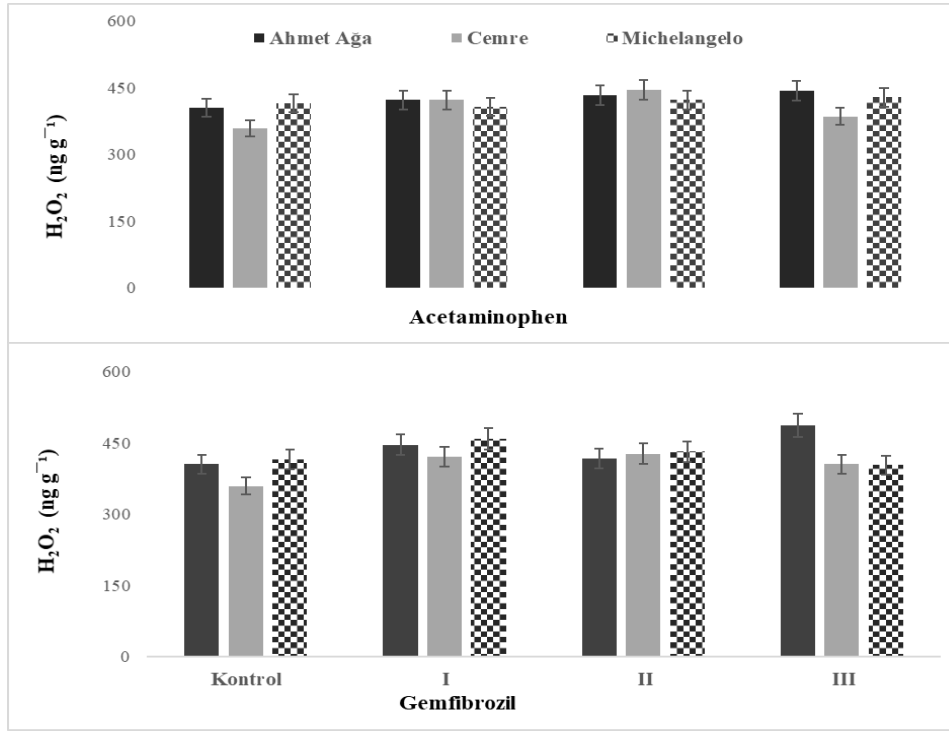
## 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada yaygın olarak kullanılan Acetaminophen ve Gemfibrozil'in farklı konsantrasyonlarında yetiştirilen Ahmetağa, Cemre ve Michelangelo buğday varyetelerinin mineral element alınımı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Eklenen ilaç etken maddelerinin konsantrasyonu arttıkça genel olarak buğday varyetelerinin mineral element alınımında azalma ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriğinde artış gözlenmiştir.

Çalışılan buğday varyetelerinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun (404 – 487 ng/g) değerleri arasında Ahmetağa, (359 – 446 ng/g) değerleri arasında Cemre ve (415 – 458 ng/g) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde değiştiği gözlenmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda en fazla artış Ahmetağa varyetesinde olmuştur. Gemfibrozil etken maddesinin buğday varyeteleri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. (Şekil 2).

Mg konsantrasyonu, (818.1±78.6 - 1593.5±35.4 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa, (1472±66.1 - 1763.6±86.3 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre (1369.9±16.6 - 1656.2±17.3 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde tespit edilmiştir.

K konsantrasyonu (24789±2314.7 - 70899.4±843.4 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (53793±1793.6 - 75760.6±2960.7 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre ve (28582.3±313.5 - 61826.2±248.1 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde belirlenmiştir.



**Şekil 2.** Acetaminophen ve gemfibrozil uygulanan buğday varyetelerinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (I=50 mg, II= 100 mg, III= 250 mg).

Ca konsantrasyonu (925±116.4 - 2215±69.6 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (1664.5±45.5 - 2665.8±42.3 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre ve (316.8±39.5 - 2153.4±46.8 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde görülmüştür.

P konsantrasyonu (4522±494.5 - 11361.3±174.7 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (6523±272.8 - 11506.3±706.9 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre ve (7061.6±79.4 - 8963±56.1 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde tespit edilmiştir.

Cu konsantrasyonu (8.1±0.1 - 13.3±0.6 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (12.3±0.5 - 14.2±0.4 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre ve (11.5±0.3 - 12.3±0.1 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde belirlenmiştir.

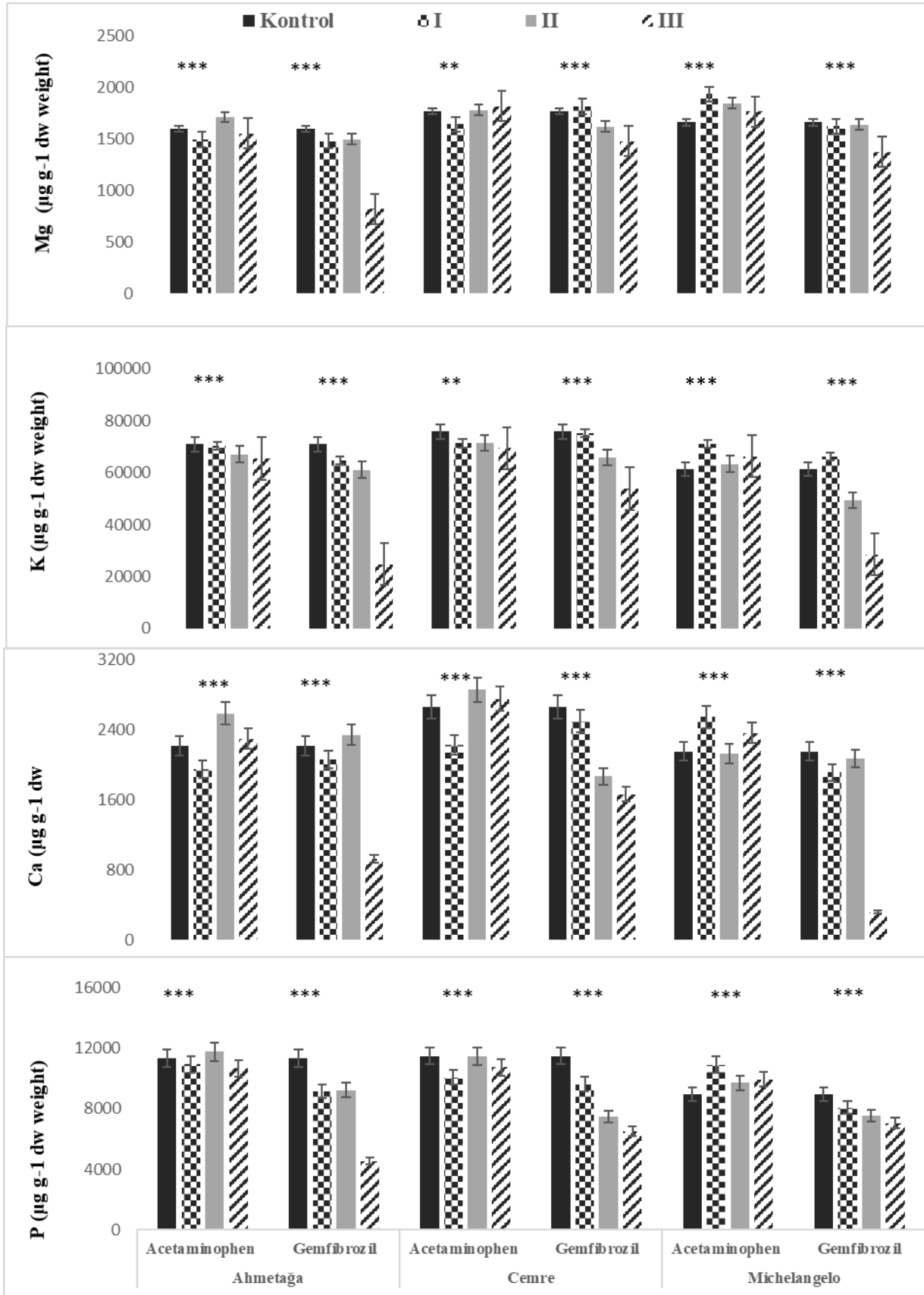
Mn konsantrasyonu (17.5±1 - 35.8±0.6 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (29.6±1.9 - 38.2±1.3 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Cemre ve (22.04±0.2 - 39.6±0.8 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde görülmüştür.

Zn konsantrasyonu (23.4±0.6 - 43.6±1 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Ahmetağa (23.6±1.6 - 29.5±1.5 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında

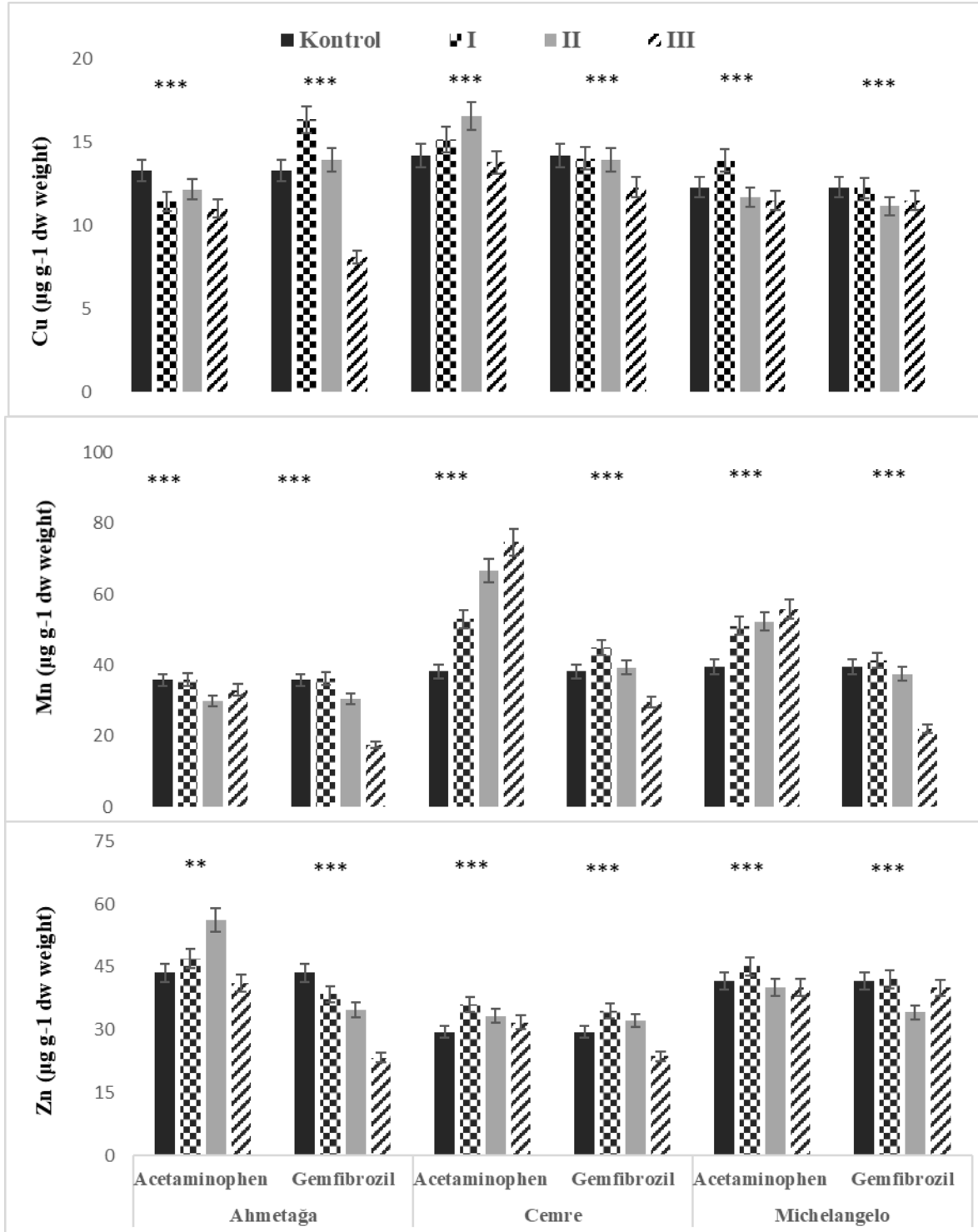
Cemre ve (39.2±1.4 - 40±1.3 (kontrol) µg/g dw) değerleri arasında Michelangelo varyetesinde tespit edilmiştir (Şekil 3a, 3b).

Elde edilen veriler doğrultusunda, gemfibrozilin uygulanan örneklerde acetaminophenin uygulanan örneklerle göre genel olarak element konsantrasyonunda ciddi azalmalar olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında buğday varyeteleri içerisinde uygulanan etken maddelere göre Ahmetağa varyetesinin element konsantrasyonunun daha düşük konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde kontrol örnekleri ile etken maddesi uygulanan örnekler arasında anlamlı yönde farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 3a, 3b.).

Çalışmada elde edilen veriler, yapılan farklı çalışmalar ile kıyaslandığında PPCPs'lerin bitkiler üzerindeki etkilerinin benzer yönde olduğu kanaatine varılmıştır. [Jing vd. \(2009\)](#), parasetemolün *Triticum aestivum* L. (ekmeklik buğday)'nin tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde ekotoksikolojik etkilerini inceleyerek, parasetemolün konsantrasyon artışına bağlı olarak bitkideki parasetemol birikiminin arttığını tespit etmişlerdir. Yine bu araştırmacılar, parasetemolün konsantrasyon artışı ile buğday tohumu ve gelişimini, önemli ölçüde düştüğünü tespit etmişlerdir. [Chenxi vd. \(2012\)](#), PPCPs'lerin bitkiler tarafından alınımını araştırmışlardır.



Şekil 3a. Acetaminophen ve gemfibrozil uygulanan buğday varyetelerinde mineral element konsantrasyonu (Mg, K, Ca, P) (I=50 mg, II= 100 mg, III= 250 mg), (\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001 significant).



**Şekil 3b.** Acetaminophen ve gemfibrozil uygulanan buğday varyetelerinde mineral element konsantrasyonu (Cu, Mn, Zn), (I=50 mg, II= 100 mg, III= 250 mg), (\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001 significant).

Bunun için karbamazepin, difenhidramin ve triklorokarbon kimyasal maddelerinin farklı konsantrasyonlarda ki etkilerini 5 farklı sebze (biber, domates, marul, turp ve lahana) üzerinde denemişlerdir. Yapılan analizler sonrası bu maddelerin konsantrasyon artışına bağlı olarak bitki bünyesinde birikiminin arttığını belirlemişlerdir. Wu vd. (2012), PPCPs'lerin bitkiler tarafından alınımını araştırmışlardır.

Yapılan analizler sonrası bu maddelerin konsantrasyon artışına bağlı olarak bitki bünyesinde birikimin arttığını belirlemişlerdir. Dodgen vd. (2013), lahana ve marulda, bisfenol A, diklofenat sodyum, naproksen ve nonylphenol olmak üzere farklı kimyasallar uygulamış ve bunların her iki bitkide birikimini ve alınımını incelemişlerdir. Köklerde, yaprak ve gövdeye göre daha fazla birikim olduğunu tespit etmişler



ve uygulanan PPCPs'lerin miktarı arttıkça, birikimin arttığı, bitkilerin gelişiminde problemler olduğunu tespit etmişlerdir. Kummerova vd. (2016), yaptıkları araştırmada diklofenak ve parasetemolün oluşturabileceği ekolojik riski araştırmak amacıyla su mercimeği bitkisini model organizma olarak kullanmışlardır. Diklofenak ve parasetemol etken maddelerini farklı konsantrasyonlarda su mercimeği bitkisine uygulayarak, etken maddelerinin konsantrasyon miktarı arttıkça peroksidaz enzim aktivitesinin arttığını, bitkinin plazma zar bütünlüğünün bozulduğunu, bitkinin gelişiminde gerilemeler ile klorofil yapısının tahrip olduğunu tespit etmişlerdir. Weilin vd. (2015), Yonca ve buğday bitkilerinin topraktan raktopamin alımını araştırarak, raktopamin'in farklı konsantrasyonlarının yonca ve buğdayların alım miktarını kontrol grubuyla kıyaslamış ve çalışılan bitkilerde gelişim noktasında önemli farklar elde etmişlerdir. Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi tıbbi ilaç etken maddelerinin bitkiler üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmanın hasat sırasında yapılan gözlemlerde, test gruplarında artan konsantrasyona bağlı olarak buğdayların çimlenen birey sayısında, uzunluklarında ve ağırlıklarında farklılıklar görülmüştür. Dolayısıyla çalışmada elde edilen veriler ve gözlemler, bu konuda yapılan farklı çalışmaların verileri ile örtüşmektedir.

#### 4. Sonuç

Hem element alımına, hem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriğine bakıldığında buğday varyeteleri içinde en fazla etkilenen varyetenin Ahmetağa varyetesi olması, bitkiler arasında olumsuz koşullara dayanıklılığın türlere göre değiştiğinin bir göstergesi olmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda, tıbbi ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin, tarımsal arazilerde kullanılan sulara bulaşması ve toprakta birikmesine bağlı olarak, tarım ürünlerinde ciddi oranda ürün kayıplarına yol açabileceği kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak, kirletici olan bu maddelerin çevre üzerindeki etkilerinin en aza indirgenebilmesi için, PPCPs'lerin uygun şekilde elden çıkarılmasını sağlayacak eğitimlerin verilmesi, ilaç kullanımı ve ilaçların bertaraf edilmesiyle ilgili yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Ayrıca, bu mikro kirleticilerin bitkiler ve diğer canlılar üzerindeki kısa ve uzun vadeli toksikolojik etkilerinin tespit edilmesinin yanında, bitkilerin PPCPs'lere karşı gösterebileceği fizyolojik ve biyolojik tepkilerinin araştırılmasına ciddi manada ihtiyaç vardır.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan Yüksek Lisans tezinin bir bölümü olup, Erzincan Üniversitesi BAP (FBA-2017-404) No'lu proje kapsamında çalışılmıştır.

#### Kaynaklar

- Brady, N.C., Weil, R.R., 2008. The Nature and Properties of Soils. ISBN: 978-0-13-227938-3. Pearson Prentice Hal Inc., New Jersey USA, 1-965.
- Chenxi, W., Alison L.S., Jason D.W., Maruthi Sridhar, B.B. 2012. Transfer of wastewater associated pharmaceuticals and personal care products to crop plants from biosolids treated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 85, 104-109.
- Çığır, Y. 2016. Tıbbi İlaçlar ve Kişisel Bakım Ürünlerinin (PPCPS), Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Üzerinde Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri. Erzincan Üniversitesi Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 48.
- Daughton, C.G., Ternes, T.A., 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of Subtle Change. *Environmental Health Perspect*, 107, 907–942.
- Dodgen, L.K., Li, J., Parker, D., Gan, J.J., 2013. Uptake and accumulation of four PPCP/EDCs in two leafy vegetables. *Environmental Pollution*, 182, 150-156.
- Dolliver, H., Kumar, K., Gupta, S., 2007. Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1224–1230.
- Gottschall, N., Tpp. E., Metcalfe, C., Edwards, M., Payne, M., Kleywegt, S., Russell, P., 2012. Pharmaceutical and personal care products in groundwater, subsurface drainage, soil, and wheat grain, following a high single application of municipal biosolids to a field. *Chemosphere*, 87, 194-203.
- He, Y.L., Liu, Y.L., Cao, W.X., Huai, M.F., Xu, B.G., Huang, B.G., 2005. Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 45, 988–995.
- Heberer, T. 2002. Occurrence, Fate, And Removal Of Pharmaceutical Residues In The Aquatic Environment: A Review Of Recent Research Data. *Toxicology Letters*, 131 (1/2), 5–17.



- Jing, A., Qixing, Z., Fuhong, S., Lei, Z., 2009. Ecotoxicological effects of paracetamol on seed germination and seedling development of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Hazardous materials*, 30, 751-757.
- Kaçar, B., Katkat, A. V., 2011. Bitki Besleme. Nobel Yayınları. (5. Baskı), 1-678.
- Karnjanapiboonwong, A., Chase, D.A., Can˘as, J.E., Jackson, W.E. Maul, J.D., Morse, A.N., Anderson, T.A., 2011. Uptake of 17a-ethynylestradiol and triclosan in pinto bean, *Phaseolus vulgaris*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, 1336–1342.
- Karnjanapiboonwong, A., Morse, A.N., Maul, J.D., Anderson, T.A., 2010. Sorption of estrogens, triclosan, and caffeine in a sandy loam and a silt loam soil. *Journal of Soils Sediments* 10, 1300–1307.
- Kızılgöz, İ., Sakin, E., Öztürkmen, A.R., Almaca, A., 2011. Tuzlu ve Tuzsuz Topraklarda Yetiştirilen Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Bitkisinin Makro ve Mikro Element Kapsamlarının Karşılaştırılması. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 19-30.
- Kummerová, M., Zezulka, Š., Babula, P., Tríska, J. 2016. Possible ecological risk of two pharmaceuticals diclofenac and paracetamol demonstrated on a model plant *Lemna minor*. *Journal of Hazardous Materials*, 302, 351-361.
- Liu, F., Ying, G.G., Yang, L.H., Zhou, Q.X., 2009. Terrestrial ecotoxicological effects of the antimicrobial agent triclosan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 86–92.
- Musolff, A., Leschik, S., Moder, M., Strauch, G., Reinstorf, F., Schirmer, M. 2009. Temporal and spatial patterns of micropollutants in urban receiving waters. *Environmental Pollution*, 157, 3069-3077.
- Osma, E., Elveren, M., Türkoğlu, E., Yavuzer, H., Çığır, Y., 2017. Tıbbi İlaçlar ve Kişisel Bakım Ürünlerinin (PPCPs) *Triticum aestivum* L. Üzerinde Antioksidan Enzim Aktivitelerine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 535-541.
- Osma, E., İlhan, V., Yalçın, İ.E., 2014. Heavy metals accumulation causes toxicological effects in aquatic *Typha domingensis* Pers. *Brazilian Journal of Botany*, 37(4), 461-467.
- Pedersen, J.A., Soliman, M., Suffet I.H.M., 2005. Human pharmaceuticals, hormones, and personal care product ingredients in runoff from agricultural fields irrigated with treated wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1625–1632.
- Stevens, K.J., Kim, S.Y., Adhikari, S., Vadapalli, V., Venables, B.J. 2009. Effects of triclosan on seed germination and seedling development of three wetland plants: *Sesbania herbacea*, *Eclipta prostrata*, and *Bidens frondosa*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 2598–2609.
- Suárez, S., Carballa, M., Omil, F., Lema, J.M., 2008. How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters? *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7(2), 125-138.
- Ternes, T.A., 1998. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32(11), 3245–3260.
- Topal, M., Uslu, G., E.I.A., Topal, Öbek, E. 2012. Antibiyotiklerin Kaynakları ve Çevresel Etkileri. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 137-152.
- URL-1, 2017. <http://baserun.com.tr/yari-sert-budaylar.html>.
- URL-2, 2017. <http://arastirma.tarim.gov.tr/gaputaem>.
- URL-3, 2017. <http://www.semilatohum.com/portfolio/michela-ngelo>.
- URL-4, 2018. <https://www.drugs.com/gemfibrozil.html>
- URL-5, 2018. <https://www.drugs.com/acetaminophen.html>
- Weilin, L.S., Thomas, M.D., 2015. Ractopamine uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) from soil. *Journal of Environmental Sciences*, 3(34), 86-92.
- Wu, C., Spongberg, A.L., Witter, J.D., Fang, M., Czajkowski, K.P., 2010. Uptake of pharmaceuticals and personal care products by soybean plants from soils applied with biosolids and irrigated with contaminated water. *Environmental Science and Technology*, 44, 6157–616.

## Soğuk Şekil Verilmiş Bükümlü Çeliklerin Tek Eksenli Basınç Davranışı

### *The Uniaxial Compressive Behavior of Corrugated Cold Formed Steel Members*

**Mahmut KILIÇ\***

*Atatürk üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25030, Erzurum*

• Geliş tarihi / Received: 20.02.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 23.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 15.08.2018

#### Öz

Kemer şeklinde üretilen kendinden dişli (bükümlü) kaplamalar basit yapılar inşa etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın ardındaki teknoloji tamburlu şekillendirme teknolojisi (Roll Forming Machine- RFM) ile sağlanmaktadır. Bu teknoloji ve uygulamaları inşaat sektörünün ilgisini çekse de Avrupa Birliği açısından bazı teorik ve tasarım ilkelerinde eksiklikler bulunmaktadır. Özellikle geçici yapılarda kullanılan bu teknolojinin imalat ve montajı basit ve hızlıdır. Bu teknolojinin ardında hafif çelik elemanlarda diş oluşturmak suretiyle atalet momentini artırmak bulunmaktadır. Böylece, geleneksel yapım tekniğine göre daha hafif ancak yeterli taşıma gücüne sahip sistemlerin tasarımı mümkün olmaktadır. Teorik altyapısı oluşmamış olan bu sistemin altyapısının oluşturulması amacıyla bu çalışmada, soğuk şekillendirilmiş bükümlü kemer tipli kesitlerin tek eksenli basınç davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Basınç davranışı, Bükümlü eleman, Soğukta şekil verilmiş çelik, Tamburlu şekillendirme teknolojisi, Tek eksenli yükleme

#### Abstract

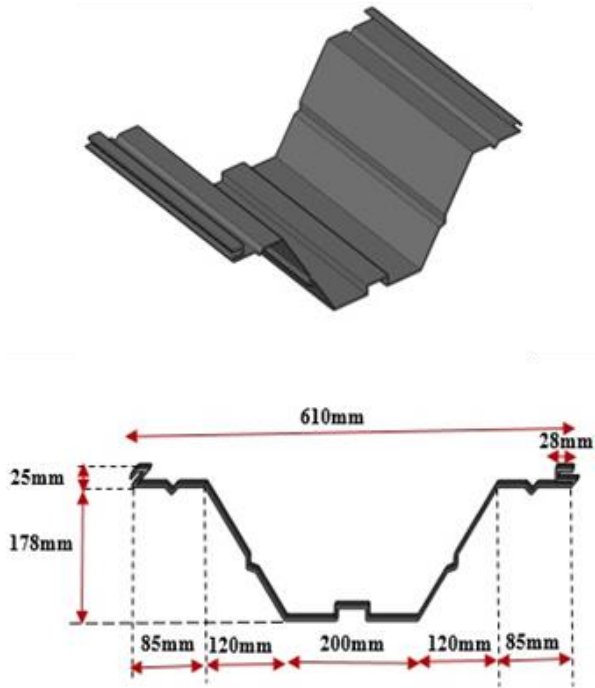
*Corrugated arch type coatings are widely used to construct simple structures. The technology behind this concept is evaluated by Roll Forming Machine (RFM). As a basic load carrying system, arch type cold formed steel members are manufactured with this technology. However, the technology and its applications are getting in consideration by construction industry, there are some theoretical and design absences for the European Union. The manufacturing and assemblage of these type of members are fast and easy, and they are specifically used for temporary facilities. The basic concept of this technology is to increase the moment of inertia of the cold formed steel members by forming dents. Thus, it is possible to design systems that are lighter than traditional construction techniques, but have the sufficient strength. Within the case of the theoretical background is not adequate for this type of members, the uniaxial compressive behavior of cold-formed corrugated arch type sections are observed, experimentally within this work.*

**Keywords:** Compressive behavior, Corrugated member, Cold formed steel, Roll forming technology, Uniaxial load

\* Mahmut KILIÇ; mahmut.kilic@atauni.edu.tr; Tel: (0530) 492 19 87; orcid.org/0000-0003-0947-685X

## 1. Giriş

Tamburlu şekillendirme teknolojisi (Roll Forming Machine-RFM) sayesinde hızlı ve ucuz çözümler ortaya çıkmaktadır. Tamburlu şekillendirme teknolojisi ile çelik ve/veya alüminyum levhalar gibi elamanlar soğuk şekil verilerek dişli (bükümlü) bir hale sokulmaktadır. Bu durumda k-span adı verilen elamanlar ortaya çıkmaktadır. Bu teknoloji sayesinde üretilen k-span elamanların birbirlerine kenetlenerek birleştirilmesi sonucu oluşturulan yapılar yaygın hale gelmeye başlamışlardır. Amerika Birleşik Devleti ile başlayan bu üretim giderek yaygınlaşmıştır. Şekil 1 de tamburlu şekillendirme teknolojisi (RFM-Roll Forming Machine) ile üretimi yapılan k-span örneği görülmektedir (M.I.C. Industries Inc.; Gençler Metal LTD. ŞTI).

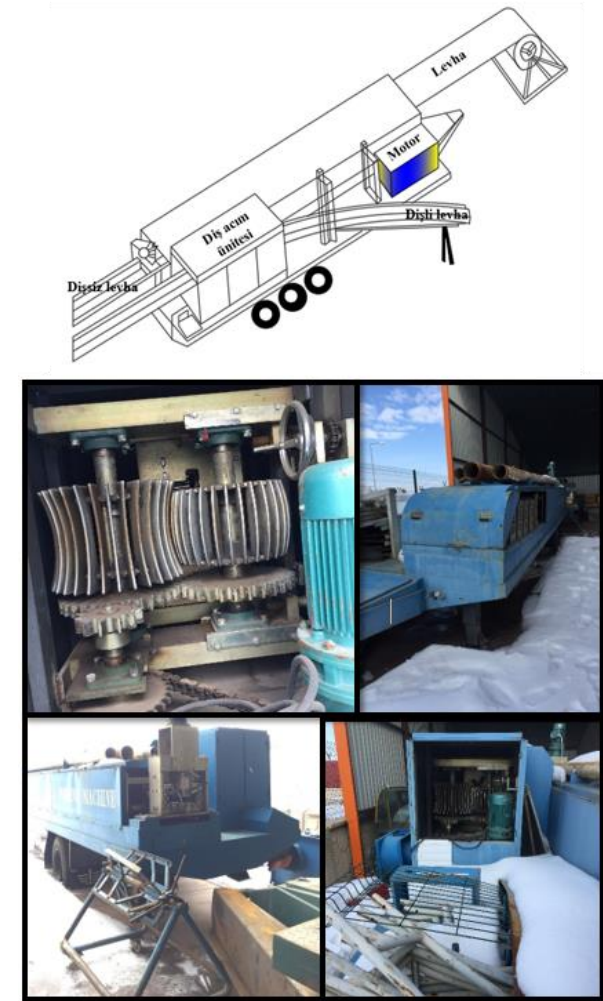


Şekil.1. k-span: model ZX-610

Bu üretim sayesinde hafif çelik sac panellere soğuk şekil verilerek hem yapı öz ağırlığı düşürülerek deprem davranışı iyileştirilmekte, hem de daha ekonomik yapılar elde edilmektedir. Standart bir formda üretimleri yapıldığı için beton ve çeliğe göre imalat hataları daha azdır. Bu durum görsel bozuklukları, çalışma alanı kısıtlamalarını vb. minimize etmektedir; daha güvenli geniş tasarımları mümkün kılabilir. Bu yapılar, öncelikle kemerler arsa genişliğinde

Amerikan Standartlarına göre yapılan bu çalışmada, öncelikle kemerler arsa genişliğinde

gerekli aralıkları oluşturmak için kesilir ve makineye verilir. Daha sonra kavisli bir şekil verilerek elde edilmek istenen kemer şekli oluşturulur. Kaspan şeklindeki hafif çelik elaman için uygun bir teorik model bulunmamaktadır. Kemer içine kıvrılmış berkitme gibi görev yapabilen paneller sırasında oluşan katlama şekilleri belirsizlikler içermektedir (Eurocode 3, 2006). Bu çalışmada, tek eksenli yükleme altında k-span panelleri üzerindeki dişlerin etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Walentyński (2004) ve Cybulski ve Koziel (2011) çalışmalarında tamburlu şekillendirme teknolojisinin sorunları hakkında çalışmalar yapmışlardır. Şekil 2’de tamburlu şekillendirme teknolojisinin (RFM)’nin şekli görülmektedir.



Şekil. 2. Tamburlu şekillendirme (RFM) makinesi genel görünümü

Şekil 3 de soğuk şekil verilmiş hafif çelik levhalardan tonoz tipi bir k-span’ın şantiyede uygulanması görülmektedir. Paneller ölçülerinde kesilip dikiş makinesi yardımıyla birbirlerine sıkılarak sabitlenir. Daha sonra vinç yardımıyla uygulama yerine taşınarak montajı yapılır.



Şekil 3. Kemerli çelik levha kesitlerinin uygulaması

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırmada, soğuk şekil verilmiş hafif çelik levhalardan üretilmiş iki tip elamanın aksel yük altında yük-deformasyon ve yük-gerilme eğrileri incelenmiştir. Tamburlu şekillendirme teknolojisi kullanılarak elde edilen numunelerden ilk elaman kendinden dişli, diğer elamanda ise dişsiz olarak imal edilmiştir. Her iki numunede de yükleme

doğrultusuna paralel kat yerleri mevcut iken, birinci tip elamanda yükleme doğrultusuna dik dişlerde mevcuttur. Levha kalınlıkları 0.6 mm ve yükseklikleri ise 1500 mm 'dir. Bu araştırmada, k-span panelleri üzerindeki dış (katlama/büküm) etkisinin daha iyi anlaşılması için bir temel oluşturmaya çalışılmaktadır. Şekil 4 de incelenen iki tip deney modeli görülmektedir.



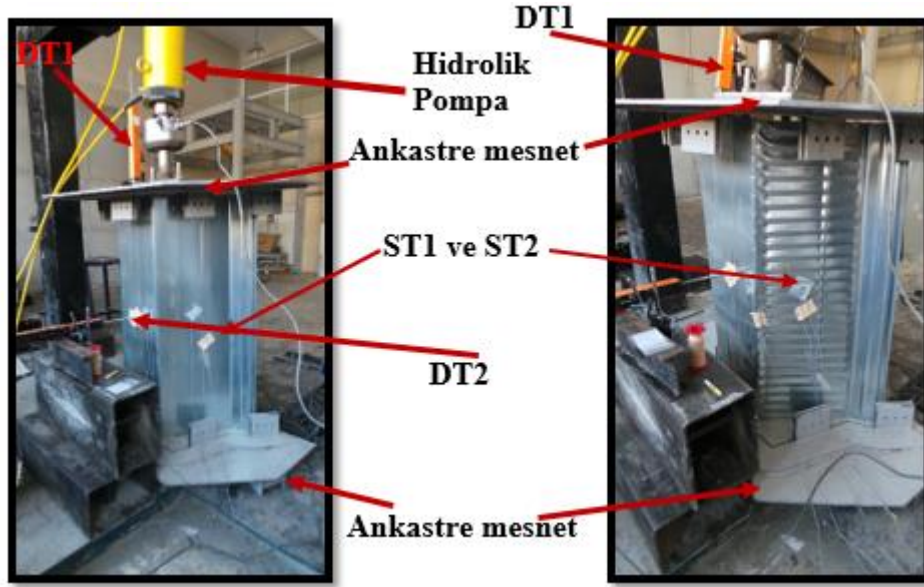
Şekil 4. Deneysel modeller a) Dişli model b) Dişsiz model

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı, Malzeme ve ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneğinde 90 ton kapasiteli

hidrolik pompa, 250 kN kapasiteye sahip yükleme hücresi (loadcell), deformasyon ölçüm cihazları (LVDTs-300 mm 2 adet), gerinim pulları (strain gauges yatay ve düşeyde birer adet), ve veri

toplama cihazı (data logger) kullanılmıştır (Aydın, 2015a; Aydın, 2015b; Maali, 2016; Maali, 2017). Kullanılan iki adet gerinim pulu ST1 ve ST2 adlarıyla deneylerin arkasında ve 600 mm yüksekliğinde dikey ve yatay sırasıyla yapıştırılmıştır. Deformasyon ölçüm cihazları (LVDT-300 mm) DT1 ve DT2 adları kullanarak dikey ve yatay deformasyonları ölçmek için yerleştirilmiştir. Yatay deformasyon ölçüm cihazı

DT2, 600 mm yüksekliğe yerleştirilmiştir. İki adet ankastre mesnet Şekil 4 teki gibi kullanılmıştır. Deneyler bir çelik inşaat (Gençler Metal Ltd. Şti.) firması yardımıyla hazırlanmıştır. Çalışmada amaç k-span (super span model 600) panelleri üzerindeki yüke dik doğrultudaki dişlerin etkisinin aksel yük altındaki davranışını incelemek için kurgulanmıştır. Deformasyon ölçüm cihazları ve deney düzeneği Şekil 5 te görülmektedir.

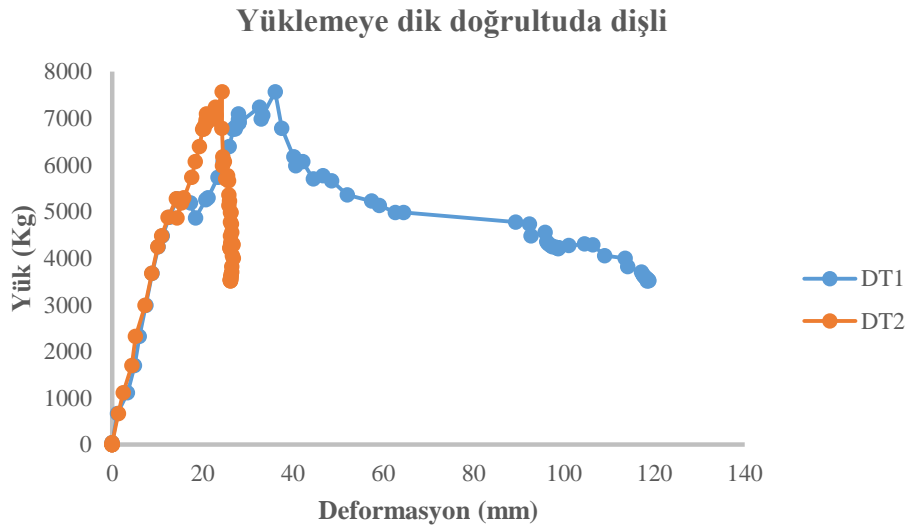


Şekil 5. Deney düzeneği

### 3. Bulgular ve Tartışma

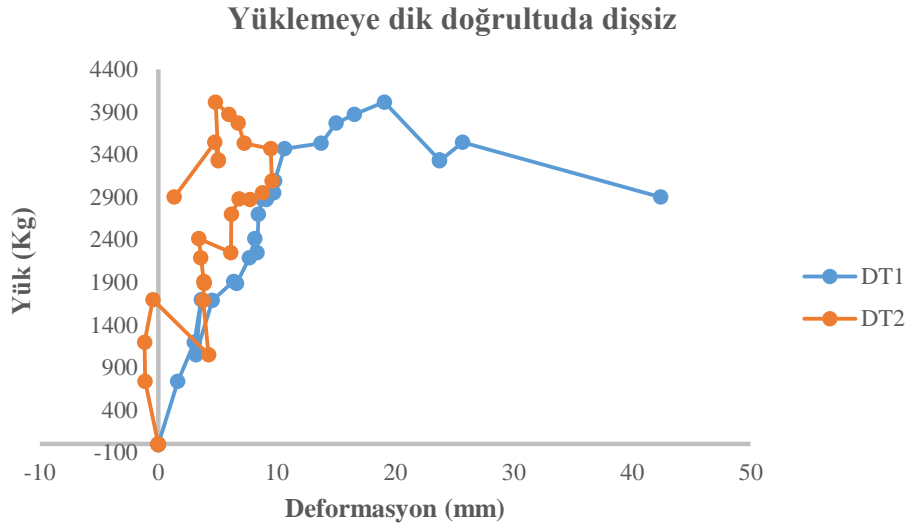
Şekil 6 ve 7 de yük-deformasyon eğrileri, Tablo 1'de her iki deneyin yük ve maksimum

deformasyon sonuçları verilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan yükleme doğrultusuna dik dişsiz ve dişli k-span elemanların aksel yük altında davranışları incelenmiştir.



Şekil 6. Yüklemeye dik doğrultuda dişli elemanın yük-deformasyon eğrisi





**Şekil 7.** Yüklemeye dik doğrultuda dişsiz elemanın yük-deformasyon eğrisi

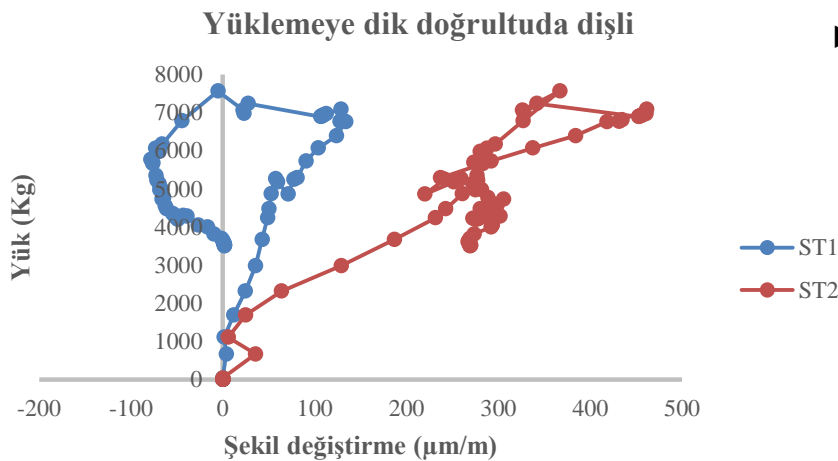
Yük doğrultusuna dik dişli (yatay katlamalı-yüke dik) elemanın yük taşıma kapasitesi yüke dik dişsiz (yatay katlamasız-yüke dik) elemandan 1.88 kat daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 1). Ayrıca, yatay dişli ve dişsiz elemanın deformasyonları kıyaslandığında yatay dişli elemanın 2.80 kat daha az deformasyon yaptığı görülmektedir. Sonuç olarak yük doğrultusuna dik dişler yük taşıma kapasitesini artırırken deformasyonları da

azaltmıştır. Şekil 8 ve 9 da yapılan çalışmada ele alınan iki tip eleman için yük-gerilme eğrileri gösterilmiştir. İki gerinim pulu yatayda ve düşeyde aynı davranışı göstermişler, aynı anda elastik bölgeden plastik bölgeye geçiş yapmışlardır. Ayrıca, şekil değiştirme yatay dişli kemerli çelik levha kesitinde dişsiz olana göre yaklaşık 2 kat daha fazla meydana gelmiştir.

**Tablo 1.** Yatay dişli ve dişsiz elemanların yük-deformasyon değerleri

Model	Maks. yük (kg)	Maks. deformasyon (mm)	Maks. Yük (EX2) / Maks. yük (EX1)	Maks. deformasyon (EX2)/ Maks. deformasyon (EX1)
EX1*	4014.61	42.40	1.88	2.80
EX2**	7564.32	118.61		

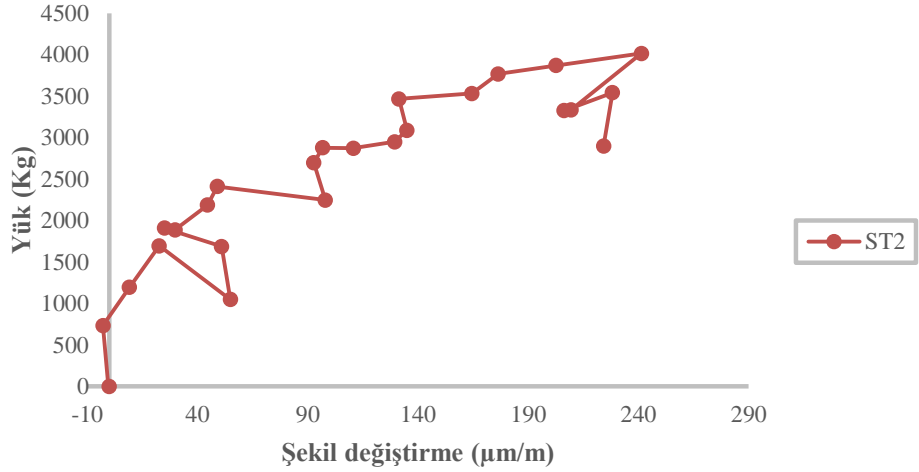
\*Yüklemeye dik doğrultuda dişsiz \*\*Yüklemeye dik doğrultuda dişli



**Şekil 8.** Yüklemeye dik doğrultuda dişli elemanın yük-şekil değiştirme eğrisi



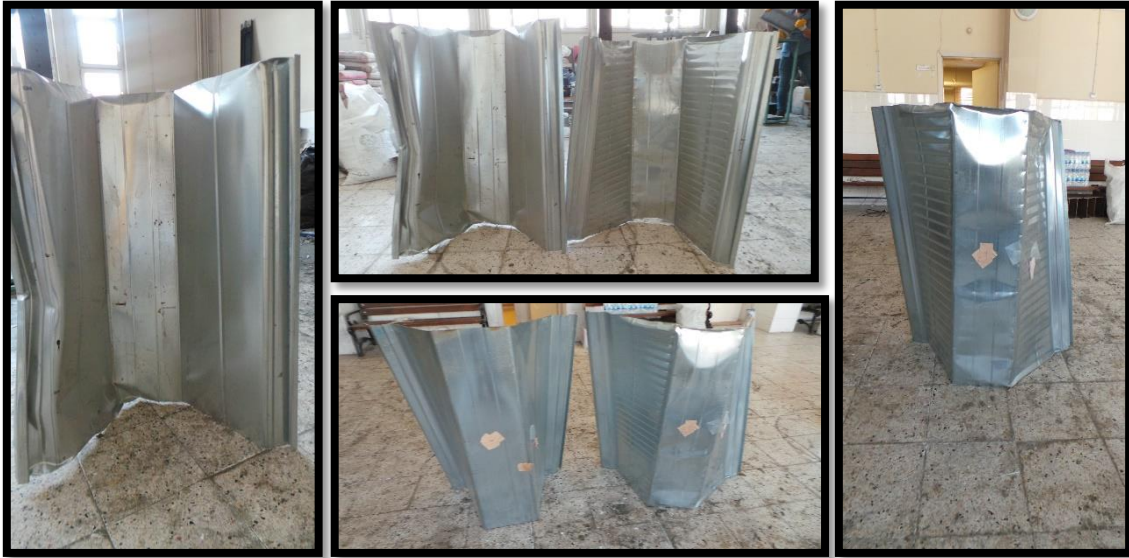
## Yüklemeye dik doğrultuda dişsiz



Şekil 9. Yüklemeye dik doğrultuda dişsiz elemanın yük-şekil değiştirme eğrisi

Kemerli çelik levha kesitlerinin öne çıkan dezavantajı yapım esnasında oluşabilen kusur ve yanal burkulma hassasiyeti olarak değerlendirilebilir. Şekil 10 da görüldüğü gibi yük doğrultusuna dik dişsiz ve dişli elemanlarla gerçekleştirilen deneylerde elemanlar kanatlara paralel ve dışa doğru burkulmuşlardır. Her iki elemanda da ortaya çıkan V şeklindeki hasarların yüke dik

doğrultuda katlaması olan elemanlarda daha çok sayıda oluştuğu görülmektedir. Oluşan hasarlar irdelendiğinde yatay dişsiz elemanda az sayıda ortaya çıkan V tipi hasarın daha büyük bir uzunlukta etkin olduğu görülürken, yatay dişli elemanda daha çok sayıda V hasar daha kısa mesafelerde etkili olmaktadır.



Şekil 10. Deneylerin göçme şekilleri

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, k-span (model ZX-610) kemerli çelik levha kesitlerinin davranışını temsil eden yük-deformasyon eğrisinin belirlenmesi adına bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan

deneysel çalışmalar göstermiştir ki, yük doğrultusuna dik doğrultuda oluşturulan katlamalar yük taşıma kapasitesini 1.88 kat artırmıştır. Ayrıca, yatay dişli elemanların deformasyonu dişsiz elemanlara göre 2.80 kat az çıkmıştır. Sonuç olarak yatay dişli eleman kullanımı hem yük taşıma

kapasitesini hem de deformasyon kapasitesini artırmıştır. Yatayda ve düşeyde bulunan gerinim pulları aynı davranışı göstererek aynı anda elastik bölgeden plastik bölgeye geçiş yapmışlardır. Tüm deneylerde numuneler açık ağzının baktığı yön doğrultusunda burkularak, V şeklinde göçmeler oluşturarak göçmüştür.

### Kaynaklar

- Aydın A.C, Kılıç M, Maali M, ve Sagioglu M, 2015b. Experimental Assessment of the Semi-Rigid Connections Behavior with Angles and Stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*. 114, 338-348.
- Aydın A.C, Maali M, Kılıç M, ve Sagioglu M, 2015a. Experimental Investigation of Sinus Beams with End-Plate Connections. *Thin-Walled Structures*. 97, 35-43.
- Cybulski R, Koziel K, 2011. Introduction to stiffness investigation of ABM K-span arch structures. *InterTech 2011 Conference*. Poznań.
- European Standard; Eurocode 3 2006. Design of steel structures- Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. EN 1993-1-3.
- Gençler Metal LTD. ŞTI.; <http://www.genclermetal.com.tr/>
- M.I.C. Industries Inc.; <http://www.micindustries.com/>
- Maali M, Kılıç M, Sagioglu M, ve Aydın A.C, 2017. Experimental Model for Predicting the Semi-Rigid Connections' Behaviour with Angles and Stiffeners. *Advances in Structural Engineering*. 20(6), 884-895.
- Maali M, Kılıç M, ve Aydın A.C, 2016. Experimental Model of the Behaviour of Bolted Angles Connections with Stiffeners. *Int. Journal of Steel Structures*. 16(3), 1-15.
- Walentyński R, 2004. Design problems of cold formed light-weight ark structures. *Local seminar of IASS Polish Chapter*.

# Nikotinamid İçeren Çinko (II) Kompleksinin Moleküler Özellikleri ve Titreşim Spektrumu

*Molecular Properties and Vibrational Spectra of Zinc (II) Complex with Nicotinamide*

**Hacer GÜMÜŞ\***

*Kocaeli Üniversitesi, Gölcük MYO, 41380, Kocaeli*

• Geliş tarihi / Received: 01.02.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.08.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 21.08.2018

## Öz

Bu makalede,  $(C_6H_{11}N_2)[ZnBr_3(C_6H_6N_2O)]$  (1a) molekülünün yapısal parametreleri üzerine teorik bir çalışma rapor edilmiştir. Molekül 1a için moleküler geometrik yapısı, harmonik titreşim dalgasayıları, moleküler sınır orbital (HOMO-LUMO) enerjileri, Mulliken, APT ve NBO atom yükleri ve moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) yüzeyleri Gaussian programı kullanılarak hesaplanmıştır. Gaussian programında hesaplanan teorik hesaplamaların tümü DFT/B3LYP ve DFT/HSEH1PBE metotları ile 6-311++G(d,p) seti ile hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** DFT, Dipol moment, IR ve Raman spektroskopisi, Moleküler orbital enerji

## Abstract

*In this paper, we report a theoretical study on structure parameters of  $(C_6H_{11}N_2)[ZnBr_3(C_6H_6N_2O)]$  (1a) molecule. Molecular geometry, harmonic vibration waves, molecular frontier orbital (HOMO-LUMO) energies, mulliken, APT and NBO atomic charges and molecular electrostatic potential (MEP) surfaces were calculated for molecule 1a by using the Gaussian program. All of the theoretical calculations calculated in the Gaussian program were calculated using B3LYP and HSEH1PBE methods at 6-311 ++ G (d,p) set.*

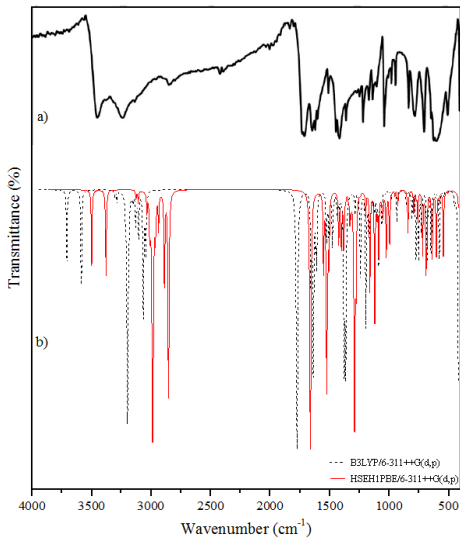
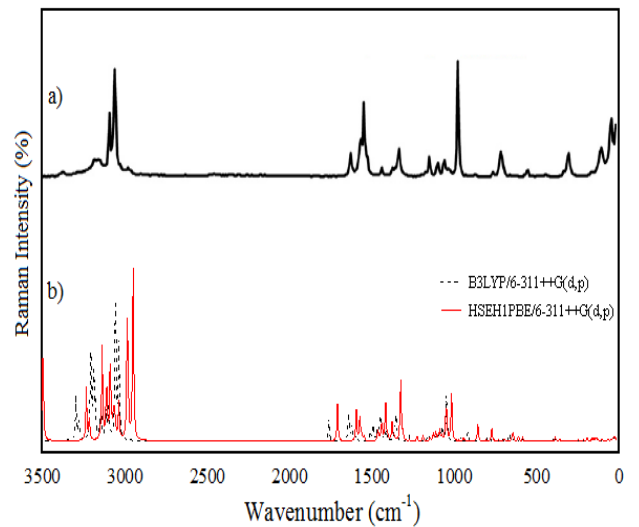
**Keywords:** DFT, Dipole moment, IR and Raman spectroscopy, Molecular orbital energy

\* Hacer GÜMÜŞ; hincer.gumus@kocaeli.edu.tr; Tel: (0262) 422 38 55; orcid.org/0000-0002-6486-0515



**Tablo 1.** Deneysel (Chunyan vd., 2015) ve teorik olarak hesaplanan parametreler

	Deneyisel	Teorik Hesaplamalar	
	X-Ray	DFT/B3LYP	DFT/HSEH1PBE
<b>Bağ Uzunluğu (Å)</b>			
Br1-Zn1	2.381(3)	2.42784	2.41378
Br2-Zn1	2.372(3)	2.46662	2.45115
Br3-Zn1	2.377(3)	2.43082	2.41830
Zn1-N1	2.041(10)	2.13939	2.12538
O1-C6	1.215(17)	1.21642	1.22737
N1-C5	1.327(17)	1.33753	1.34413
N1-C1	1.350(18)	1.34300	1.34997
N2-C6	1.323(17)	1.37278	1.37790
C1-C2	1.373(19)	1.38784	1.39413
C4-C5	1.420(17)	1.39666	1.40301
C4-C6	1.466(19)	1.50406	1.50630
N3-C10	1.30(2)	1.33564	1.34450
N3-C8	1.35(3)	1.38048	1.38302
N3-C7	1.48(2)	1.46804	1.46645
N4-C10	1.29(2)	1.33640	1.34513
N4-C9	1.34(3)	1.38149	1.38397
N4-C11	1.51(3)	1.47887	1.47776
C8-C9	1.33(3)	1.36010	1.36954
C11-C12	1.43(3)	1.52537	1.52611
<b>Bağ Açısı (°)</b>			
N1-Zn1-Br2	106.4(3)	103.88046	103.47660
N1-Zn1-Br3	108.4(3)	104.56211	104.25783
Br2-Zn1-Br3	112.51(11)	110.88851	110.51273
N1-Zn1-Br1	103.8(4)	107.03142	106.49252
Br2-Zn1-Br1	114.86(10)	113.97281	115.18544
Br3-Zn1-Br1	110.24(10)	115.29440	115.46173
C5-N1-C1	117.9(12)	119.28563	119.31655
C5-N1-Zn1	119.6(9)	118.71325	121.78398
C1-N1-Zn1	122.3(9)	121.78381	118.70663
N1-C1-C2	122.4(14)	122.14260	122.08113
C3-C2-C1	119.1(15)	118.77830	118.82795
C2-C3-C4	121.7(13)	119.25463	119.24972
C3-C4-C5	114.9(12)	118.19970	118.20529
C3-C4-C6	126.6(12)	123.68233	123.77162
C5-C4-C6	118.5(12)	118.09446	117.98805
N1-C5-C4	123.9(13)	122.31585	122.29320
O1-C6-N2	121.3(14)	122.58632	122.76342
O1-C6-C4	121.3(12)	121.70773	121.76648
N2-C6-C4	117.3(14)	115.68717	115.44436
C10-N3-C8	107.3(18)	108.59582	108.75866
C10-N3-C7	126(2)	125.03148	124.68229
C8-N3-C7	127(2)	125.91704	125.98034
C10-N4-C9	109.3(19)	108.44193	108.59022
C9-C8-N3	108(2)	107.03127	107.00112
C8-C9-N4	106(2)	107.16208	107.16729
N4-C10-N3	109.3(18)	108.76075	108.47157
C12-C11-N4	115(2)	112.42370	112.47622

**Şekil 3.** (a) Deneysel (Chunyan vd., 2015) FT-IR (b) Teorik kırmızı-altı (IR) spektrumu**Şekil 4.** (a) Deneysel (Chunyan vd., 2015) ve (b) Teorik Raman spektrumu

Şekil 4'deki deneysel ve teorik Raman spektrumlarındaki titreşim bandları 3500-500  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki bölgede uyumlu, 500  $\text{cm}^{-1}$  in altında ise band şiddetlerinde ise değişimler gözlenmiştir.

Tablo 2'de verildiği gibi asimetrik  $\text{NH}_2$  gerilme titreşim bandı deneysel (Chunyan vd., 2015) 3404  $\text{cm}^{-1}$  de çok güçlü olarak gözlenmişken B3LYP ve HSEH1PBE metotlarında hesaplanan teorik değerleri 3689  $\text{cm}^{-1}$  ve 3480  $\text{cm}^{-1}$  orta şiddette gözlemlenmiştir. Asimetrik  $\text{NH}_2$  gerilme titreşim

bandı ise deneysel (Chunyan vd., 2015) 3152  $\text{cm}^{-1}$  de orta şiddette gözlenmişken B3LYP ve HSEH1PBE metotlarında hesaplanan teorik değerleri 3567  $\text{cm}^{-1}$  ve 3360  $\text{cm}^{-1}$  orta şiddette gözlemlenmiştir. Önemli piklerden olan CO gerilme titreşim bandı ise deneysel (Chunyan vd., 2015) 1683  $\text{cm}^{-1}$  de çok güçlü olarak gözlenmişken B3LYP ve HSEH1PBE metotlarında hesaplanan teorik değerleri 1755  $\text{cm}^{-1}$  ve 1641  $\text{cm}^{-1}$  de çok güçlü şiddette gözlemlenmiştir.

**Tablo 2.** Deneysel (Chunyan vd., 2015) ve teorik titreşimsel dalgasayıları ve işaretlemeleri

Assignments	Deneysel ( $\text{cm}^{-1}$ )		Teorik Hesaplamalar			
	IR	Raman	B3LYP		HSEH1PBE	
			IR	Raman	IR	Raman
$\nu_{\text{asym}}(\text{NH}_2)$	3404vs	-	3689.61m	3689.61m	3480.23m	3480.23s
$\nu_{\text{asym}}(\text{NH}_2)$	3306m	-	-	-	-	-
$\nu_{\text{sym}}(\text{NH}_2)$	3152m	3152w	3567.38w	3567.38s	3360.02m	3360.02vs
$\nu_{\text{ring}}(\text{CH})$	3065m	3069s	3195.78vw	3195.78vs	3015.89w	3015.89vs
$\nu_{\text{im}}(\text{CH}_3)$	-	2953m	3025.41w	3025.41vs	2863.65w	2863.65vs
$\nu(\text{CO})$	1683vs	1683w	1755.02vs	1755.02w	1641.96vs	1641.96s
$\delta(\text{NH}_2)$	1621sh	-	1618.98s	1618.98w	1504.82vs	1504.82m
$\nu_{\text{py}}(\text{ring})$	1605s	1601s	1613.99w	1613.99w	1532.09m	1532.09s
$\nu_{\text{im}}(\text{CN})$	1569s	1569m	1588.84m	1588.84w	1497.03m	1497.03w
$\nu_{\text{am}}(\text{CN})$	1389m	1390w	1408.35w	1408.35m	1359.88m	1359.88s
$\nu_{\text{am}}(\text{CN})$	1385vs	-	1395.02m	1395.02w	1323.22w	1323.22m
$\delta_{\text{py}}(\text{CH})$	1329w	1199w	1358.68s	1358.68m	1272.24vs	1272.24s
$\nu_{\text{im}}(\text{ring})$	1169s	1165m	1176.13s	1176.13vw	1101.65s	1101.65m
Ring def. $\delta_{\text{py}}(\text{ring})$	1032vs	1034vs	1044.27m	1044.27s	1005.59m	1005.59m
CH op. Rock in imidazole ring	757s	757vw	733.23m	733.23vw	671.46m	671.46w
Ring op. bend. $\gamma_{\text{py}}(\text{ring})$	691vs	701w	710.08m	710.08vw	663.11m	663.11w
$\text{NH}_2$ wagging	646s	652w	661.69m	661.69w	616.73m	616.73m
Ring ip. def., $\delta_{\text{py}}(\text{ring})$	621m	-	627.28m	627.28w	583.42m	583.42w
CH op. bend., $\gamma_{\text{py}}(\text{CH})$	516s	-	521.63m	521.63w	488.73vw	488.73w
$\nu(\text{ZnN})$	424m	415w	431.81m	431.81w	397.88w	397.88vw
$\delta(\text{ZnBr})$	-	177vs	190.46s	190.46m	185.03m	185.03w

## 2.4. Elektronik Özellikleri

Bir yapının elektron yoğunluğu dağılımına bakılarak, iyonizasyon potansiyeli, elektron ilgisi, kimyasal sertlik ve yumuşaklık parametreleri, elektrostatik potansiyel ve moleküler orbital şekilleri hakkında bilgi edinilebilir. Moleküler orbitaller HOMO-LUMO diye adlandırılır. Buradaki HOMO molekülün elektronu verme eğilimidir ve dolu olan en yüksek enerjili orbitaldir. LUMO ise molekülün elektron alma eğilimidir ve boş olan en düşük enerjili orbitaldir (Pir Gümüş ve Atalay, 2017). Molekülün enerji farkı ( $\Delta E$ ) büyük olduğunda elektron dağılımı daha az değişime uğrar ve kutuplanma düşük olur. DFT/B3LYP ve DFT/HSEH1PBE metotlarında 6-311++G(d,p) taban setinde elektronik yapı parametreleri hesaplanmıştır ve Tablo 3'de bu

parametreler listelenmiştir. Tablo 3'de verilen HOMO ile LUMO enerji farkının 1.5 eV dan büyük olması termodinamik açıdan molekülün kararlı ve dayanıklı olduğunu gösterir. Ayrıca molekül kendi kendileri ile reaksiyon vermez, dimerleşme, polimerleşme gerçekleştirmez.

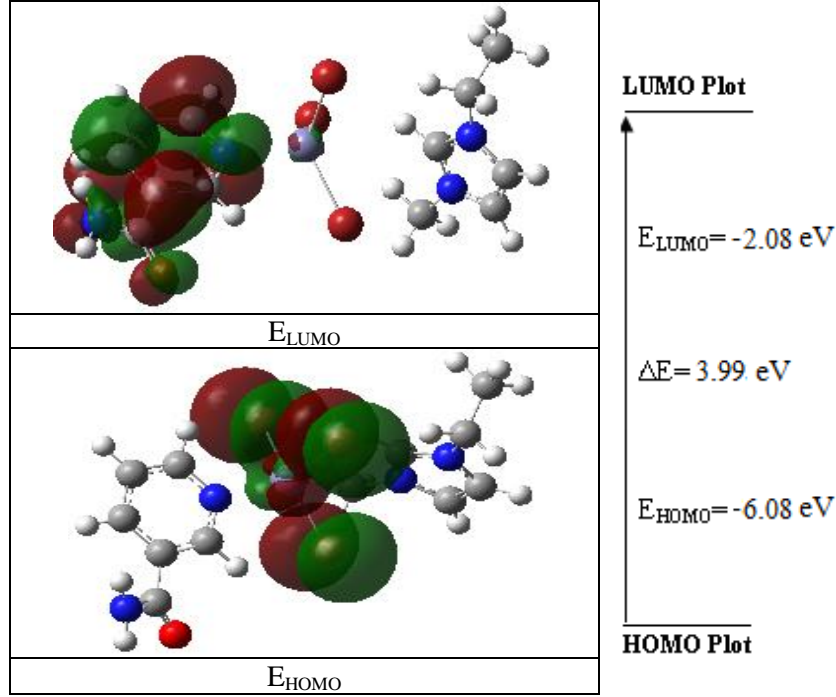
**Tablo 3.** Teorik elektronik yapı parametreleri

	B3LYP	HSEH1PBE
$E_{\text{HOMO}}$ (eV)	-6.08	-5.18
$E_{\text{LUMO}}$ (eV)	-2.08	-2.80
$\Delta E$ (eV)	3.99	2.39
I (eV)	6.08	5.18
A (eV)	2.08	2.80
$\chi$ (eV)	4.08	3.99
$\eta$ (eV)	1.99	1.19
S ( $\text{eV}^{-1}$ )	0.08	0.10
$E_{\text{TOTAL}}$ (a.u)	-10263.96	-10261.46



HOMO ve LUMO dağılımlarının gösterimi şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’i incelediğimizde en düşük boş moleküler orbital olan LUMO enerjisi

en fazla brom atomları üzerinde, en yüksek dolu moleküler orbital olan HOMO enerjisi ise piridin halkası üzerindeki bağlardadır.



Şekil 5. Üç boyutlu HOMO ve LUMO’ların gösterimi

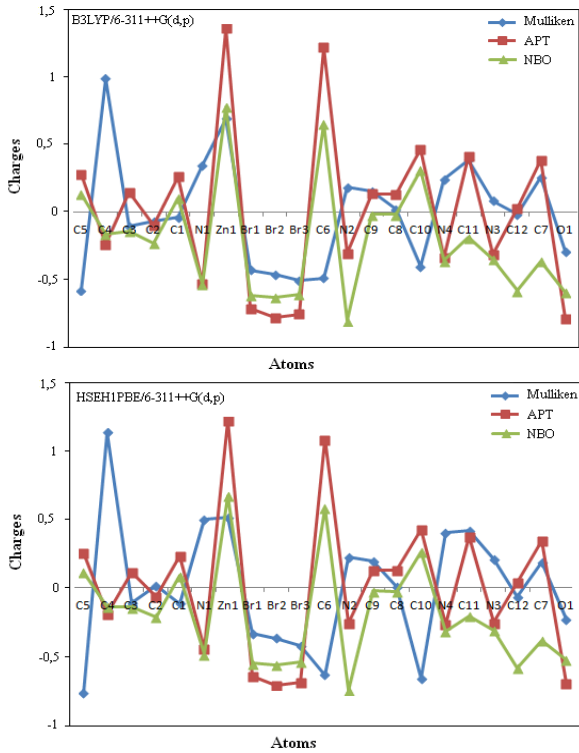
### 2.5. Mulliken, APT ve NBO Yük Analizleri

1a molekülünün moleküller arası etkileşimleri daha iyi anlayabilmek için moleküllerin atomik yükleri hesaplanıp Mulliken yoğunluk analizi, atomik polar tensör (APT) ve natural bağ orbital

(NBO) popülasyon analizi HSEH1PBE ve B3LYP metodları ile hesaplanarak Tablo 4’de listelenmiştir. 1a molekülü için Mulliken, atomik polar tensör (APT) ve natural bağ orbital (NBO) yük analizleri daha iyi anlaşılсын diye Şekil 6’da çizilmiştir.

**Tablo 4.** Teorik olarak hesaplanan Mulliken, APT ve NBO yük analizleri

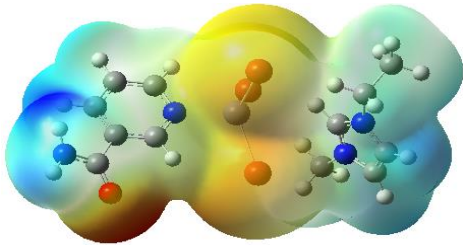
Atom	Mulliken		APT		NBO	
	B3LYP	HSEH1PBE	B3LYP	HSEH1PBE	B3LYP	HSEH1PBE
C5	-0.57797	-0.80915	0.28346	0.26472	0.13598	0.11374
C4	0.99026	1.18477	-0.23649	-0.20979	-0.16294	-0.15482
C3	-0.1027	-0.12299	0.14733	0.11068	-0.13651	-0.15556
C2	-0.06705	0.01333	-0.099	-0.07475	-0.22873	-0.2309
C1	-0.03825	-0.12513	0.26382	0.23611	0.10784	0.08615
N1	0.34711	0.51805	-0.52947	-0.47335	-0.53518	-0.51441
Zn1	0.69341	0.53706	1.36295	1.27267	0.77973	0.69563
Br1	-0.42773	-0.35492	-0.71534	-0.68478	-0.61706	-0.58463
Br2	-0.46107	-0.39138	-0.77914	-0.75159	-0.62909	-0.59417
Br3	-0.50452	-0.44921	-0.75379	-0.72995	-0.60805	-0.57271
C6	-0.48665	-0.67162	1.22258	1.132	0.65524	0.60429
N2	0.18464	0.23261	-0.30427	-0.27305	-0.80455	-0.78939
C9	0.15678	0.19572	0.1368	0.12606	-0.01593	-0.03074
C8	0.02124	0.00118	0.136	0.12655	-0.01702	-0.03226
C10	-0.4014	-0.69821	0.46768	0.44237	0.31382	0.27339
N4	0.24561	0.41981	-0.33453	-0.28546	-0.35742	-0.33607
C11	0.38946	0.43313	0.41726	0.38752	-0.1882	-0.22446
N3	0.08596	0.21552	-0.31308	-0.27244	-0.34842	-0.32816
C12	-0.0174	-0.07733	0.03132	0.03354	-0.58163	-0.61746
C7	0.25941	0.19265	0.38577	0.35699	-0.36274	-0.40761
O1	-0.28913	-0.24391	-0.78986	-0.73406	-0.59197	-0.55853



Şekil 6. Hesaplanan yük analizi

## 2.6. Moleküler Elektrostatik Potansiyel Yüzeyi

Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), moleküler davranışların reaktivliği, yapı aktifliği ve hidrojen bağlarını açıklamakta kullanılan faydalı bir metoddur. Kırmızı bölgeler (-) yüklü elektrostatik potansiyel bölgelerdir ve moleküllerin elektron yoğunluğu derişikliği tarafından protonun çekimini (tek çiftlenim,  $\pi$  bağları ...) temsil eder. Mavi bölgeler (+) yüklü elektrostatik potansiyel bölgelerdir ve düşük elektron yoğunluğunun ve nükleer yükün tam olarak korunmamış olduğu bölgelerde atom çekirdekleri tarafından protonun itmesine karşılık gelir. Hesaplanan kısmi yükler ise sarı alanlar (-), kırmızı alanlar ise (+) olmak üzere protonlar ve (+) yüklere yaklaşımla molekülün nasıl bir etkileşim içinde olabileceğini gösterir.



Şekil 7. Üç boyutlu moleküler elektronik potansiyel enerji yüzeyleri

1a molekülünün B3LYP/6-311G++(d,p) metodu ile optimize olan yapılarının 3 boyutlu moleküler elektrostatik potansiyel yüzey haritaları Şekil 7'de

gösterilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu bölgenin oksijen O1 atomu civarında olduğu görülmektedir. Pozitif bölgeler ise, hidrojen atomları üzerinde mavi renk yoğunluğunun çoğunluklu olduğu bölgedir. N-H bölgesi de elektron yoğunluğunun en düşük olduğu bölgeleri göstermektedir.

## 3. Sonuç ve Yorumlar

Günümüzde kullanılan teorik hesaplama yöntemleri ile moleküllerin birçok özellikleri deneysel analizler yapılmasına gerek kalmadan incelenebilmektedir. Hatta bazı çalışmalarda deneysel yöntemden daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Bir tek deneyle moleküler yapı, oluşum ısı, dipol moment, iyonlaşma potansiyeli, elektron yükleri, elektron yoğunlukları, bağ uzunlukları gibi birçok bilgiyi verebilecek bir yöntem yoktur. Bu tür verilerin deneysel yöntem ile hesaplanmasında sonuçların güvenilirliği göz önünde bulundurulursa, yaygınlaşmakta olan birçok hesaplama yöntemi sonuçlarının, deneysel sonuçlara göre ne kadar güvenilir olduğu görülebilir.

Bu sebeple, 1a molekülünün teorik olarak kutuplanma etkisini (atomlar birbirine yaklaştırıldığında diğer çekirdeklerin etkisiyle elektronik yoğunluk bozulur) azaltmak gerekir. Bu sebeple eklenen polarize fonksiyonları ve uyarılmış, iyonik moleküllerde elektron yoğunluğunun molekülün temel durumuna göre daha dağınık olma durumunu modellemek için eklenen difüze fonksiyonları içeren 6-311++G(d,p) seviyesi ile incelenmiştir. Elde edilen minimum enerjili yapılar literatürde bulunan X-ışını yöntemi ile incelenen deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır ve moleküllerin geometrik parametreleri deneysel değerlerle uyumlu olduğu bulunmuştur.

İlk olarak moleküllerin minimum enerjili yani kararlı yapısının bulunabilmesi amacıyla, geometri optimizasyonu yapılmıştır. İncelenen moleküllerin yapısı daha önceden X-ışını kırınım yöntemi ile belirlenmiş olduğundan, buradan elde edilen deneysel değerler, hesapladığımız geometrik parametrelerle karşılaştırılmıştır. Moleküllerin optimize yapısı kullanılarak harmonik olmayan titreşim frekansları hesaplanmıştır. Hesaplanan titreşim frekanslarının hangi titreşim türüne ait olduğunu belirleyebilmek için yani titreşimsel işaretlemelerin yapılması amacıyla benzer moleküller ve GaussView grafik ara yüzünde bulunan titreşim animasyonlarından yararlanılmıştır. Optimize edilen konfigürasyon-

ların titreşim frekansları deneysel değerler ile uyumlu hale getirilebilmek için ölçekleme faktörleriyle çarpılıp düzeltilmiştir ve kırmızı-altı ile Raman spektrumları çizilmiştir. Deneysel değerler ile karşılaştırılarak iyi bir uyum içinde olduğu saptanmıştır. İncelenen 1a molekülünün öncü moleküler orbital enerjileri ve toplam enerjileri hesaplanmıştır. HOMO-LUMO enerji farklarına ve bu enerjilerden moleküler parametreler ( $\eta$ ; moleküler sertlik ve  $\chi$ ; elektronegatiflik) belirlenmiştir. Mulliken, APT ve NBO atomik yük değerlerinde ve NBO hibritleşme yüzdesi değişimleri incelendiğinde çok küçük değişimler olduğu görülmüştür. Öngörülen moleküllerin yapılarının optimize olmuş halinde izole moleküllere göre oluşan yük farklılıkları çalışmamızda moleküller arası etkileşimlerin delillerinden biri olarak ele alınmıştır. Ayrıca moleküler elektrostatik potansiyel enerji yüzey haritası (MEPS) belirlenmiştir.

Bu çalışmaların devamı olarak; daha büyük ve kompleks moleküler grupları içeren bileşiklerin daha kapsamlı bilgisayar sistemlerinde, yapılar üzerinde çalışmaların sürdürüleceği NBO ve konformasyon analizleri yapılabilir. Bilgisayarda hesaplanan simülasyonlar molekülün karakterizasyonunu belirlemede yardımcı olur.

## Kaynaklar

- Akalin E. ve Akyuz S., 2006. Vibrational analysis of free and hydrogen bonded complexes of nicotinamide and picolinamide. *Vibrational Spectroscopy*, 42, 333-340.
- Bakiler, M., Bolukbasi, O., ve Yılmaz, A., 2007. An experimental and theoretical study of vibrational spectra of picolinamide, nicotinamide, and isonicotinamide. *Journal of Molecular Structure*, 826, 6-16.
- Becke, A. D., 1993. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *Journal of Chemical Physics*, 98, 5648.
- Bolukbasi, O., ve Akyuz, S., 2005. Computational vibrational study on coordinated nicotinamide, *Journal of Molecular Structure*, 744, 961-971.
- Chunyan, L., Cui, F., Zhang, H. ve Xuan, X., 2015. Ionothermal synthesis, properties and vibrational spectra of zinc (II) complex with nicotinamide. *Spectrochimica Acta A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134, 367-371.
- Frisch M. J., Pople J.A., Binkley J.S. 1984. Self-consistent molecular orbital methods 25. Supplementary functions for Gaussian basis sets. *Journal of Chemical Physics*, 80, 3265.
- Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J.A, Jr., Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Staroverov, V.N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J. C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J. M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J. B., Bakken, V., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A. J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg, J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, O., Foresman, J. B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J. ve Fox D.J., 2009. Gaussian 09, Revision A.1, Gaussian, Inc., Wallingford CT.
- Heyd J. and Scuseria G.E. 2004b. Assessment and validation of a screened Coulomb hybrid density functional. *Journal of Chemical Physics*, 120, 7274.
- Heyd J., Peralta J. E., Scuseria G. E., and Martin R. L. 2005. Energy band gaps and lattice parameters evaluated with the Heyd-Scuseria-Ernzerhof screened hybrid functional. *Journal of Chemical Physics*, 123, 174101.
- Heyd J., Scuseria G. E., and Ernzerhof M. 2006. Hybrid functionals based on a screened Coulomb potential. *Journal of Chemical Physics*, 124, 219906.
- Heyd, J. ve Scuseria G., 2004a. Efficient hybrid density functional calculations in solids: Assessment of the Heyd-Scuseria-Ernzerhof screened Coulomb hybrid functional. *Journal of Chemical Physics*, 121, 1187.
- Ide, S., Ataç, A. ve Yurdakul, ř., 2002. Spectroscopic and structural studies on dichlorobis (nicotinamide) zinc (II). *Journal of Molecular Structure*, 605, 103-107.
- Lee, C., Yang, W. ve Parr R.G., 1988. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physics Review B*, 37, 785.
- Magel, E., Hillinger, A.C., Wagner, T. ve Holl, W., 2001. Oxidative pentose phosphate pathway and pyridine nucleotides in relation to heartwood formation in *Robinia pseudoacacia* L. *Phytochemistry* 57, 1061-1068.

- Pasaoglu, H., Güven, S., Heren, Z. ve Büyükgüngör, O., 2006. Synthesis, spectroscopic and structural investigation of ZnI<sub>2</sub> (nicotinamide) 2, ZnI<sub>2</sub> (isonicotinamide) 2 and [Zn (H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> (picolinamide) 2] I 2. Journal of Molecular Structure, 794, 270-276.
- Pir Gümüş, H., Atalay, Y., 2017. 3-hidroksi-4-hidroksimiinometil-5-hidroksimetil-1,2-dimetilpiridinyum iyodid molekülünün geometrik yapısının incelenmesi, sakarya university journal of science, 21 (3), 564-571.
- Raj, S.S., Fun, H.K., Zhao, P.S., Jian, F.F., Lu, L.D., Yang, X.J. ve Wang, X., 2000. Bis (2-aminopyridine-N) bis (benzoato-O) zinc. Acta Crystallographica C, 56, 742-743.
- Shibata, K., 1994. Reparative Effect of Nicotinamide and Nicotinic Acid on the Aggravation of Tryptophan-nicotinamide Metabolism Caused by 6-Aminonicotinamide. Bioscience, Biotechnology Biochemistry, 58, 1729-1730.
- Sismanoglu, T., 2003. Thermodynamics of stability constant of binary complex of nicotinamide with Mn. Chinese Chemical Letters, 14, 1207-1210.

## Kireçtaşı Kökenli Kırma Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi

### *The Effects of the Ratio of Fine Materials in Limestone Crushed Sand on Consistency and Strength of Concrete*

Fatih DEŞİK<sup>\*1,a</sup>, İlker USTABAŞ<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>DSİ Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü, 08000, Artvin

<sup>2</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 53000, Rize

• Geliş tarihi / Received: 02.06.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2018

#### Öz

Bu çalışmada, kireçtaşı kökenli agrega içerisinde bulunan ince madde oranının beton kıvamına ve dayanımına olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında iki farklı grupta on beş tane beton tasarımı yapılmıştır. Birinci grupta 0.58-0.53-0.56 su/çimento oranına sahip, her farklı su/çimento oranından üçer tane olmak üzere dokuz adet beton üretilmiştir. İkinci gruptaki betonların ise çökmeleri eşit olacak şekilde su/çimento oranları ayarlanmıştır. Üretilen betonlarda kullanılan ince agreganın ASTM C 117'ye göre 0.075 mm elekten geçen kısmı %5, %10 ve %15 olmuştur. Bu çalışmada kullanılan agrega granülometrisine göre kil türü ince malzeme içermeyen kireçtaşı kökenli ince maddenin beton boşluklarında ince malzeme vazifesi görerek betonun çökme miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Çökmeler ve basınç dayanımları açısından değerlendirildiğinde betonda kullanılacak kireçtaşı kökenli ince agregada ince madde oranının %15 seviyesine kadar çıkarılabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Beton, Çökme, İnce Madde, İşlenebilirlik, Kireçtaşı

#### Abstract

*In this study, the effect of fine materials ratio in limestone aggregate to consistency and strength of concrete has been investigated. Within the scope of study, fifteen concrete designs were produced in three different groups. In the first group, 9 concrete mixtures which have 0.58-0.53-0.56 quantity of water/cement 3 for each were produced. In the second group, water/cement quantity of concrete mixtures were arranged to have the same slumps. The fine aggregate used in the concrete produced was 5%, 10% and 15% of the area passing through the 0.075 mm sieve according to ASTM C 117. In this study according to aggregate granulometry, mineral filler which does not contain small material like clay raises quantity of concrete slump as small materials in concrete space. It is determined that in fine aggregate which is from limestone will used concrete, quantity of mineral filler can reach 15%.*

**Keywords:** Concrete, Slump, Mineral Filler, Workability, Limestone

\*a Fatih DEŞİK; fatihdesik@gmail.com; Tel: (0466) 212 12 77; orcid.org/0000-0001-5035-1894

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0473-2543

## 1. Giriş

Beton sektörü agrega temini için deniz veya nehir gibi doğal kaynakları kullanmaya devam etmektedir. Özellikle ince agrega doğal kaynaklardan temin edilmektedir ve çimento/beton üretimindeki artışa bağlı olarak doğal kaynaklar ince agrega temininde yetersiz kalmaktadır (Laserna ve Montero, 2016; Rashad, 2016). Ülkemizde özellikle Çoruh havzasından uzun yıllardan beri başta ince agrega olmak üzere agrega temin edilmektedir (Yıldırım ve Tekin, 2014). Çoruh havzasında art arda inşa edilen barajlar nedeniyle doğal agrega kaynakları rezervuar altında kalmıştır. Bu nedenle, son yıllarda beton imalatlarında gerekli agregalar taş ocaklarından elde edilen kırma taşlarla sağlanmaktadır. Kırma taşıta ince madde oranı beton özelliklerini etkileyen bir unsur olup betondaki içeriğinin belli oranlarda olması gerekmektedir (Ramyar vd., 1995; Ulusöz vd., 2004; Boğa vd., 2014). ASTM C 117 standardı ince agregada 0.075 mm elekten geçen malzeme miktarının en fazla %7, iri agrega için ise en fazla %1 olabileceğini belirtmektedir. TS 706 EN 12620 standardı 0.063 mm elekten geçen malzemeyi çok ince malzeme muhtevası olarak adlandırmış ve çok ince malzeme muhtevasını %4 olarak sınırlandırmıştır. Betonda ince agrega ile iri agrega karıştırılarak kullanıldığından ASTM C 117'ye göre taş unu miktarı ile TS 706 EN 12620 standardıyla belirtilen ince malzeme muhtevası birbirine çok yakın değerlerdedir.

Bu araştırmanın yapıldığı Artvin bölgesindeki beton santrallerinin ürettikleri betonlarda doğal kaynaktan üretilen ince agrega kullanılmakta, alternatif olarak ince madde oranı yüksek kırma kum kullanılmaktadır. Bu şekilde sadece kırma kum ile ürettikleri betonlarda, ince agrega miktarı düşük, bazen çok az bazen de çok fazla çökmenin olduğu (kayma çökmesi), pompalanması ve kalıba yerleştirilmesi zor olan ancak dayanımı uygun betonlarla sıkça karşılaşmaktadır. İstenilen inceliğe sahip kırma kum elde

edilmesinde teknik açıdan güçlükler yaşanmakta ve söz konusu ince agrega ekonomik olmamaktadır. Beton santrallerinin kırma kum üretiminden kaynaklanan ince madde yüzdesini istenilen düzeyde ayarlayabilecek yıkama ve eleme sistemleri yeterli düzeyde değildir. Bundan dolayı, bölgedeki beton santralleri kırma taştan elde edilen kumu yıkanmış kum ve yıkanmamış kum olmak üzere betonda belirli yüzdelerde karıştırarak beton üretmektedirler.

Betonda çok ince malzeme muhtevasının artması işlenebilirlik ve kıvam kaybı sorunlarına neden olabilmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton gibi kıvamı yüksek betonlarda kireçtaşı filleri beton kıvamının artırılması ve segregasyonun önlenmesinde önerilen maddeler arasında yer almaktadır (Benjeddou vd., 2017).

Bu çalışmada agreganın kökenine ve su emme değerine göre ince madde oranı yüksek agregalarla beton üretilebilirliği araştırılmıştır. Kireçtaşı kökenli ince agregadaki ince madde oranı ASTM standartlarında belirtilen %7 oranının iki katı olacak şekilde kullanılarak betonun kıvamını ve basınç dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışma kapsamında yıkanmış ve yıkanmamış kumlardan oluşan karışımlarda 200 nolu (0.075 mm) elekten geçen malzeme miktarı %5, %10 ve %15 olan betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların bir kısmında su miktarları sabit tutularak çökme miktarlarındaki değişim, bazılarında da çökme miktarları sabit tutularak su/çimento oranlarındaki değişim incelenmiş ve betonların basınç dayanımları kıyaslanmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan CEM II A-M (P-LL) 42.5 R tipi çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1'de ve çimentonun ana oksit element içeriği de Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Priz başlangıç süresi (dk)	Priz bitiş süresi (dk)	Hacim genleşme (mm)	Su ihtiyacı (%)	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	90/45 Mikron elekte kalıntı (%)	2 / 28 Günlük basınç dayanımı (MPa)
3.01	169	230	1.0	32.8	3934	0.0 / 3.0	29.2 / 53.7



**Tablo 2.** Çimento ve kırma kumdaki ince maddenin ana oksit element içeriği

Bileşik	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	SO <sub>3</sub> (%)
Çimento	56.00	23.03	6.88	1.44	1.25	4.46	0.00	0.60	2.83
İnce Madde	69.53	13.78	13.80	0.30	0.51	1.24	0.24	0.00	0.00

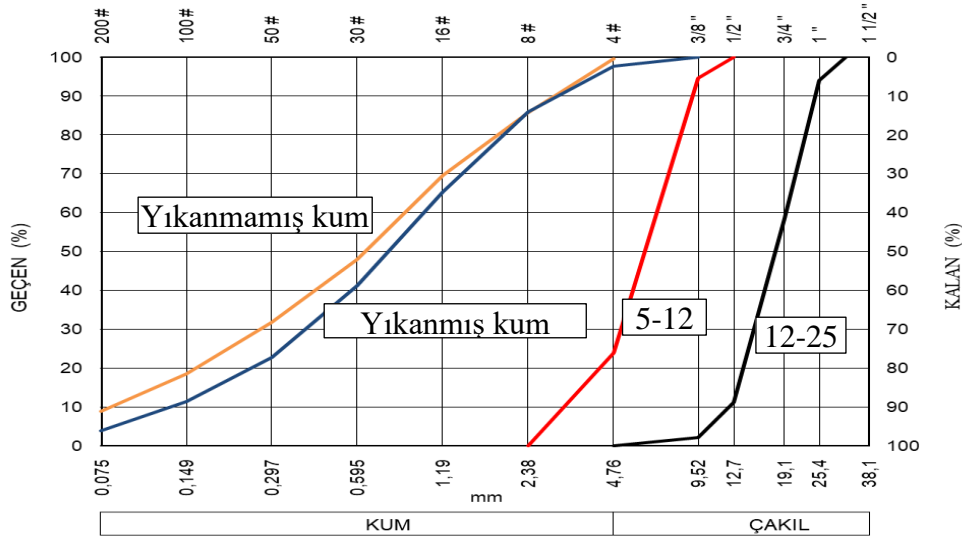
Bu çalışmada üretilen betonlarda kullanılan iri agregalar Deriner Barajı ve HES İnşaatında kullanılan agregalar olup, Artvin ili Merkez ilçesinde bulunan bir beton santralinden temin edilmiştir ve granit kökenlidir. İnce agregalar Ferhatlı Tüneli İnşaatında kullanılan Artvin ili Ardanuç ilçesindeki kırma-eleme tesisinden alınmış kireçtaşı kökenli agregadır. İnce agreganın ana oksit element içeriği Tablo 2’de sunulmuştur. İnce agregaya metilen mavisi deneyi yapılmış, kil türü ince malzeme içermediği ve taş unu olduğu gözlemlenmiştir-tir. İri ve ince agregalara ait fiziksel

özellikler Tablo 3’te verilmiştir. İri ve ince agregalara ASTM C 131 standardına göre tane büyüklüğü dağılımı yapılmış olup, agregaların granülometri eğrileri Şekil 1’de verilmiştir.

Beton santrallerinde genellikle süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanıldığından beton karışımlarına dahil edilmiştir. Betonda Sikament FFN-100 süper akışkanlaştırıcı katkı çimento kütlesinin %1.5 oranında kullanılmış ve teknik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Agregalara ait fiziksel özellikler

Agrega sınıfları (mm)	Bağıl yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Su emme (%)	İnce madde oranı (%)	İncelik modülü	Metilen mavisi
İri Agregası (12-25)	2.76	0.3	0.1	-	-
İri Agregası (5-12)	2.76	0.4	0.8	-	-
Yıkanmış Kum (0-5)	2.63	1.5	4.5	2.8	-
Yıkanmamış Kum (0-5)	2.60	2.1	17.1	2.5	0.8

**Şekil 1.** Agregalara ait granülometri eğrileri**Tablo 4.** Kimyasal katkıya ait teknik özellikler

Kimyasal yapı	Yoğunluk (kg/l)	PH değeri	Toplam klorür iyon içeriği (%)	Dozaj kullanım limitleri (%)
Naftalin sülfonat polimer esaslı sıvı	1.205	8	0.03	0.8-2.0

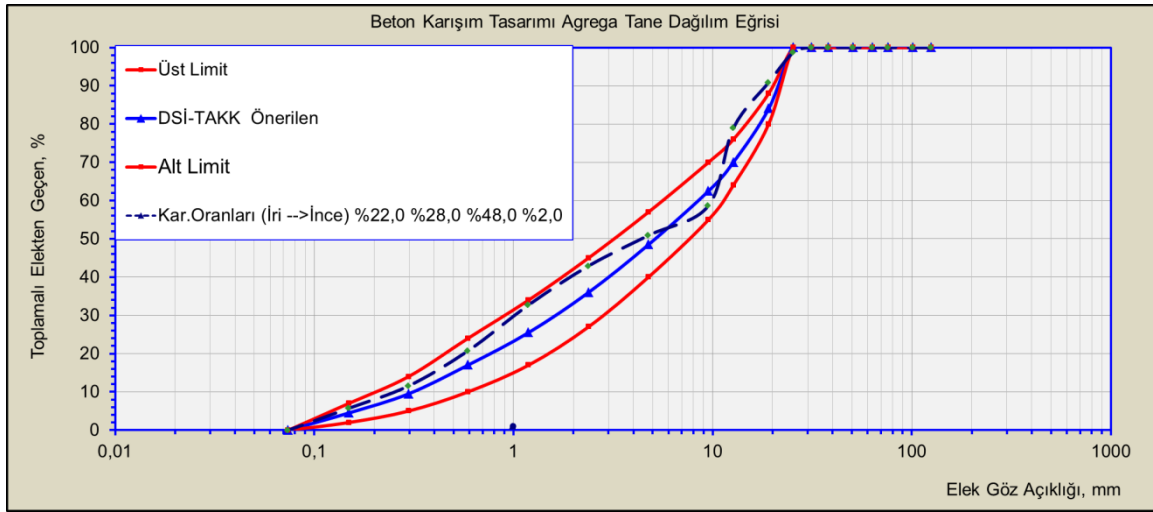
## 2.2. Beton Tasarımları ve Yapılan Deneyler

Beton tasarımlarında 12-25 mm iri agregadan kütlece %22 ve 5-12 mm iri agregadan ise %28 oranında kullanılmıştır. Yıkanmış ve yıkanmamış kumun toplamı kütlece %50 olarak kullanılmış olup, yıkanmış kum ve yıkanmamış kumların kütlece yüzdeleri ince madde oranına göre değişiklik göstermiştir. İnce agregadaki ince madde oranı Tablo 3'te görüldüğü gibi yıkanmış kumda %4.5 ve yıkanmamış kumda %17.1'dir. Dolayısıyla ince agrega içerisinde bulunan ince madde oranını %5, %10, %15 olarak elde etmek için yıkanmış kum ve yıkanmamış kumdaki 0.075 mm elekten geçen miktarları ve beton

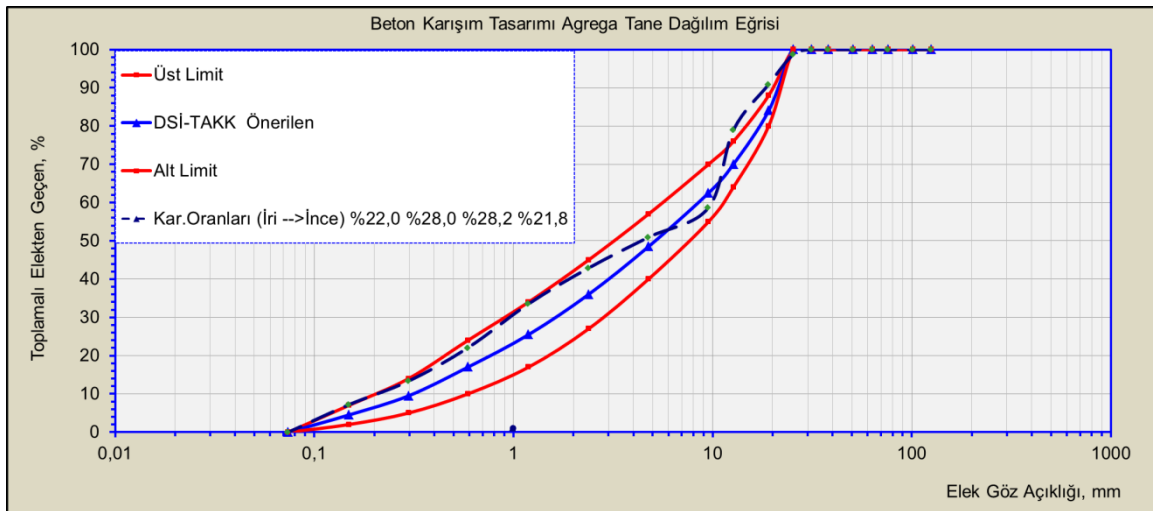
tasarımlarındaki toplam karışım kum miktarı %50'ye göre oransal olarak hesaplanmıştır.

Böylece betondaki ince agregada ince madde oranı %5 olması için %48 oranında yıkanmış kum ile %2 oranında yıkanmamış kum, ince madde oranı %10 olması için %28.2 oranında yıkanmış kum ile %21.8 oranında yıkanmamış kum, ince madde oranı %15 olması için %8.3 oranında yıkanmış kum ile %41.7 oranında yıkanmamış kum karıştırılmıştır.

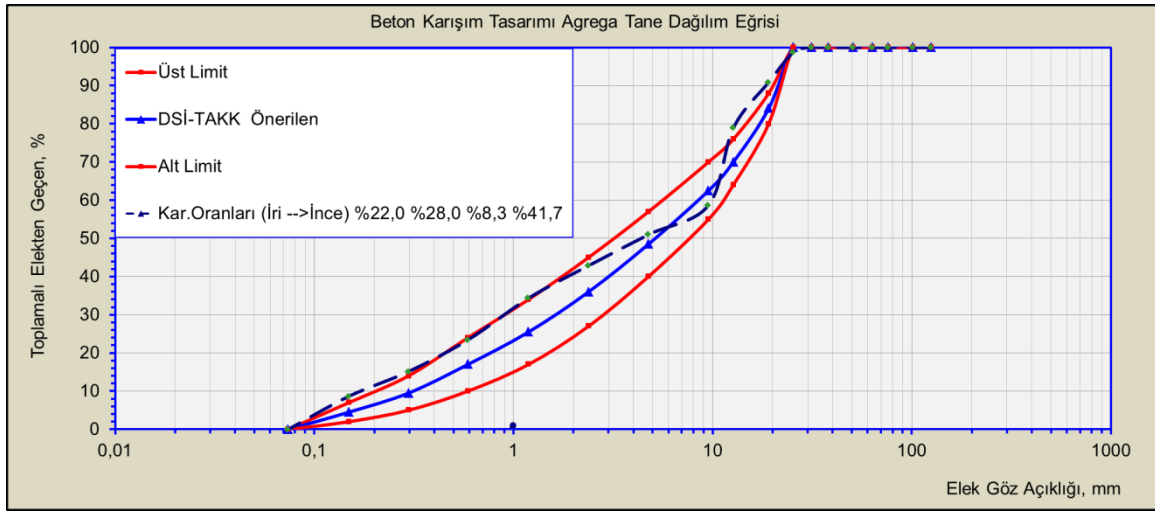
Bu betonlarda kullanılan maksimum agrega çapı 25.4 mm olan granülometri eğrisi Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 2. İnce madde oranı %5 olan karışımlar (Karışım No:A1-A4-A7-A9-A11-A14)



Şekil 3. İnce madde oranı %10 olan karışımlar (Karışım No:A2-A5-A12)



Şekil 4. İnce madde oranı %15 olan karışımlar (Karışım No:A3-A6-A8-A10-A13-A15)

Betonların tasarımında 1 m<sup>3</sup> hacimdeki doygun kuru yüzeyde kullanılan malzemelerin kütleleri Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 5 ve Tablo 6'da belirtilen ince madde oranları yıkanmış ve yıkanmamış kumdan oluşan karışım kumunun 0.075 mm elekten geçen ince maddeyi temsil etmekte olup, ayrıca karışıma ince madde eklenmemiştir. Tablo 5'de görüldüğü üzere 1.grup 1. takımında 200 nolu elekten geçen malzeme miktarı %5, %10 ve %15 olan karışımların taze betonda su miktarları sabit tutularak, çökme miktarındaki değişimler karşılaştırılmış ve

doğruluğunu kanıtlamak için farklı çimento dozajında su miktarı sabit tutularak, 2. takım ve 3. takım için tekrar çökme miktarındaki değişimler kıyaslanmıştır. Tablo 6'daki 2.grup 1. takımında ise 200 nolu elekten geçen malzeme miktarı %5, %10 ve %15 olan karışımların çökme miktarı sabit tutularak su/çimento oranları kıyas edilmiştir. Yine bu grupta da doğruluğunu kanıtlamak için farklı çimento dozajında çökme miktarı sabit tutularak, 2. takım ve 3. takım için tekrar su/çimento miktarındaki değişimler incelenmiştir.

Tablo 5. 1. grup betonlarda kullanılan malzeme miktarları

Karışım no	Takım no	İnce madde oranı (%)	Çimento dozağı (kg)	Su (kg)	S/Ç	K. katkı (kg)	İri agrega 12-25 mm (kg)	İri agrega 5-12 mm (kg)	Yıkanmış kum 0-5 mm (kg)	Yıkanmamış kum 0-5 mm (kg)
A1	1	5	300	175	0.58	4.5	415.0	528.2	905.6	37.7
A2		10	300	175	0.58	4.5	414.1	527.0	530.8	410.3
A3		15	300	175	0.58	4.5	413.1	525.8	155.9	783.0
A4	2	5	325	173	0.53	4.9	411.1	523.2	896.9	37.3
A5		10	325	173	0.53	4.9	410.1	522.0	525.7	406.4
A6		15	325	173	0.53	4,9	409.2	520.8	154.4	775.5
A11	3	5	325	183	0.56	4.9	405.2	515.6	884.0	36.8
A12		10	325	183	0.56	4.9	404.2	514.4	518.1	400.5
A13		15	325	183	0.56	4.9	403.2	513.2	152.1	764.3

Çalışma kapsamında her beton karışımından 80 dm<sup>3</sup> beton üretilmiş olup, beton basınç dayanımı testi için 12 adet (15x15x15) cm ebatlarında numuneler alınmıştır. Söz konusu beton karışımlardan taze betonda slump,

yoğunluk ve hava miktarı tayini deneyi yapılmıştır. Taze betonda hava miktarının tayini ise TS EN 12350-7 standardı içerisinde yer alan basınç ölçme metoduna göre yapılmıştır.

**Tablo 6.** 2. grup betonlarda kullanılan malzeme miktarları

Karışım no	Takım no	İnce madde oranı (%)	Çimento dozajı (kg)	Su (kg)	S/Ç	K. katkı (kg)	İri agrega 12-25 mm (kg)	İri agrega 5-12 mm (kg)	Yıkanmış kum 0-5 mm (kg)	Yıkanmamış kum 0-5 mm (kg)
A7	1	5	300	181	0.60	4.5	411.5	523.7	897.8	37.4
A2		10	300	175	0.58	4.5	414.1	527.0	530.8	410.3
A8		15	300	169	0.56	4.5	416.7	530.3	157.2	789.7
A9	2	5	325	183	0.56	4.9	405.2	515.6	884.0	36.8
A5		10	325	173	0.53	4.9	410.1	522.0	525.7	406.4
A10		15	325	167	0.51	4.9	412.7	525.2	155.7	782.2
A14	3	5	325	193	0.59	4.9	399.2	508.1	871.0	36.3
A12		10	325	183	0.56	4.9	404.2	514.4	518.1	400.5
A15		15	325	174	0.54	4.9	408.6	520.0	154.1	774.4

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 7'deki betonların çimento dozajları farklı olan üç takımda da ince madde oranı (0.075 mm elekten geçen ince malzeme) arttıkça çökme miktarlarının arttığı, betonlardaki hava miktarının azaldığı görülmektedir. Şekil 5a (karışım no: A1)'da yapılan çökme deneyinde kayma çökmesinin olduğu görülmektedir. Bu tür çökme, iri agrega ve ince agrega karışım oranı iyi ayarlanmamış ve iri agrega miktarı fazla olan betonlarda görülmektedir. Şekil 5b (karışım no: A2)'de ise beton çökmesinin Şekil 5a'daki görsele göre daha homojen olarak çöktüğü görülmektedir. Şekil 5c (karışım no: A3) görselinde ise beton çökmesinin üst kısmında eşit miktarda homojen (hakiki çökme) şekilde olduğu görülmektedir.

Kullanılan agregadaki ince madde oranı arttıkça betonlardaki kayma çökmesi hakiki çökmeye dönmüştür.

Şekil 6a (karışım no: A4)'daki görselde hakiki çökme meydana gelmiştir. Bu betonda çimento miktarının artması ve su miktarının azalması hakiki çökmenin oluşmasına neden olmuştur. Aynı görselde taze betonun üst kısmı kayma çökmesi yapacak şekilde eğilmiş ancak Şekil 5a'daki betona göre su miktarının azlığı ve çimento miktarının fazlalığından dolayı betonun üst kısmında devrilme olmamıştır. Şekil 6b (karışım no: A5) ve Şekil 6c (karışım no: A6) betonları da Şekil 5b ve Şekil 5c'de verilen takım betonlarıyla aynı davranışı sergilemiştir.

**Tablo 7.** 1. grup betonlarda taze beton deney sonuçları

Karışım no	Takım no	İnce madde oranı (%)	S/Ç	Hava sıcaklığı (°C)	Beton sıcaklığı (°C)	Çökme /sınıfı (cm)	Çökme 30.dk /sınıfı (cm)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hava (%)
A1	1	5	0.58	21	18	12/S3	3/S1	2390	1.7
A2		10	0.58	16	19	15/S3	6/S2	2400	1.5
A3		15	0.58	22	18	18/S4	9/S2	2410	1.3
A4	2	5	0.53	21	20	8/S2	0/S1	2400	2.0
A5		10	0.53	21	19	15/S3	6/S2	2410	1.5
A6		15	0.53	21	19	17/S4	8/S2	2420	1.4
A11	3	5	0.56	35	31	14/S3	5/S2	2390	1.5
A12		10	0.56	33	30	17/S4	8/S2	2410	1.4
A13		15	0.56	35	30	19/S4	9/S2	2420	1.3

**Şekil 5.** 1. grup-1.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri



Şekil 6. 1. grup-2.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri

Şekil 7'deki görseller incelendiğinde Şekil 5 ve Şekil 6'daki benzer durumlara rastlanılmıştır. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi betonlardaki ince madde oranının artması çökme miktarını arttırmıştır. Betonda ince madde oranı arttıkça betonun çökme miktarının düşmesi beklenmektedir. Ancak Şekil 5a, Şekil 6a ve Şekil 7a (karışım no: A11)'daki görsellerde verilen betonlarda kayma çökmesi meydana gelmiştir. Şekil 5c, Şekil 6c ve Şekil 7c (karışım no: A13)'deki betonlarda homojen şekilde hakiki çökme gerçekleştiği görülmektedir. İnce madde

oranının artması beton agregasındaki boşlukları doldurmasından dolayı kayma çökmesi yerine hakiki çökme oluşmasına neden olmuştur. Yıkanmış kum ve yıkanmamış kumun su emme değerleri arasında çok fark olmadığından dolayı ince madde oranı arttıkça resimlerde olduğu gibi çökme miktarı artmıştır.

Tablo 8'de görüldüğü üzere ince madde oranı arttıkça üç farklı takım da aynı çökmede betonun su/çimento oranı 0.60'dan 0.56'ya, 0.56'dan 0.51'e ve 0.59'dan 0.54'e düşmüştür.



Şekil 7. 1. grup-3.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri

Tablo 8. 2. grup betonlarda taze beton deney sonuçları

Karışım no	Takım no	İnce madde oranı (%)	S/Ç	Hava sıcaklığı (°C)	Beton sıcaklığı (°C)	Çökme/sınıfı (cm)	Çökme 30.dk /sınıfı (cm)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hava (%)
A7	1	5	0.60	19	19	15/S3	5/S2	2400	1.6
A2		10	0.58	16	19	15/S3	6/S2	2410	1.5
A8		15	0.56	20	19	15/S3	5/S2	2430	1.4
A9	2	5	0.56	15	19	15/S3	5/S2	2410	1.7
A5		10	0.53	21	19	15/S3	6/S2	2420	1.5
A10		15	0.51	15	19	15/S3	5/S2	2430	1.4
A14	3	5	0.59	35	30	17/S4	7/S2	2390	1.6
A12		10	0.56	33	30	17/S4	8/S2	2410	1.4
A15		15	0.54	34	30	17/S4	7/S2	2430	1.2

Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da çökme miktarları eşit ayarlanmış betonlar görülmektedir. Çökme miktarlarını eşit ayarlamak için karışım yapılırken su ekleme çıkarma yapılmamış ve deneme yanılma yoluyla çökme miktarları eşit olarak ayarlanmıştır. İnce madde oranı %5, %10 ve %15 olan karışımların resimlerde görüldüğü üzere çökmeler sabit tutulduğunda, karışım içerisindeki

ince madde oranı attırarak aynı çökmeyi elde etmek için Tablo 8'de görüldüğü gibi daha az su kullanılmıştır. Tablo 8'de belirtilen çökme miktarları TS EN 206-1 standardına göre sınıflandırılmıştır. TS EN 206-1 standardına göre 1. ve 2. takım için başlangıç çökmesi 10-15 cm olan S3 sınıfından 30 dk sonraki çökme değeri 5-9 cm arasında olan S2 sınıfına geçmiştir. Bu durum



3. takımda ise başlangıç çökmesi 16-21 cm olan S4 sınıfından 30 dk sonraki çökme değeri 5-9 cm arasında olan S2 sınıfına geçmiştir. Beton agregasındaki ince madde oranı %5, %10 ve %15 olan karışımlarda 30 dakika sonraki çökme kayıpları birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum yıkanmış kum ve yıkanmamış kumun su emme değerleri arasında çok fark olmayışından kaynaklanmıştır. Eğer su emme değerleri arasındaki fark çok fazla olsaydı ince madde oranı arttıkça çökme kaybı artabilirdi. [Ramyar vd. \(1995\)](#) yapmış olduğu çalışmada taş unu artışıyla beton çökmelerinde azalmanın olduğunu tespit

etmiştir. Ayrıca %15 miktarında taş unu kullanımında çökmelerdeki azalmanın belirgin olmadığını belirtmişlerdir. [Benjendou vd. \(2017\)](#) ürettikleri kendiliğinden yerleşen betonlarda kireçtaşı filleri kullanmaları betonlarının yayılma çaplarını artırdığını ve kireçtaşı fillerinin kendiliğinden yerleşen betonlarda kıvamı artırıcı yönde etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada beton agregasındaki iri malzeme ve ince malzeme karışım oranına göre kireçtaşı fillerinin betonun çökmesini artırabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 8. 2. grup-1.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri



Şekil 9. 2. grup-2.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri



Şekil 10. 2. grup-3.takım betonlarına ait çökme deneyi görselleri

Böylelikle, 1. grupta görüldüğü üzere karışımların su miktarları sabit tutulunca ince madde oranı artarak çökme miktarı artmıştır. 2. grupta da çökme miktarları sabit tutulduğunda, ince madde oranı artması durumunda aynı çökme miktarını elde etmek için daha az su kullanılmaktadır. Özgül yüzey artmasına rağmen, betonun içindeki boşlukları ince madde doldurduğundan betonun işlenebilirliği artmış ve ince madde oranı arttıkça betonun daha az suya ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir. Böylece, 1. grup ve 2. grup beton karışımları birbirleriyle örtüşmektedir.

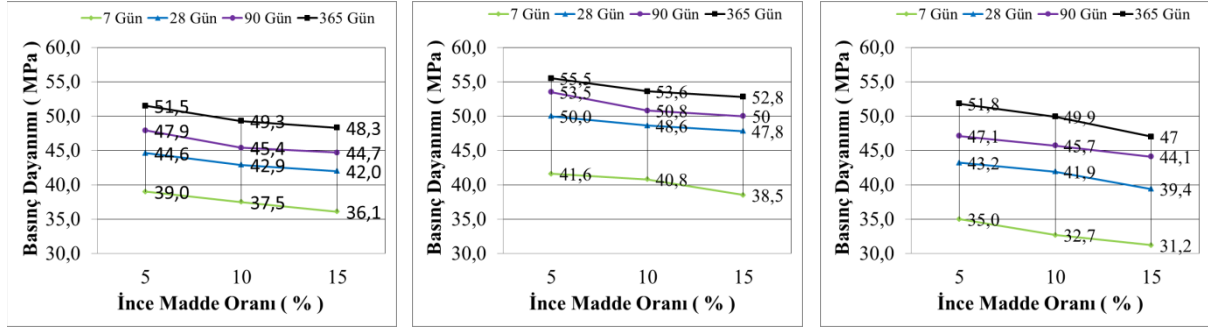
Şekil 11'de su/çimento oranları sabit tutulan 1. grup betonlarda ince madde oranı arttıkça beton

basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Fakat, beton basınç dayanım gelişmelerinde ince malzemenin olumsuz bir etkisinin olduğu gözlemlenmemiştir. [Boğa vd. \(2014\)](#) atık mermer tozu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlara rastlamıştır. Bu çalışmadaki ince maddenin kimyasal yapısı [Boğa vd. \(2014\)](#)'nin çalışmada kullandıkları malzeme ile benzer kimyasal bileşime sahiptir. Mermer tozu kullanılarak üretilen betonlarda dayanım açısından olumsuz bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir. [Özgan \(2005\)](#) tarafından yapılan çalışmada ise su emme oranı %5 olan taş ununun %15 oranında kullanılmasının



beton basınç dayanımını düşürdüğü ifade edilmiştir. Bu çalışmadaki 1.grup betonların basınç dayanımları ince madde oranının artmasıyla azalmıştır. Şekil 11’de verilen basınç dayanımlarındaki azalma miktarlarının fazla olmadığı görülmektedir. Beton çökmesindeki artış ve kırma kumdaki ince malzemenin uzaklaştırıl-

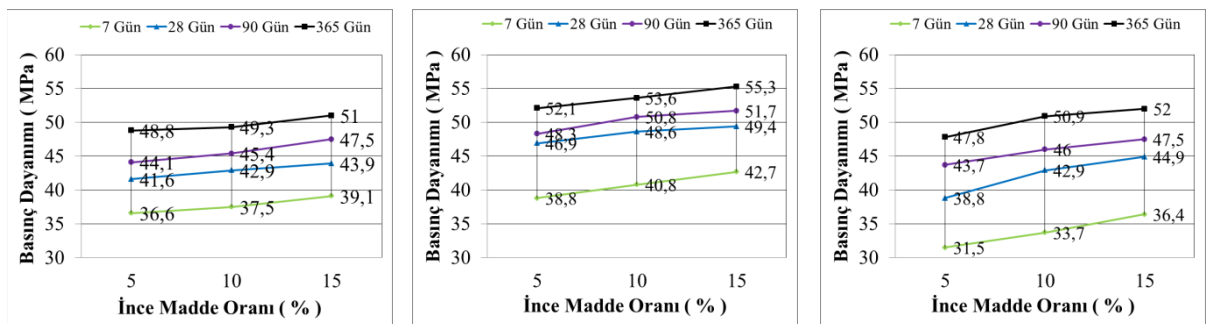
masında karşılaşılabilecek ekonomi düşünüldüğünde ince agregadaki ince madde oranının %5 olabileceği, gerektiğinde bu oranın %15’e çıkarılabileceği bu çalışmada tespit edilmiştir. Bu oran TS 706 EN 12620 standardına göre yüksek, ASTM C 117 standardına göre yaklaşık iki katına denk gelmektedir.



Şekil 11. 1. grup 1. takım, 2. takım ve 3. takım betonlardaki basınç dayanımı değişimleri

Şekil 12 de 2. grup betonlardaki basınç dayanımı değişimleri görülmektedir. 2. grup betonlarda ince madde oranı arttıkça aynı çökmeyi elde etmek için su miktarını azaltmak betonun dayanımının artmasına katkıda bulunmuştur. Aynı zamanda numunelere 90 günlük ve 365 günlük basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Söz konusu ilerleyen yaşlardaki beton mukuvametleri Şekil 11 ve Şekil 12’de görüldüğü üzere, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımından sonra artmaya devam etmiştir. Gülan ve Yıldız (2016) atık mermer tozu ve cam lif katkılı betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine karbonatlaşmanın etkisi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada mermer tozu arttıkça betonların boşluklarını doldurduğu ve basınç dayanımını arttırdığını saptamışlardır. Betonlarda sadece doğal kaynaktan sağlanan ince agregaya kullanılırsa iri ve ince agregaya dengesi sağlanamamaktadır. Özellikle 0.5 mm göz açıklıktan geçen agregaya miktarı az olmaktadır. Kırma taşın inceliğinin daha çok azaltılması durumunda ince madde oranı yüksek ince agregalar elde edilmektedir. Uygulamada bu

sorunun çözülmesi için doğal kaynaklardan sağlanan ince agregaya ile kırma taş ince agregaya karıştırılmaktadır. Doğal kaynaktan sağlanan ince agreganın temininde sorun yaşandığında ince malzeme miktarı az agregalarla beton üretilmektedir ve bu betonlarda dayanım sorunu olmasa bile betonun pompalanmasında ve kalıbına yerleştirilmesinde sorunlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kireçtaşı kökenli ince agregada ince madde oranının artması betonun çökme değerinin yükselmesine neden olmuş ve aynı kıvamda daha düşük su/çimento oranıyla beton üretilmesine imkân sağlamıştır. Su/çimento oranı düşen betonlarda basınç dayanımının artması sağlanmıştır. Çobanoğlu vd. (2014) Denizli bölgesi traverten atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesine yönelik çalışmada ince agregada bulunan çok ince madde oranı %10 - %15 değerler arasında olduğu ve beton agregası olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ince madde oranı %15 olan ince agregaya ile de beton üretilebileceği görülmüştür.



Şekil 12. 2. grup 1. takım, 2. takım ve 3. takım betonlardaki basınç dayanımı değişimleri

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar tespit edilmiştir.

1. Kireçtaşı kökenli kırma kum agregalarında ince madde oranının %15'e kadar bulunması beton kıvam ve basınç dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkilememektedir. Numunelere uygulanan 90 günlük ve 365 günlük beton basınç dayanımları bunun bir göstergesidir.
2. Kırma iri agrega ve kırma ince agrega ile üretilen aynı su/imento oranına sahip kayma kmeli betonla homojen kmeli beton basınç dayanımları birbirine yakın değerler alabilmektedir. Slump deneyi sonucunda, kayma çökmesi görülen betonlarda kireç taşı kökenli ince madde oranının artırılması sonucu hakiki kmeli beton retilenmektedir.
3. İnce madde oranı arttıkça ince malzemeler iri malzemelerin arasını doldurmakta ve böylelikle taze beton içerisindeki hava miktarı azalmaktadır.
4. Konkasrden gelen içerisinde %15 oranına kadar kireç kökenli ince madde muhtevasına sahip agreganın doğrudan betonda kullanılması eleme ve yıkama işlemi sonucunda ortaya çıkabilecek maliyetleri düşürmektedir.

#### Teşekkür

Yazarlar bu çalışmaya katkılarından dolayı DSİ Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

#### Kaynaklar

- ASTM C 117, 2017. Standart test method for materials finer than 75-μm (No.200) sieve in mineral aggregates by washing.
- Benjeddou, O., Soussi, C., Jedidi, M. ve Benali, M., 2017. Experimental and theoretical study of the effect of the particle size of limestone fillers on the rheology of self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 10, 32-41.

Boğa, A.R., Krkl, G. ve Ergün, A., 2014. Mermer tozu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *ISEM2014, Adıyaman*, 1239-1248.

obanoğlu, İ., elik, S.B., am, O., Etiz, H., Kurşun, M., 2014. Denizli bölgesi traverten atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 92-99.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2006. Beton işleri teknik şartnamesi.

Gülan, L. ve Yıldız, S., 2016. Atık mermer tozu ve cam lif katkılı betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine karbonatlaşmanın etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28, 189-200.

Laserna, S. ve Montero, J., 2016. Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties, *Construction and Building Materials*, 115, 78-86.

zgan, E., 2005. Kırmataş agrega içerisindeki taş unu miktarının beton basınç dayanımına etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 198-205.

Ramyar, K., elik, T. ve Marar, K., 1995. Taş tozunun beton özelliklerine etkisi, endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması. 2. Sempozyumu, *Ankara*, 227-237.

Rashad, A., 2016. Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete. *Journal of Building Engineering*, 5, 119-141.

TS 706 EN 12620, 2009. Beton agregaları, *Türk Standardı*.

TS EN 12350-7, 2010. Taze beton deneyleri, hava içeriğinin tayini, basınç metotları. *Türk Standardı*.

TS EN 206-1, 2014. Beton; zellik, performans, imalat ve uygunluk. *Türk Standardı*.

Uluz, S., Yakıt, E. ve Dzbasan, S., 2004. Kırma agregadaki taş unu ve kil miktarının beton kalitesine etkisi. *Beton 2004 Kongresi, İstanbul*, 697-707.

## Yamaç Duraylılığı Araştırmalarında 2D ve 3D FEM-SSR Yöntemlerinin Uygulanması: Borçka (Artvin) Yöresinden Örnek Bir Çalışma

*Application of the 2D and 3D FEM-SSR Methods in Slope Stability Investigations: A Case Study from Borçka (Artvin) Region*

**Ayberk KAYA\***

*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize*

• Geliş tarihi / Received: 30.05.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 01.09.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 21.09.2018

### Öz

Bu çalışma kapsamında Yeni Yol (Borçka-Artvin) Mahallesi'deki yeni devlet hastanesinin inşaatı için açılan zemin seviğinde meydana gelen duraysızlık problemi mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sırasıyla arazi, laboratuvar ve duraylılık analizi çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Bu amaçla toplam 108 m derinliğinde 3 adet sondaj kuyusu açılmış, 1 profilde jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve 1 sondaj kuyusunda inklinometre ölçümleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları sonucunda ana kayayı Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'na ait volkanik kayaların oluşturduğu ve bu birimlerin üzerine alttan üstte doğru kumlu-çakıllı ve killi-siltli olmak üzere iki seviyeden oluşan yamaç molozunun geldiği saptanmıştır. Yamaç molozunun fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek için araştırma sondajlarından örselenmemiş örnekler alınmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla sonlu elemanlar tabanlı 2D ve 3D Kayma Dayanımı Azaltma Yaklaşımı (FEM-SSR) yöntemleri kullanılarak duraylılık analizleri yapılmış ve sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak kazı seviğinde önlem alınmaması durumunda önüne geçilemez mühendislik sorunlarıyla karşılaşılacağı belirlenmiştir. Destekleme yöntemi olarak ise fore kazık uygulamasının yapılması önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Duraylılık analizi, 2D ve 3D FEM-SSR yöntemi, İnklinometre ölçümleri

### Abstract

*In the scope of this study, the stability problem in the soil slope excavated for the construction of the new government hospital in the Yeni Yol (Borçka-Artvin) quarter was investigated in terms of engineering geology. The studies were performed in three stages as field, laboratory works and stability analyses. For this purpose, three boreholes with a total of 108 meters in length were drilled, geophysical studies were performed along the one line and inclinometer measurements were taken in one borehole. The talus consisting of two levels as sandy-gravelly and silty-clayey soils overlies the Eocene-aged Kabaköy Formation comprising the volcanic rocks. To determine the physico-mechanical properties of talus, undisturbed samples were taken from boreholes. 2D and 3D FEM-SSR stability analyses were evaluated using the obtained data from field and laboratory studies. It was determined that the stability analyses results are compatible with each other. As a result, it was determined that unforeseen engineering problems will be encountered if measures are not taken in the slope. It is suggested to apply fore pile application as support method.*

**Keywords:** Stability analysis, 2D and 3D FEM-SSR method, Inclinometer measurements

\* Ayberk KAYA; ayberkkaya@hotmail.com; Tel: (0464) 233 75 18 (dâhili: 1175); orcid.org/0000-0001-7278-333X

## 1. Giriş

Ülkemizde meydana gelen doğal kaynaklı afet olayları içerisinde en yaygın olarak görülenlerden biri olan heyelanlar özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çoğu zaman önemli ekonomik zararlarla birlikte can kayıplarına da neden olmaktadır. Bu bölgede kütle hareketlerinin meydana gelmesinde aşırı yağışların, yüksek yamaç eğiminin, akarsu aşındırmalarının ve insan kaynaklı müdahalelerin etkili olduğu görülmektedir. Bu tür duraysızlık problemlerinin araştırılmasında en uygun analiz yönteminin kullanılması elde edilecek sonuçların güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. İki boyutlu (2D) şev duraylılık analizleri jeoloji, maden ve inşaat mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, duraysızlık problemleri gerçekte üç boyutludur (3D). Genel olarak 3D yaklaşımlarının 2D yaklaşımlarına kıyasla daha tutucu olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, 2D analizleriyle belirlenen güvenlik sayısı sadece üç boyutlu şevin kritik bölümünden alınan kesitler için doğrudur. Dolayısıyla çoklu 2D analizleri yaparak kritik kesiti belirlemek zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle duraylılık analizlerinde 3D modellerinin kullanılması şev tasarımlarını daha ekonomik hale getirerek tasarımcılar için yol gösterici bir rehber olmaktadır. Dış yüklerin etkisi altındaki bir şevin duraylılığı analitik eleman yöntemi (AEM), sınır eleman yöntemi (BEM), sonlu farklar yöntemi (FDM), ayırık eleman yöntemi (DEM) ve sonlu eleman yöntemi (FEM) gibi geliştirilmiş birçok sayısal yöntem ile analiz edilebilmektedir. Ancak bu yöntemlerin içinde FEM tabanlı Kayma Dayanımı Azaltma Yaklaşımı (FEM-SSR), bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelere bağlı olarak son yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Cheng vd., 2005; Griffiths ve Marquez, 2007; Gürocak vd., 2008; Wei vd., 2009; Xiaolei vd., 2013; Alemdağ vd., 2014, 2015; Kaya vd., 2016a, 2016b, 2017, 2018; Kaya, 2017; Singh vd., 2017).

Bu çalışmada Yenyol (Borçka-Artvin) Mahallesi'deki yeni devlet hastanesinin inşaatı için açılan zemin şevinde meydana gelen duraysızlık problemi mühendislik jeolojisi açısından araştırılmıştır. 1/25000 ölçekli Artvin F47-a3 paftası içinde bulunan çalışma alanı, eski bir heyelan (paleo heyelan) malzemesinin oluşturduğu 10-20° eğim açısı ile batı yönüne bakan bir yamacın üzerindedir (Şekil 1). Çalışma alanı ve çevresi için yapılan üç boyutlu topografik incelemede tipik bir heyelan morfolojisi özelliğini sunduğu saptanmıştır. İnşaat alanında kazı

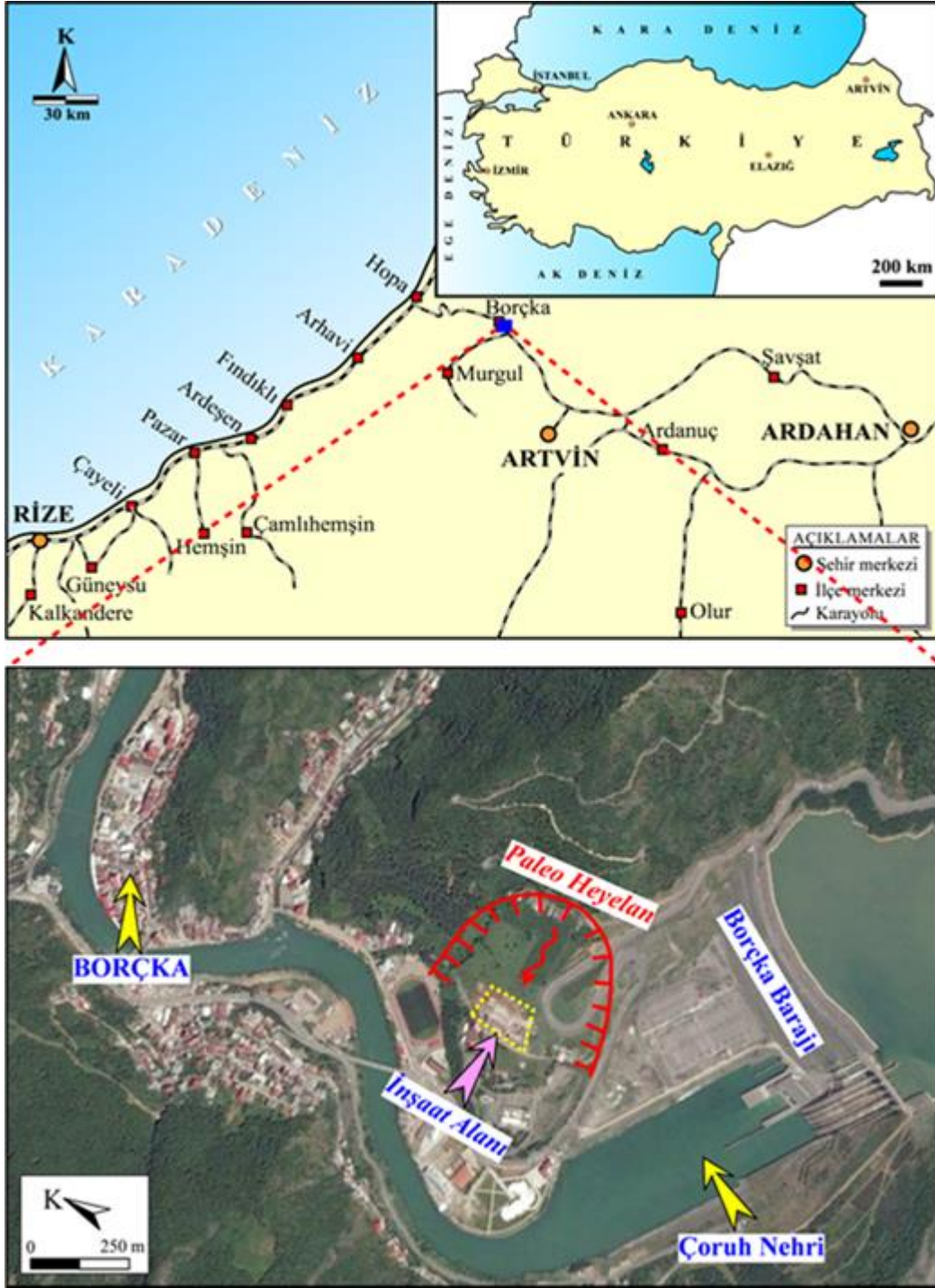
öncesinde toplam 85 m derinliğinde 5 adet, duraysız alanda ise toplam 108 m derinliğinde 3 adet araştırma sondajı açılmıştır. 1 adet sondaj kuyusundan inklinometre ölçümleri alınmış ve 1 profilde ise sismik kırılma yöntemi yardımıyla jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında araziden temin edilen örselenmemiş ve örselenmiş zemin örnekleri üzerinde çalışmanın amacına uygun zemin mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla 2D ve 3D FEM-SSR yöntemleri kullanılarak duraysızlık sorunu gözlenen şev için analizler yapılmış ve duraylılığı sağlaması için destek önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin Kuzey Zonu'nda yer alan çalışma alanı ve çevresinde (Ketin, 1966) Kabaköy Formasyonu'na ait kayalar ile yamaç molozları ve alüvyonlar yüzeyleme vermektedir. Tipik olarak Kabaköy (Gümüşhane) Yöresi'nde yüzeyleme veren ve genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp üste doğru volkanik karakterde olan birim, ilk olarak Güven (1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Genel olarak bazalt-andezit ve bunların piroklastitlerinden oluşan formasyonda koyu gri renk tonu hakimdir. Birimin yaşı, yapılan önceki çalışmalarda Eosen olarak belirlenmiştir.

Yamaç molozu olarak tanımlanan zemin malzemesi çalışma alanının üstünde bulunduğu yamacın eteğinde yoğun bir biçimde gözlenmekte olup, yamacın bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşmuşlardır. Silt ve kil miktarı diğer elemanlara göre daha yüksektir. Bloklar Kabaköy Formasyonu'ndan türemiş bazalt karakterli köşeli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Çalışma alanında yüzeyleyen heyelan kökenli yamaç molozunda yapılan arazi, sondaj ve jeofizik çalışmaları neticesinde birimin üstten alta doğru killi-siltli ve kumlu-çakıllı olmak üzere iki seviyeden oluştuğu belirlenmiştir.

Alüvyonlar çalışma alanı ve çevresinde irili ufaklı akarsu vadilerinde oluşmuş kumlu, siltli, çakıllı ve bloklu malzemelerden oluşmaktadır. Çoruh Nehri'nin yatağında en yoğun şekilde gözlenmektedir. Çoğunlukla çakılların oluşturduğu alüvyonlarda bloklar da sıkça görülmektedir. Bloklar ve çakıllar genellikle yuvarlak, bazıları küt köşelidir. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir.



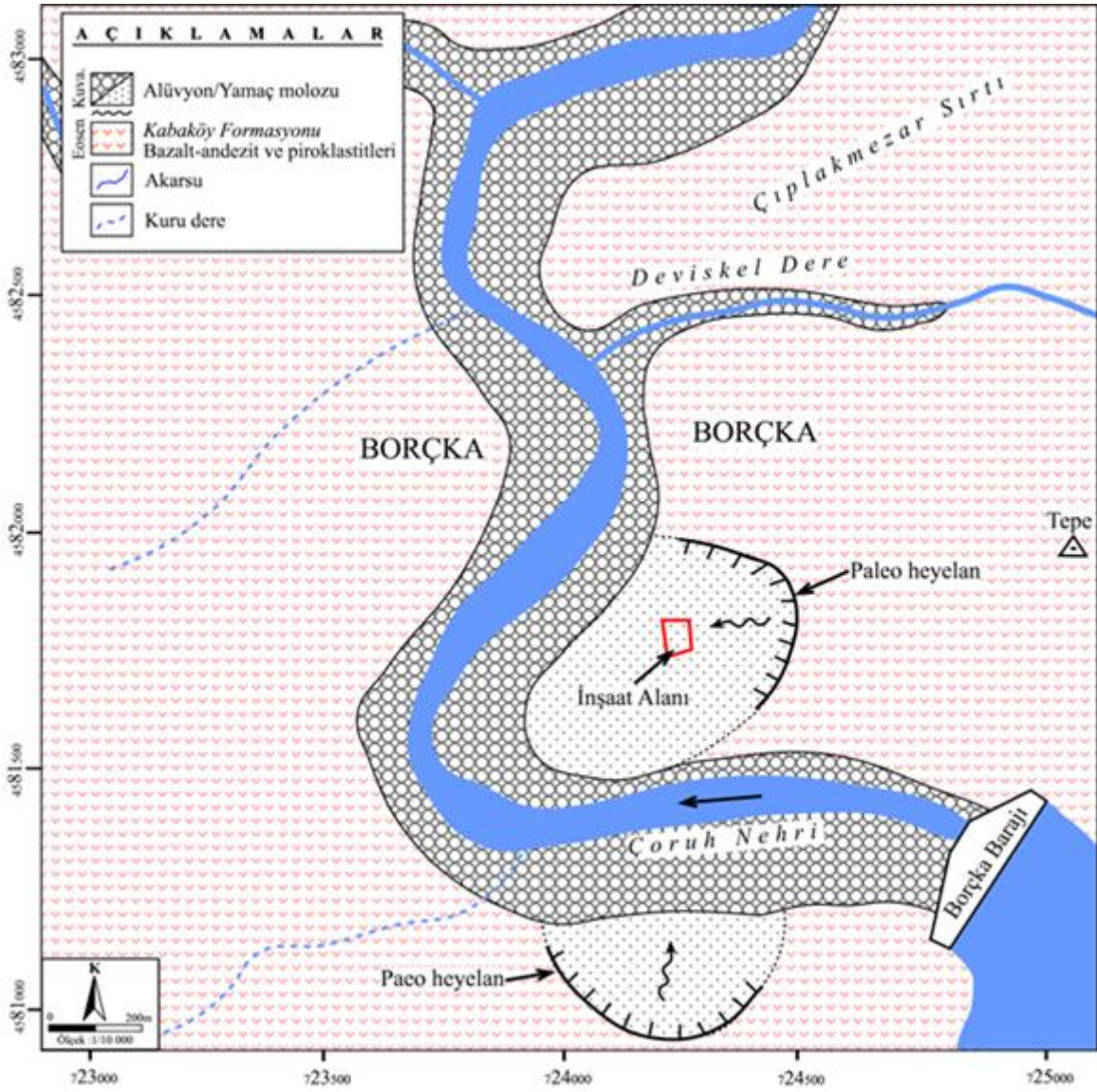
Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

### 3. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Çalışmanın konusunu oluşturan zemin şevinin bulunduğu alanda yeni Borçka devlet hastanesinin yapımı devam etmektedir. Söz konusu inşaat projesi, ihtiyaçları karşılamayan mevcut devlet hastanesinin yıkılarak aynı alana daha dayanıklı ve donanımlı olan yeni bir devlet hastanesinin yapılmasını kapsamaktadır. İnşaat aşamasına geçmeden önce arazi düzenlemesi kapsamında mevcut beton istinat duvarının ön sınırından

itibaren yaklaşık 90 m uzunluğunda, 7 m yüksekliğinde ve  $60^\circ$  eğim açısında geçici bir şev kazısı yapılmıştır. Bu zemin şevinin topuğundan itibaren 4 m uzaklıkta hastane binasının inşasına başlanılmıştır. Ancak, bölgedeki mevsimsel koşullara bağlı olarak aşırı yağışlar nedeniyle doymun hale gelen zemin şevinde kalıcı şevlendirme işlemine geçilmeden yenilmeler meydana gelmiştir. Gerileyen biçimde gelişen çatlaklar şev sınırından yaklaşık 80 m uzaklıktaki üst seviyelere kadar yayılım göstermiştir.





Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası

Şev topuğuyla hastane arasına bırakılan 4 m uzunluğundaki mesafe, şevin ön yüzünde meydana gelen kaymadan dolayı tamamen kapanmıştır (Şekil 3). Bu duraysızlık problemi mühendislik jeolojisi açısından araştırmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar arazi, laboratuvar ve duraylılık analizi çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur;

### 3.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında yenilmenin gerçekleştiği yamaç boyunca yüzey ve yeraltı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içinde yüzeylenen zeminle ilgili detaylı bilgiler elde etmek ve zeminin kalınlığındaki değişim aralıklarını tespit etmek amacıyla yeraltı suyu ölçümlerini de içerecek şekilde araştırma

sondajları yapılmıştır. Bu sondajlardan 5 tanesi (SK 1-5) inşaat alanında kazı öncesinde, 3 tanesi (HSK 1-3) ise kayma olayından hemen sonra yamaç üstünde açılmıştır (Şekil 4). Sahada açılan sondajların içerisinde en derin olanı 40 m (HSK 2) olmasına rağmen bu derinlikte ana kaya kesilememiştir. Yürütülen sondaj çalışmaları neticesinde yamaç molozunun iki farklı zemin seviyesinden oluştuğu saptanmıştır. Üst seviyedeki killi-siltli zeminin kalınlığı 5.5-24.0 m arasında değişmektedir. Bu derinliklerden sonra ise kuyu sonuna kadar kumlu-çakıllı zemin seviyesi kesilmiştir. Sondaj kuyularında yapılan ölçümlere göre yeraltı su tablasının 3.0-18.0 m arasında olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 1). HSK 2 nolu sondaj kuyusuna inklinometre borusu ( $\varnothing$ : 70 mm) yerleştirilerek 18 Aralık 2016-11 Ocak 2017 tarihlerini kapsayan dönemde inklinometre cihazı ile kuyu eksenlerinin düşey sapmaları tespit edilmeye çalışılmıştır.





Şekil 3. Zemin şevinde meydana gelen gerilme çatlakları

Ölçüm hassasiyetinin diğer yöntemlerden daha yüksek olması sebebiyle zeminde gelişebilecek çok yavaş hareketler bu yöntemle belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan inklinometre ölçümlerinde

gözlenen ana hareketin yüzeyden 20.5 m derinlikteki killi-siltli seviye ile kumlu-çakıllı seviye dokanağına yakın bir yerde geliştiği tespit edilmiştir (Şekil 5). Ayrıca, inklinometre

ölçümlerinde killi-siltli zemin seviyesi içerisinde de yüzeyden 3, 9 ve 13 m derinliklerde ana yenilmeden daha büyük ikincil yenilmelerin geliştiği gözlemlenmiştir (Şekil 5). Çalışma alanındaki zemin profilini ortaya çıkarmak ve P-S dalga hızları yardımıyla zeminin dinamik elastik parametrelerini belirlemek amacıyla 1 profil

boyunca sismik kırılma yöntemi kullanılarak jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 2, Şekil 4). Sismik kırılma çalışmasının yapıldığı lokasyonda killi-siltli seviyenin derinliği 3.5 m olarak saptanmıştır. Dolayısıyla her iki zemin seviyesiyle ilgili dinamik parametreler bu lokasyonda kolaylıkla elde edilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı içindeki sondajların ve sismik kırılma hattının uydu fotoğrafındaki görünümü

Tablo 1. Çalışma alanında yapılan sondajlara ait teknik bilgiler

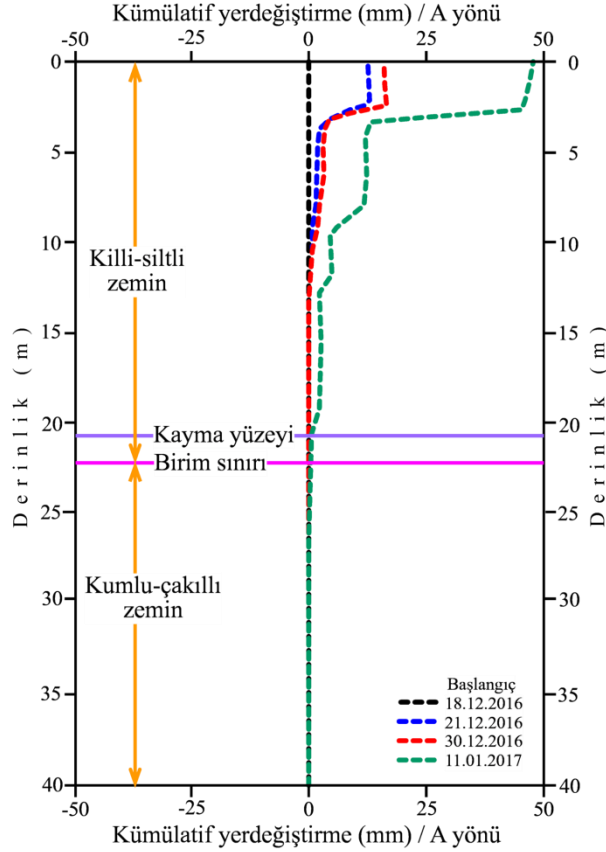
Kuyu no	Kuyu derinliği (m)	Kuyu kotu (m)	YASS derinliği (m)	Y (Sağa)	X (Yukarı)
SK 1	10.00	83	7.90	724193	4581769
SK 2	15.00	85	3.00	724219	4581864
SK 3	20.00	94	18.00	724245	4581836
SK 4	20.00	95	12.00	724262	4581786
SK 5	20.00	90	18.00	724231	4581815
HSK 1	34.00	156	3.00	724272	4581586
HSK 2	40.00	157	4.00	724273	4581610
HSK 3	34.00	156	3.00	724276	4581637



**Tablo 2.** Sismik kırılma yöntemine göre belirlenen dinamik-elastik parametreler

Tabaka no	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$E_d$ (MPa)	$\nu$
1 (killi-siltli seviye)	622	335	441	0.30
2 (kumlu-çakıllı seviye)	962	513	1159	0.30

$V_p$ : boyuna dalga hızı,  $V_s$ : enine dalga hızı,  $E_d$ : deformasyon modülü,  $\nu$ : Poisson oranı

**Şekil 5.** HSK 2 nolu kuyuya ait inklinometre okumalarında tespit edilmiş derinlik-hareket miktarları ilişkisi

### 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Sondajlardan derlenen örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde dane boyu dağılımı, kıvam limitleri, su muhtevası ve birim hacim ağırlık özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir (ASTM, 2005, 2007, 2009). Örselenmiş zemin örnekleri Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır (ASTM, 2006). Laboratuvar deneyleri sonucunda yamaç molozunun üst seviyesinin düşük plastisiteli kil (CL) zemin sınıfında olduğu belirlenmiş olup, ortalama su içeriği ve birim hacim ağırlığı ise sırasıyla % 22.9 ve 19.2 kN/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. Zemine ait kayma dayanımı parametrelerini (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlemek için 2.5-9.0 m arasındaki derinliklerden alınan numuneler üzerinde deformasyon kontrollü kesme kutusu

deneyi yapılmıştır (ASTM, 2017). Deney sonuçlarına göre ortalama tepe kohezyon ve içsel sürtünme açısı sırasıyla 53.46 kPa ve 11° olarak saptanmıştır (Tablo 3). Ancak, yamaç molozunun alt seviyesindeki kumlu-çakıllı zeminden örselenmemiş örnekleme yapılamadığından birim hacim ağırlığı 22 kN/m<sup>3</sup>, kohezyonu 5 kPa ve içsel sürtünme açısı da 30° olarak seçilmiştir. Zemin sınıfı ise GM (siltli çakıl) olarak alınmıştır. Bu değerler seçilirken Hunt (1986) tarafından kohezyonsuz zemin malzemeleri için önerilmiş sınıflandırma tablolarından yararlanılmıştır.

### 3.3. 2D ve 3D FEM-SSR Duraylılık Analizleri

Çalışma alanındaki yenilme sorununun gözlemlendiği zemin şevin duraylılığının araştırılmasında 2D analiz yapan sonlu elemanlar tabanlı "RS2 v9.0" (Rocscience Inc., 2017) ve 3D analiz yapan "RS3

v1.0” (Rocscience Inc., 2016) bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Sahada yapılan araştırma sondajlarından elde edilen veriler kullanılarak zemin profili oluşturulmuş ve analiz

modeli çizilmiştir. İlk olarak yenilmenin geliştiği şevin duraylılığı 2D analizi ile araştırılmış, sonrasında elde edilen çıktılar 3D analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.** Yamaç molozunun üst seviyesindeki zemine ait indeks, fiziksel ve dayanım özellikleri

Kuyu no	Örnek derinliği (m)	USCS zemin sınıfı	$\omega$ (%)	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kıvam limitleri (%)			c (kPa)	$\phi$ (derece)
					LL	PL	PI		
SK 1	4.0-5.5	CL	24.2	19.1	40	22	18	63.77	7
SK 2	2.5-3.0	CL	20.8	19.3	50	25	25	34.33	17
SK 3	8.8-9.0	CL	22.5	19.1	44	25	19	60.82	7
SK 4	6.0-6.5	CL	24.0	19.2	45	25	20	54.94	11
<b>Ort.</b>	-	-	<b>22.9</b>	<b>19.2</b>	<b>45</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>53.46</b>	<b>11</b>

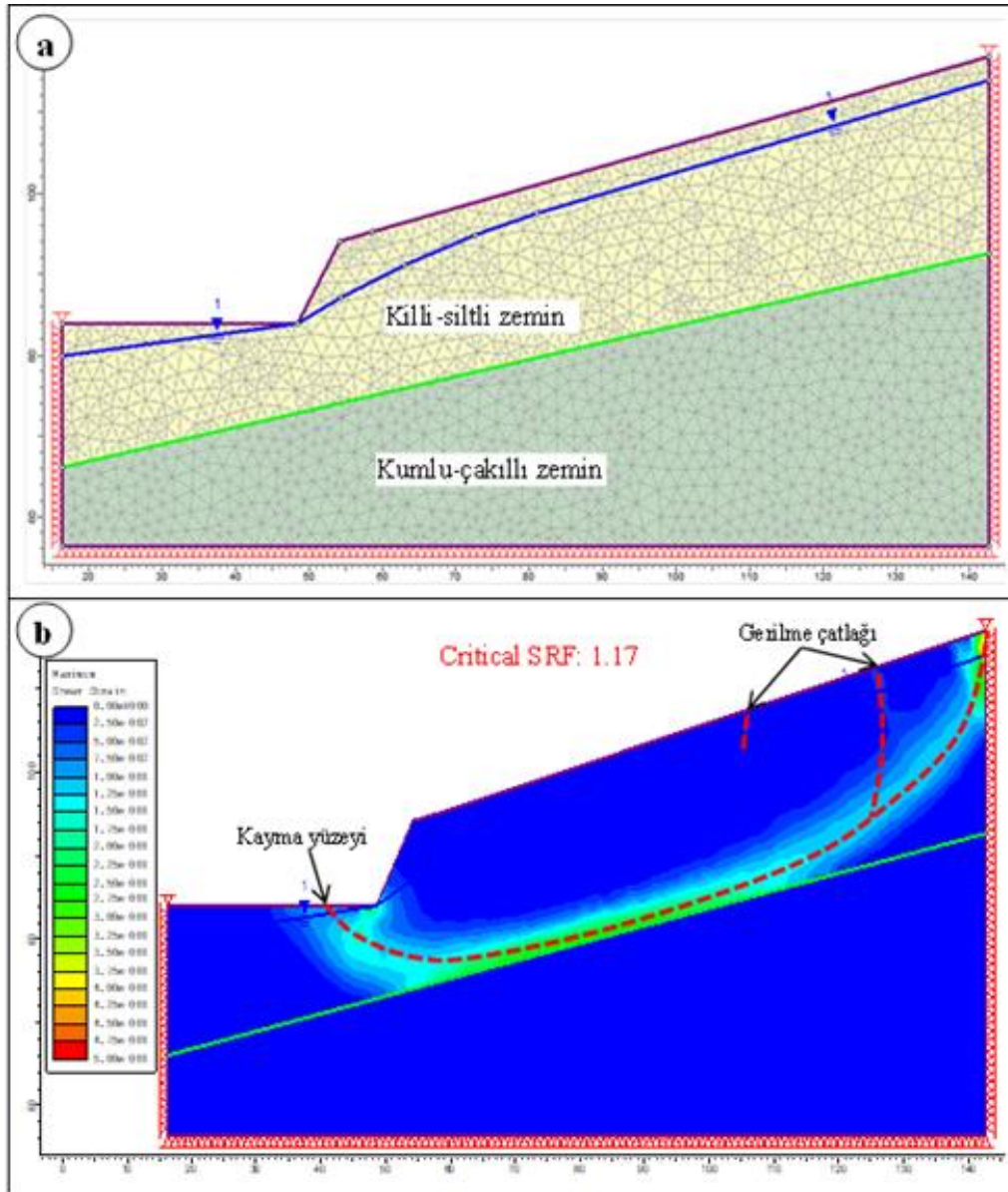
Analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmış olup, 2D analizinde güvenlik sayısı FEM tabanlı Kayma Dayanımı Azaltma Yaklaşımı (FEM-SSR) uygulanarak saptanmıştır. Ancak, “RS3 v1.0” programı duraylılık analizlerinde bir güvenlik sayısı değeri vermediğinden analiz sonuçlarının karşılaştırmasında şevde meydana gelen kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı yerlerin konumlarından yararlanılmıştır. Yol ve yarma şevleri gibi doğal olmayan yüksek eğim açılı şevlerde hesap edilen güvenlik sayısı ( $G_s$ ) değerinin duraylılık için  $G_s > 1.5$  olması gerekmektedir (Mines Branch, Canada, 1972). Yapılan duraylılık analizlerinde tepe kayma dayanımı parametreleri kullanıldığından zeminin doğal durumu için statik koşullardaki kabul edilebilir güvenlik sayısı 1.5 olarak seçilmiştir.

Hazırlanan 2D ve 3D modellerinde detay analiz için hassas zonlama yapılmış ve üç düğüm noktalı üçgen şekilli sonlu elemanlar kullanılmıştır. Çözümlemeler şev eğimi boyunca değişen gravite yükleri altında yapılmıştır. Her bir sonlu elemanın üstündeki malzemenin ağırlığı yardımıyla elemandaki düşey gerilmeler tanımlanmıştır. Gerilme oranı, yüzey kazıları için hidrostatik basınç gerilmesini temsil etmesi amacıyla 1 olarak (yatay gerilme=düşey gerilme) girilmiştir. Şevin sağ, sol ve alt yüzeylerindeki yer değiştirmenin sıfır olması için sınırlandırılmış, üst yüzeyi ise deformasyonları saptamak için açık bırakılmıştır (Şekil 6a, 7a).

Yamaç molozunun üst seviyesi için  $E_d$  ve  $\nu$  değerleri sırasıyla 441 MPa ve 0.30, alt seviyesi için de sırasıyla 1159 MPa ve 0.30 olarak modellere girilmiştir. Benzer şekilde yamaç molozunun üst seviyesi için  $c$ ,  $\phi$  ve  $\gamma$  değerleri sırasıyla 53.46 kPa, 11° ve 19.2 kN/m<sup>3</sup> olarak, alt seviyesi için de sırasıyla 5 kPa, 30° ve 22 kN/m<sup>3</sup> olarak analiz modellerine tanımlanmıştır.

İlk aşamada, şevin duraylılığı 2D FEM-SSR yöntemiyle incelendiğinde güvenlik sayısı değeri  $G_s$ : 1.17 olarak belirlenmiştir. Analizlerde kayma dayanımı parametrelerinin tepe değerleri dikkate alındığından yenilmenin başladığı zemin sevi için yüksek güvenlik sayılarının elde edilmesi normaldir. Bu sonuç kabul edilebilir güvenlik sayısı olan 1.5’den küçüktür ve şevin duraysız olduğunu göstermektedir. Belirlenen kayma yüzeyinin başlangıç kısmı yani kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı yer yamacın üst kotlarındaki uzak bir mesafeden başlayıp kumlu-çakıllı seviyenin dokanağına yakın bir yerden geçerek açılan şevin taban kısmında son bulmaktadır. Yapılan 2D analizi sonucunda sahadaki yenilme mekanizmasının birleşik kayma modeline uyduğu görülmüştür (Şekil 6b).

İkinci aşamada, 2D analizinden elde edilen sonuçları karşılaştırmak için oluşturulan 3D analiz modelinde kazı genişliğiyle aynı olacak şekilde model genişliği 90 m olarak girilmiştir. Yüzey topoğrafyasında sonuçları etkileyecek engebe farklılıkları mevcut olmadığından 2D modelinde temel alınan topoğrafyanın aynısı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kayma gerilmeleri 2D analizinden elde edilen sonuçlarla uyumlu olacak şekilde yamacın üst kotlarındaki uzak bir mesafeden başlayıp kumlu-çakıllı seviyenin dokanağına yakın bir yerden geçerek açılan şevin taban kısmında sonlandığı saptanmıştır. Ancak, 2D analiz çıktısı 3D analizine göre tutucu davranarak kayma yüzeyinin taç kısmını biraz daha geriden başlatmıştır (Şekil 6b, 7c). Oluşan kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı yerler dikkate alındığında olası yenilmenin tabanı düzlemle yakın kaşık şekilli bir yenilme modeline uyduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7b, c). Yapılan 2D ve 3D duraylılık analizleri inklinometre sonuçlarıyla da uyumlu olarak benzer sonuçlar vermiş ve şevin desteklenmesi gerekliliğini ortaya konmuştur.



Şekil 6. (a) 2D analiz modeli ve (b) FEM-SSR duraylılık analizi sonucu

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

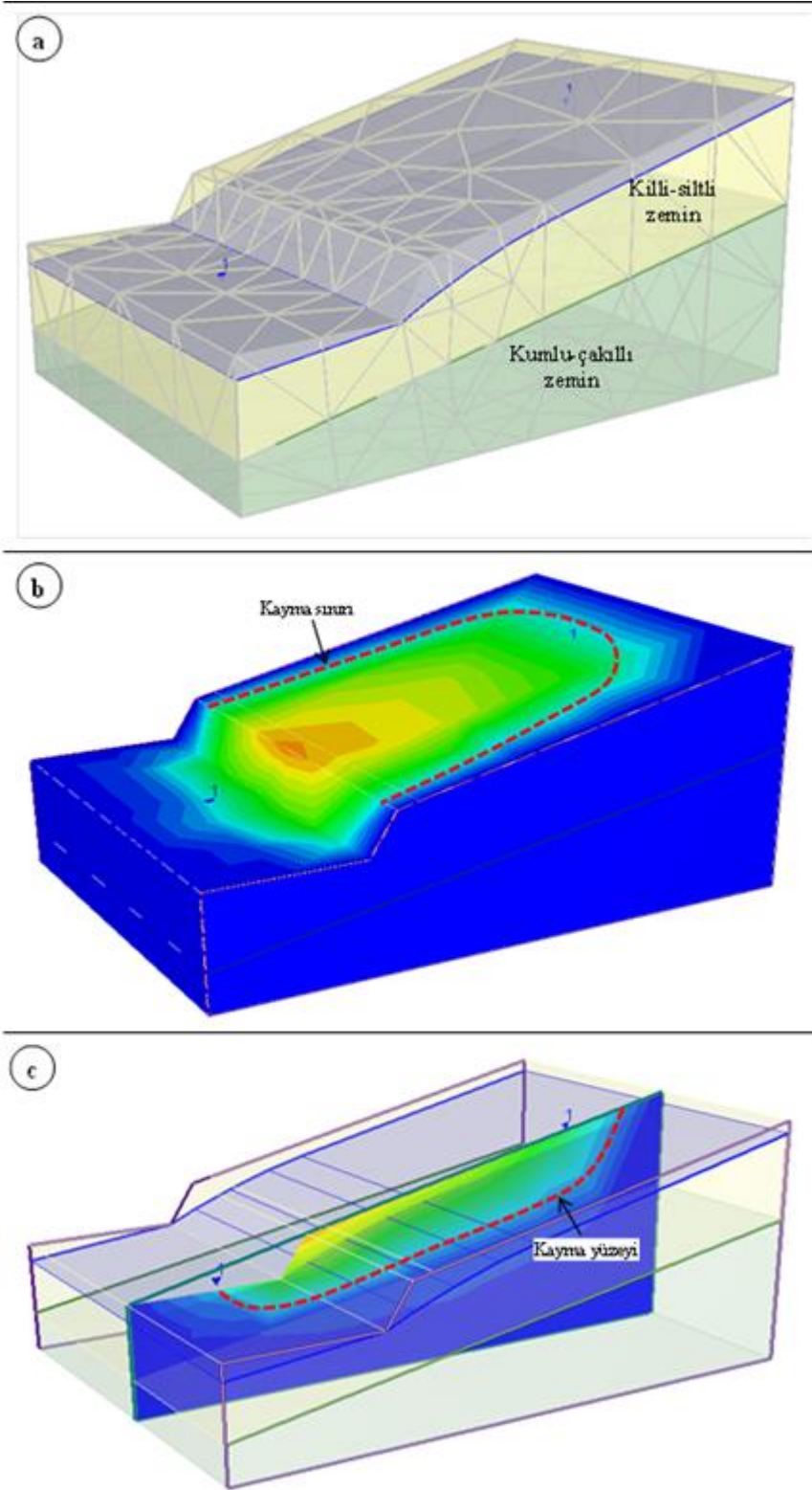
Bu çalışma kapsamında, Yeni yol (Borçka-Artvin) Mahallesi'deki yeni devlet hastanesinin inşaatı için açılan zemin şevinde meydana gelen duraysızlık sorunu mühendislik jeolojisi açısından araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak sunulmuştur;

1) Duraysızlık probleminin gözlemlendiği yamaçta yapılan sondaj ve sismik kırılma çalışmaları sonucunda yamaç molozunun üstten alta doğru killi-siltli ve kumlu-çakıllı olmak üzere iki seviyeden oluştuğu saptanmıştır.

2) Yamaç molozunun üst seviyesindeki killi-siltli birimden alınan örselenmiş numunelerde zemin

sınıfının düşük plastisiteli kil (CL) olduğu belirlenmiştir. Kayma dayanımı parametrelerini saptamak için örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde ortalama tepe kohezyon ve içsel sürtünme açısının sırasıyla 53.46 kPa ve  $11^\circ$  olduğu saptanmıştır. Ancak, yamaç molozunun alt seviyesindeki kumlu-çakıllı zeminden örselenmemiş örnekler alınamadığından kohezyonu 5 kPa, içsel sürtünme açısı da  $30^\circ$  olarak seçilmiştir. Zemin sınıfı ise GM (siltli çakıl) olarak alınmıştır.

3) Yapılan sismik kırılma çalışması yardımıyla yamaç molozunun üst seviyesi için  $E_d$  ve  $\nu$  değerleri sırasıyla 441 MPa ve 0.30 olarak, alt seviyesi için ise sırasıyla 1159 MPa ve 0.30 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. (a) 3D analiz modeli, (b) FEM-SSR duraylılık analizi sonucu ve (c) 2D kesit görünümü

4) Yapılan inklinometre okumalarına göre ana kaymanın yüzeyden 20.5 m derinlikteki killi-siltli seviye ile kumlu-çakıllı seviye dokanağına yakın bir yerde geliştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, killi-siltli zemin seviyesi içerisinde de yüzeyden 3, 9 ve 13 m derinliklerde ana yenilmelerden daha büyük ikincil yenilmelerin geliştiği gözlemlenmiştir.

5) Çalışma alanındaki şevin duraylılığını araştırmak için 2D ve 3D FEM-SSR yöntemleri kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Yapılan 2D analizine göre kayma yüzeyinin başlangıç kısmı yamacın üst kotlarındaki uzak bir mesafeden başlayıp kumlu-çakıllı seviyenin dokanağına yakın bir yerden geçerek açılan şevin



taban kısmında son bulmaktadır. 2D analizi ile benzer sonuçlar veren 3D analizi ise tutucu davranarak kayma yüzeyinin taç kısmını biraz daha geriden başlatmıştır. Elde edilen sonuçların inklinometre ölçüleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Duraysızlık problemleri gerçekte üç boyutlu olduğundan yapılan 2D analizlerinin 3D analizler ile desteklenmesi tasarımın doğruluğuna ve güvenilirliğine katkıda bulunacaktır.

6) Duraylılık analizleri ve inklinometre ölçüm sonuçları, şevin dengede olmadığını ve desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Kazıklı destekleme yöntemi uygulanması durumunda kazıkların kumlu-çakıllı zemin biriminin içine inecek şekilde soketlenmesi gerekmektedir. Demir donatılı kazıkların yeraltı suyunun akışını engellememesi için şevin doğrultusu boyunca birer boşluk bırakarak imal edilmesi ve imalat sonrasında yanıl toprak basıncıyla deforme olmaması için başlık kirişi ile sabitlenmesi gereklidir. Sahada uygulanacak fore kazık tipinin seçimine, sayısının ve sıra adedinin belirlenmesine hazırlanacak fore kazık projesi ile karar verilmelidir.

### Teşekkür

Yazar bu çalışmayı destekleyen Ustabaşlar İnş. ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkür eder.

### Kaynaklar

- Alemdağ, S., Akgün, A., Kaya, A. ve Gökceoğlu, C., 2014. A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey). *Arabian Journal of Geoscience*, 7 (3), 1205-1221.
- Alemdağ, S., Kaya, A., Karadağ, M., Gürocak, Z. ve Bulut F., 2015. Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: an example of the Kalebasi district (NE Turkey). *Journal of African Earth Science*, 106, 134-146.
- ASTM, 2005. Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. Annual Book of ASTM Standards, ASTM D4318, Philadelphia, USA.
- ASTM, 2006. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). Annual Book of ASTM Standards, ASTM D2487, Philadelphia, USA.
- ASTM, 2007. Standard test method for particle-size analysis of soils. Annual Book of ASTM Standards, ASTM D422, Philadelphia, USA.

- ASTM, 2009. Standard test methods for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens. Annual Book of ASTM Standards, ASTM D7263-09, Philadelphia, USA.
- ASTM, 2017. Standard test method for consolidated undrained direct simple shear testing of fine grain soils. Annual Book of ASTM Standards, ASTM D6528-17, Philadelphia, USA.
- Cheng, Y.M., Liu, H.T., Wei, W.B. ve Au, S.K., 2005. Location of critical three-dimensional non-spherical failure surface by NURBS functions and ellipsoid with applications to highway slopes. *Computers and Geotechnics*, 32 (6), 387-399.
- Griffiths, D.V. ve Marquez, R.M., 2007. Three-dimensional slope stability analysis by elastoplastic finite elements. *Geotechnique*, 57 (6), 537-546.
- Gürocak, Z., Alemdağ, S. ve Musharraf, Z., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapıkaya dam site Turkey. *Engineering Geology*, 96 (1-2), 17-27.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu. MTA, Ankara.
- Hunt, R.E., 1986. Geotechnical engineering techniques and practices. McGraw-Hill Ryerson, Limited, 729 s.
- Kaya A., 2017. Geotechnical assessment of a slope stability problem in the Cıtlakkale residential area (Giresun, NE Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76, 875-889.
- Kaya, A., Akgun, A., Karaman, K. ve Bulut, F., 2016. Understanding the mechanism of slope failure on a nearby highway tunnel route by different slope stability analysis methods: a case from NE Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 945-958.
- Kaya, A., Alemdağ, S., Dağ, S. ve Gürocak, Z., 2016. Stability assessment of high-steep cut slope debris on a landslide (Gumushane, NE Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 89-99.
- Kaya, A., Bulut, F. ve Dağ S., 2018. Bearing capacity and slope stability assessment of rock masses at the Subasi viaduct site, NE Turkey. *Arabian Journal of Geoscience*, doi: 10.1007/s12517-018-3477-7.
- Kaya, A., Karaman K. ve Bulut, F., 2017. Geotechnical investigations and remediation design for failure of tunnel portal section: a case study in northern

- Turkey. *Journal of Mountain Science*, 14, 1140-1160.
- Ketin, İ., 1966. Tectonic units of Anatolia. *Journal of General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)*, 66, 23-34.
- Mines Branch, Canada, 1972. Tentative design guide for mine waste embankments in Canada. Department of Energy, Mines and Resources, Canada.
- Rocscience Inc., 2016. RS3 v1.0 3D finite element analysis for rock and soil. Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience Inc., 2017. RS2 v9.0 finite element analysis for excavations and slopes. Toronto, Ontario, Canada.
- Singh, R., Kumar, U.R. ve Singh, T.N., 2017. Hill slope stability analysis using two and three dimensions analysis: A comparative study. *Journal Geological Society of India*, 89, 295-302.
- Wei, W.B., Cheng, Y.M. ve Li, L., 2009. Three-dimensional slope failure analysis by the strength reduction and limit equilibrium methods. *Computers and Geotechnics*, 36 (1-2), 70-80.
- Xiaolei, Q., Yunpeng, Ren., Suhe, Gao. ve Guoqiang, Wang., 2013. The 2D and 3D stability analysis of spreader for open-pit iron mine. *Advanced Materials Research*, 813, 263-268.

## Nikel-Kobalt (Ni-Co) Alaşımın Kaplamalarda Co Miktarının Mikroyapıya Etkisi

### *The Effect of Co Content on The Microstructure of Nickel-Cobalt (Ni-Co) Alloy Coatings*

Tuncay DİKİCİ\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Kaynak Teknolojisi Programı, 35860, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektronik Malzemeler Üretim ve Uygulama Merkezi, 35390, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 06.06.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 26.09.2018

#### Öz

Bu çalışmada, Ni-Co alaşımın kaplamalar elektrolitik yöntemle çelik malzeme yüzeyine sülfat banyosundan bir güç kaynağı yardımıyla hazırlanmıştır. Elektrolit içinde Co miktarındaki değişimin kaplamanın kompozisyon, faz yapısı ve morfoloji üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen kaplamalar; X-ışını kırınım cihazı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile karakterize edilmişlerdir. Sonuçlara göre, elektrolit içindeki farklı Co konsantrasyonu Ni-Co alaşımın kaplama tabakasının özelliklerine etki etmektedir. Elektrolitteki Co oranının artışı ile birlikte alaşımın kaplama tabakasında depozitlenen Co oranında ciddi bir artış söz konusudur. Ni-Co alaşımın kaplama tabakasında YMK+HSP kristal yapısı artan Co miktarı ile HSP yapıya dönüşmektedir. Aynı zamanda alaşımın kaplama tabakasındaki Co oranındaki artış ile birlikte yüzey morfolojisinde değişim gözlemlenmiştir ve daha granüler bir yapı oluşmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Elektrolit, Ni-Co alaşımı, XRD, Yüzey morfolojisi

#### Abstract

*In this study, Ni-Co alloy coatings were prepared on the steel substrates with electrodeposition method from a sulphate baths using power supply. The effect of Co content in electrolyte on the composition, phase structure and surface morphology of alloy coating were investigated. The prepared coatings were characterized using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). According to the results, Co concentration in the electrolyte affects the properties of the Ni-Co alloy coating layer. There is a serious increase of Co content deposited Ni-Co alloy coating when the Co concentration is increased in the electrolyte. The both FCC and HCP crystal structures of Ni-Co alloy coating layer began to transform into HCP structure with increasing amount of Co content. At the same time, a change in the surface morphology was observed with an increase in Co ratio in the alloy coating layer and a more granular structure was formed.*

**Keywords:** Electrolyte, Ni-Co alloy, XRD, Surface morphology

\* Tuncay DİKİCİ; tuncay.dikici@deu.edu.tr; Tel: (0232) 853 18 20 (dâhili: 191); orcid.org/0000-0002-7004-9788

## 1. Giriş

Son yıllarda, metal (Ni, Co ve Fe v.b.) ve alaşımlarının (Zn-Ni, Zn-Co, Zn-Fe v.b.) elektrokaplama olan ilgi sahip oldukları korozyon direnci, mekanik dayanım, manyetik ve termo-fiziksel özelliklerinden dolayı artmaktadır (Landolt, 2002; Oriňáková vd., 2006). Alaşımlı kaplamaların hazırlanmasındaki temel amaç sadece saf metal ile elde edilemeyen özelliklere bu sayede ulaşılmasıdır. Elektrokaplama tekniği ile üretilen nikel-kobalt (Ni-Co) gibi ikili alaşım kaplamaları; sahip oldukları korozyon direnci, yüksek mukavemet ve aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı havacılık, otomobil, bilgisayar sürücüler ve diğer elektrik-elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ishikawa vd., 1994; Qiao vd., 2006; Atuanya vd., 2017).

Saf metal ve alaşımların kaplanmasında elektrokaplama yöntemi; ekonomik, kolay, güvenilir ve tekrar edilebilir bir tekniktir (Yang ve Deng, 2011). Elektrolitik kaplama tekniği ile elde edilen tabakaların sertlik ve mukavemeti konvansiyonel metalürjik prosesle hazırlananlardan daha iyidir (Oriňáková vd., 2006). Ni-Co alaşımının elektro depositlenmesine ilişkin yürütülen çalışmalarda DC veya pulse akım kullanılmaktadır. Ni-Co alaşımının elektrokimyasal kaplaması kuraldışı davranış gösterebilir. Burada, daha soy metalden ziyade daha az soy metalin (Co) tercihli bir kaplanması söz konusudur. Bu durum, elektrolit içinden daha az soy metal iyonlarının ( $Co^{+2}$ ) kaplama tabakasına daha yüksek oranda depozitlenmesi şeklinde gerçekleşir (Brenner, 1963; Zhuang, 2000).

Ni-Co alaşımlı kaplamaların kompozisyonu ve yüzey özellikleri büyük ölçüde çalışma parametreleri, elektrolit kompozisyonu, sıcaklık, akım yoğunluğu ve pH gibi faktörlere bağlıdır (Lupi ve Piloni, 2001; Bai ve Hu, 2002; Gomez vd., 2006; Hassani vd., 2008). Bu alaşımlı kaplamaların özellikleri de büyük ölçüde Co miktarına bağlıdır. Proses parametrelerini değiştirerek Ni-Co alaşımlı kaplamaların yüzey

morfolojisi ve mikroyapısı modifiye edilebilir. Kobalt içeriğine bağlı olarak, Ni-Co alaşımlı kaplamalar iki ana kategoriye ayrılır. Bunlar; (i) İyi koruyucu davranışa sahip (nikelce zengin alaşımlar) ve (ii) iyi manyetik özelliklere sahip (kobaltça zengin alaşımlar) alaşımlı kaplamalardır (Bakhit ve Akbari, 2013).

Bu çalışmanın amacı, elektrolit içerisindeki Co miktarındaki değişimin Ni-Co alaşımlı kaplama tabakasının yüzey özelliklerine olan etkilerinin incelenmesidir. Farklı Co oranı içeren elektrolitlerde gerçekleştirilen kaplama işlemleri sonucu Ni-Co alaşımına ait mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Kaplama altlığı olarak, 1 mm kalınlığında çelik sac numuneler kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan bu sacın kimyasal kompozisyonuna dair bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Zımparalama sonrası altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğü değeri  $R_a=0.32\pm 0.05$   $\mu m$  olarak ölçülmüştür. Örneklerin her biri yüzeyde muhtemel yağ, kir gibi kalıntıları temizlemek için alkali yağ alma işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında her bir örnek %10’luk HCl içinde aktive edilip, bol su ile durulanmıştır.

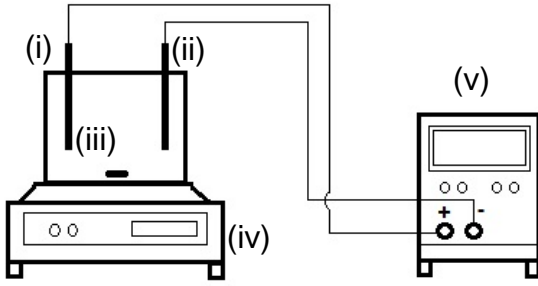
**Tablo1.** Çelik sac levhanın kimyasal kompozisyonu

Element	C	P	S	Mn	Cu
% ağırlık	0.12	0.04	0.04	0.60	0.20

Bu hazırlık aşamalarından sonra, yüzeyde bir oksit oluşumunu önlemek için örnekler hemen elektrolit içine yerleştirilmiştir. Kaplama banyo bileşenleri ve diğer çalışma parametrelerine ait bilgiler Tablo 2’de verilmiştir. Elektrolitik kaplama sistemine ait şematik gösterim Şekil 1’de mevcuttur. Kaplama işleminden sonra numuneler iyice yıkanmış ve kurutulmuştur.

**Tablo 2.** Kaplama banyosu bileşenleri ve çalışma parametreleri

Kodlar	Elektrolit kompozisyonu				Kaplama parametreleri	
	$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	$H_3BO_3$	$Na_2SO_4$	Akım yoğunluğu	$3 A \cdot dm^{-2}$
NiCo-5	0.20 M	0.05 M	0.20 M	0.20 M	Sıcaklık	$24 \pm 0.5$ °C
NiCo-10	0.20 M	0.10 M	0.20 M	0.20 M	pH	3
NiCo-20	0.20 M	0.20 M	0.20 M	0.20 M	Kaplama süresi	10 dk.
NiCo-40	0.20 M	0.40 M	0.20 M	0.20 M	Karıştırma hızı	250 dv/dk.



**Şekil 1.** Elektrolitik kaplama sistemi (i) anot (ii) katot (iii) elektrolit (iv) manyetik karıştırıcı ve (v) güç kaynağı

Hazırlanan Ni-Co alaşımlı kaplama tabakalarının faz yapılarının analizi, RIGAKU marka, D/MAX-2200/PC model X-ışınları difraksiyonu (XRD, ARL X'TRA) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların mikroyapı ve yüzey morfolojisi JEOL JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobuna bağlı enerji dağılım spektrometresi (EDS) cihazı ile alaşımlı kaplamalara yapılan nokta analizleri ile kimyasal bileşim yarı kantitatif olarak belirlenmiştir. Kaplama kalınlığı ölçümleri Elektro Physik eXacto marka cihazla gerçekleştirilmiştir.

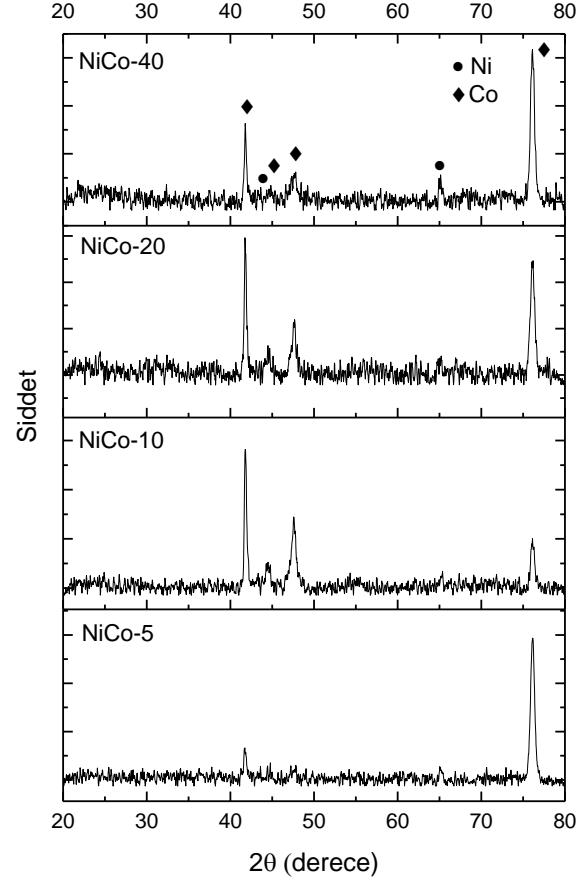
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. XRD analizi

Farklı Co miktarı içeren elektrolit içinde 3 A.dm<sup>-2</sup> akım yoğunluğunda gerçekleştirilen Ni-Co alaşımlı kaplamaların faz kompozisyonu Şekil 2'de verilen XRD sonuçları kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere 2θ=42, 44, 46 ve 77° bulunan pikler Co elementine aittir. Genel olarak elde edilen XRD pikleri incelendiğinde Co miktarı arttıkça 2θ=42° bulunan pikin şiddeti artmaktadır. Literatür bilgilerinde de mevcut olduğu gibi, Ni-Co alaşımında ağırlıkça % Co miktarının kristal yapıyı etkilediği bilinmektedir.

Ağırlıkça %49'dan daha düşük Co içeren nikelce zengin Ni-Co alaşımları YMK faz yapısına sahiptir (Golodnitsky vd., 2002). Co miktarı ağırlıkça %66'ya çıktığında ise (%66-81) HSP yapı oluşmaya başlamakta ve Ni-Co alaşımının kristal yapısı YMK+HSP kristalografik fazlarından oluşmaktadır. Co oranı %81'in üzerine çıkması durumunda ise HSP yapı daha dominant hale gelmektedir (Ma, vd., 2015). XRD sonucuna göre 2θ=42° (100) doğrultusunda bulunan pikin baskın olması Ni-Co alaşımının

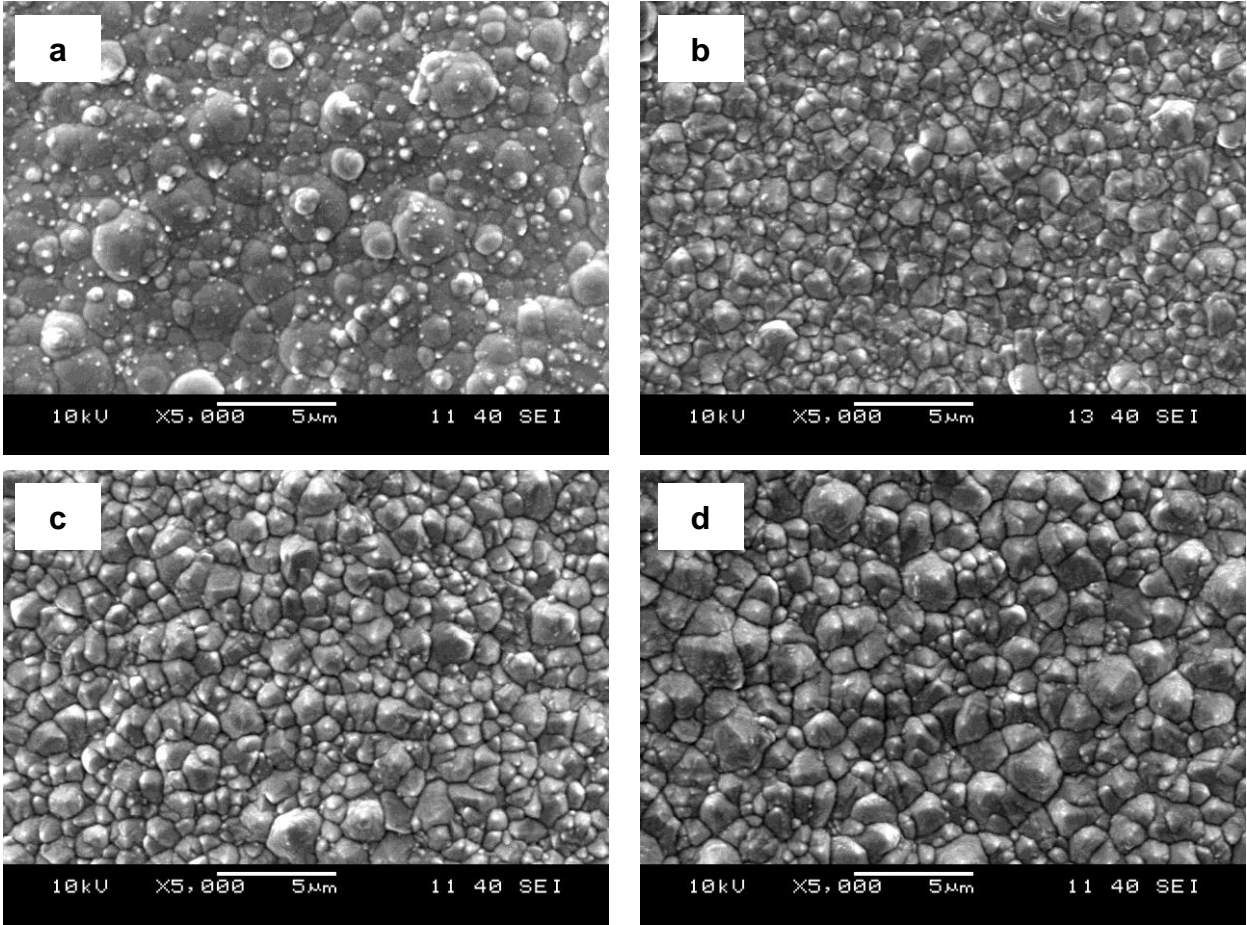
YMK ve HSP yapılardan oluştuğunu göstermektedir (Lupi vd., 2011). Elektrodepozit tekstürünün, büyüyen kristalografik düzlemlerin yüzey enerjisine bağlı olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Chen vd., 2006).



**Şekil 2.** XRD analizi

Şekil 3'de farklı kobalt konsantrasyonlarına sahip sülfat banyosunda hazırlanan Ni-Co alaşımlı kaplamalara ait yüzey morfolojileri verilmiştir. Ni/Co=0.25 olduğu elektrolit içinde hazırlanan kaplamada daha sıkı istifli kompakt bir yapının hakim olduğu ancak küçük partikül şeklindeki tanelerinde yapı içinde yayıldığı bir morfoloji görülmektedir (Şekil 3a). Artan Co miktarı ile, granüler bir yapının oluştuğu ve sınırların belirginleştiği daha homojen bir yapının oluştuğu söylenebilir (Şekil 3b). Ni/Co=1.0 olduğu elektrolit içinde yapılan kaplamada ise, tanelerin giderek büyüdüğü ve küçük çaptaki tanelerinde yoğun olduğu agrega görünümüne bir yüzey morfolojisi meydana gelmiştir (Şekil 3c). Co oranının en yüksek olduğu elektrolit içine yapılan kaplama sonucu, Ni-Co alaşımlı kaplama tabakasında ise agrega görünümüne tane çaplarının arttığı bir mikroyapı söz konusudur (Şekil 3d).





**Şekil 3.** Ni-Co alaşımlı kaplamaların SEM görüntüleri (a) NiCo-5 (b) NiCo-10 (c) NiCo-20 ve (d) NiCo-40

Sonuç olarak, Ni-Co alaşımlı kaplamaların yüzey morfolojisi büyük oranda alaşım kompozisyonu ile alakalıdır. Mikroyapıdaki değişimler, çekirdeklenme ve üzerinde kobalt ve nikel hidroksitlerinin etkisi ile ilişkilidir (Tury vd., 2006).

Ni-Co alaşımlarının EDS analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Ni-Co alaşımlı kaplamaların EDS sonuçları ve kaplama kalınlıkları

Numuneler	EDS sonuçları			Kalınlık (μm)
	% Ni	% Co	% Diğer	
NiCo-5	39.66	59.08	1.25	8.1 ±1.3
NiCo-10	15.56	82.49	1.95	11.9 ±1.3
NiCo-20	9.71	89.72	0.56	9.3 ±1.6
NiCo-40	7.27	91.24	1.48	12.5 ±3.8

Ni-Co alaşımlı kaplama elektrolitinde Co miktarının artışı ile birlikte, kaplama tabakasındaki % Co miktarında da artış gözlemlenmiştir. % Co artışı birlikte Ni-Co alaşımının % Ni oranında azalma tespit edilmiştir. Kaplamada ki kobaltın kütle oranı daima elektrolit içindeki  $Co^{+2}$  iyonlarının konsantrasyonundan daha fazladır. Bu durum daha önceki araştırmacıların sonuçları ile uyumlu olan Ni-Co alaşımlı kaplamanın sıra dışı davranışı ile ilgilidir (Wang vd., 2005; Srivastava vd., 2006). Bu sıra dışı davranışı açıklayan çeşitli gerekçeler vardır. Bunlar; metal iyonları ile metal hidroksitlerinin adsorpsiyonu arasındaki yarış, metal hidroksitin oluşumu ve kaplama yüzeyinin yakınındaki pH değerindeki değişimler olarak ifade edilebilir [43, 43]. Ni-Co alaşımlı kaplama tabakasının kimyasal kompozisyonu ve yüzey morfolojisi sabit akım yoğunluğu ve pH eşliğinde değişken elektrolit konsantrasyonu ile farklılık göstermektedir.

Ni-Co alaşımlı kaplama tabakalarının kalınlıklarına dair yapılan ölçümlerin sonuçları

Tablo 3’de verilmiştir. Genel olarak ortalama kaplama kalınlığı ~10 µm olarak tespit edilmiştir. Tabii bu kalınlığa etki eden faktörlerin başında akım yoğunluğu ve kaplama süresi gelmektedir. Artan akım yoğunluğu ve kaplama süresi ile kalınlık değeri artırılabilir. Endüstriyel kaplamalarda genel olarak elektrolitik kaplama kalınlıkları 8-12 µm arasında değişmektedir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak, elektrolitik kaplama metodu ile farklı Co konsantrasyonuna sahip banyolarda çelik malzeme yüzeyleri Ni-Co alaşımı ile kaplanmıştır. Co miktarındaki artışa paralel olarak alaşım tabakasının mikroyapısında değişimler gözlemlenmiştir. Artan Co oranı ile kaplama tabakasının kristal yapısındaki değişim yüzey morfolojisinde de kendini göstermiştir. Yüksek oranda Co oranı daha granüler bir yapının oluşmasına neden olmuştur. Aynı zamanda alaşım tabakasındaki Co miktarında elektrolit içinde ki Co artışı ile %90’ı aşmıştır. Elektrolit kompozisyonu Ni-Co alaşımında yüzey özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

#### Kaynaklar

Atuanya, C.U. ve Ekweghiariri, D.I., 2017. Experimental correlation between varying processing properties and wear behaviour of ternary Ni-Co-SiO<sub>2</sub> composites coating of mild steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88 (9-12), 2581–2588.

Bai, A. ve Hu, C.C., 2002. Effects of electroplating variables on the composition and morphology of nickel-cobalt deposits plated through means of cyclic voltammetry, *Electrochimica acta*, 47 (21), 3447-3456.

Bakhit, B. ve Akbari, A., 2013. Nanocrystalline Ni-Co alloy coatings: electrodeposition using horizontal electrodes and corrosion resistance, *Journal of Coatings Technology and Research*, 10 (2), 285-295.

Brenner, A., 1963. *Electrodeposition of Alloys: Principles and Practice: General survey, principles, and alloys of copper and silver (Vol. 1)*. Academic Press.

Chen, L., Wang, L., Zeng, Z. ve Xu, T., 2006. Influence of pulse frequency on the microstructure and wear resistance of electrodeposited Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 201 (3-4), 599-605.

Golodnitsky, D., Rosenberg, Y. ve Ulus, A., 2002. The role of anion additives in the electrodeposition of nickel-cobalt alloys from sulfamate electrolyte, *Electrochimica Acta*, 47 (17), 2707-2714.

Gomez, E., Pane, S., Alcobe, X. ve Valles, E. 2006. Influence of a cationic surfactant in the properties of cobalt-nickel electrodeposits. *Electrochimica acta*, 51 (26), 5703-5709.

Hassani, S., Raeissi, K. ve Golozar, M.A., 2008. Effects of saccharin on the electrodeposition of Ni-Co nanocrystalline coatings. *Journal of Applied Electrochemistry*, 38 (5), 689-694.

Ishikawa, M. Enomoto, H. Matsuoka, M. ve C. Iwakura, 1994. Effect of tetraborate ions on electrodeposition of nickel-copper alloy from a pyrophosphate bath, *Electrochimica Acta* 39 (14), 2153–2157.

Landolt, D., 2002. Electrodeposition science and technology in the last quarter of the twentieth century, *Journal of The Electrochemical Society*, 149 (3), 9-20.

Lupi, C. ve Pilone, D., 2001. Electrodeposition of nickel-cobalt alloys: the effect of process parameters on energy consumption. *Minerals Engineering*, 14 (11), 1403-1410.

Lupi, C., Dell’Era, A., Pasquali, M. ve Imperatori, P., 2011. Composition, morphology, structural aspects and electrochemical properties of Ni-Co alloy coatings, *Surface and Coatings Technology*, 205 (23-24), 5394-5399.

Ma, C., Wang, S.C. ve Walsh, F.C., 2015. Electrodeposition of nanocrystalline nickel-cobalt binary alloy coatings: a review, *Transactions of the IMF*, 93 (2), 104-112.

Oriňáková, R., Turoňová, A., Kladeková, D., Gálová, M. ve Smith, R.M., 2006. Recent developments in the electrodeposition of nickel and some nickel-based alloys, *Journal of Applied Electrochemistry*, 36 (9), 957-972.

Qiao, G., Jing, T., Wang, N., Gao, Y., Zhao, X., Zhou, J. ve Wang, W., 2006. Effect of current density on microstructure and properties of bulk nanocrystalline Ni-Co alloys prepared by JED, *Journal of The Electrochemical Society*, 153 (5), C305–C308.

Srivastava, M., Selvi, V.E., Grips, V.W. ve Rajam, K.S., 2006. Corrosion resistance and microstructure of electrodeposited nickel-cobalt alloy coatings, *Surface and Coatings Technology*, 201 (6), 3051-3060.

Tury, B., Lakatos-Varsányi, M. ve Roy, S. 2006. Ni-Co alloys plated by pulse currents. *Surface and Coatings Technology*, 200 (24), 6713-6717.

Wang, L., Gao, Y., Xue, Q., Liu, H. ve Xu, T., 2005. Microstructure and tribological properties of electrodeposited Ni-Co alloy deposits. *Applied Surface Science*, 242 (3-4), 326-332.

Yang, Y.Y. ve Deng, B., 2011. Preparation of Ni-Co alloy foils by electrodeposition. *Advances in Chemical engineering and science*, 1 (02), 27.

Zhuang, Y. ve Podlaha, E.J., 2000. NiCoFe ternary alloy deposition: I. an experimental kinetic study, *Journal of the Electrochemical Society*, 147 (6), 2231-2236.

## Birinci Mertebeden Düzgün Katsayılı Maksimal Hiponormal Operatör Genişlemeleri

*Maximal Hyponormal Operator Extensions of First-order with Smooth Coefficients*

Meltem SERTBAŞ\*

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 61080, Trabzon*

• Geliş tarihi / Received: 25.04.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.09.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 01.10.2018

### Öz

Bu çalışmada sonlu bir aralıkta tanımlı Hilbert uzay değerli fonksiyonlar uzayında tanımlı düzgün operatör katsayılı birinci mertebeden tüm maksimal hiponormal genişlemeleri verilmiştir. Bu genişlemeler sınır değerleri anlamındadır. Ayrıca maksimal hiponormal operatörlerin spektrum yapısı verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Diferensiyel operatör, Genişleme, Hiponormal operatör, Minimal ve maksimal operatörler, Spektrum

### Abstract

*In this study, it is given all maximal hyponormal extensions of first-order with smooth operator coefficients in Hilbert valued function space on a finite interval. These extension is by means of boundary values. Also, the structure of the spectrum of the maximal hyponormal extensions is investigated.*

**Keywords:** *Differential operator, Extension, Hyponormal operator, Minimal and maximal operators, Spectrum*

\* Meltem SERTBAŞ; m.erolsertbas@gmail.com; Tel: (0462) 377 25 77; orcid.org/0000-0001-9606-951X

## 1. Giriş

Diferensiyel operatörler teorisi, diferensiyel denklemler teorisindeki klasik problemlerden farklı birçok yeni problemin açık şekilde belirlenmesini ve çözümünü mümkün kılmaktadır. Bu anlamda, diferensiyel operatör teorisi, mekanik ve teorik fizik için oldukça önemli bir rol üstlenir. Üstelik, bu operatörlerin spektral analizi modern matematiksel fiziğin çok önemli bir dalıdır.

Eğer bir kapalı  $T: D(T) \subset H \rightarrow H$  lineer operatörü,  $D(T) \subset D(T^*)$  ve her  $x \in D(T)$  için  $\|T^*x\| \leq \|Tx\|$  eşitsizliğini sağlıyor ise  $T$  operatörüne hiponormaldir denir. Bu operatör sınıfı bir çok matematikçi tarafından çalışılmıştır (Putnam, 1972; Janas, 1989; Ota ve Schmüdgen, 1989; Stochel ve Szafraniec, 1989; Jin, 1993).

$L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında, birinci mertebeden lineer diferensiyel-operatör ifadesi tarafından tanımlanan minimal operatörün tüm normal genişlemelerinin sınır değer koşulları İsmailov (1998, 2003, 2006) tarafından verilmiştir. Potansiyelin düzgün olması durumunda da normal genişlemelerin ifadesi İsmailov ve Erol (2012) çalışmasında yer almaktadır. Ayrıca sınırsız operatör katsayılı maksimal hiponormal genişlemelerinin tanım kümelerinin yapısı İsmailov ve Ünlüyol (2010)'un çalışmasıdır. Bu makalede katsayının sabit operatör yerine düzgün operatör fonksiyonu ele alınmıştır.

Bu çalışma boyunca  $H$  sonlu boyutlu Hilbert uzayı,  $B(H)$  lineer sınırlı operatörlerin uzayı ve  $L^2 := L^2(H, (a, b))$ ,  $[a, b]$  aralığı üzerinde tanımlı  $H$  Hilbert uzay değerli fonksiyonların Hilbert uzayı olarak alınacaktır (Dunford ve Schwartz, 1963).

## 2. Maksimal Hiponormal Genişlemelerin Sınır Değerler Dilinde İfadesi

$L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında  $A(t)$  her  $t \in [a, b]$  için  $H$  Hilbert uzayında lineer sınırlı selfadjoint operatörler ve  $A(t): [a, b] \rightarrow B(H)$  operatör fonksiyonu güçlü sürekli olmak üzere,

$$l(u) = u'(t) + A(t)u(t) \quad (1)$$

şeklinde göstereceğimiz bir lineer diferensiyel-operatör ifadesi ele alalım.

Bu durumda  $A(t)$ ,  $t \in [a, b]$  operatör fonksiyonu  $[a, b]$  aralığı üzerinde düzgün sınırlı olup (1)'e

uygun Cauchy problemi iyi tanımlıdır. Bu diferensiyel ifadesinin  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında formal eşlenik ifadesi

$$l^+(u) = -u'(t) + A(t)u(t) \quad (2)$$

biçimindedir.

Şimdi  $l(\cdot)$  ve  $l^+(\cdot)$  diferensiyel ifadelerinin ürettiği maksimal ve minimal operatörlerini tanımlayalım. Bunun için,  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında yoğun tanımlı vektör-fonksiyonların lineer manifoldu üzerinde

$$D'_0 := \{u(t) \in L^2(H, (a, b)): u(t) = \sum_{k=1}^n \varphi_k(t)x_k, x_k \in H, n \in \mathbb{N}\}$$

$L'_0(u) = l(u)$ ,  $u \in D'_0$  operatörü tanımlansın.

$L'_0$  operatörünün  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayındaki kapanışına  $l(\cdot)$  diferensiyel ifadesi tarafından üretilen minimal operatör denir ve  $L_0$  sembolüyle gösterilir.

Benzer şekilde  $l^+(\cdot)$  diferensiyel ifadesinin  $L^2(H, (a, b))$  üzerinde ürettiği  $L_0^+$  minimal operatörünün tanımı verilebilir.  $L_0^+$  ( $L_0$ ) operatörünün  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayındaki eşlenik operatörüne  $l(\cdot)$  ( $l^+(\cdot)$ ) ifadesinin ürettiği maksimal operatör denir ve  $L$  ( $L^+$ ) şeklinde gösterilir (Berezansky, 1968; Gorbachuk 1991).

$L_0 \subset L$ ,  $L_0^+ \subset L^+$ ,  $D(L_0) = W_2^1(H, (a, b))$  ve  $D(L) = W_2^1(H, (a, b))$  olduğu açıktır.

**Teorem 2.1:**  $A(t)$  operatör fonksiyonu,  $(a, b)$  aralığı üzerinde güçlü türevlenebilir ve  $\|A'(t)\| \in L^2(a, b)$  ise, minimal operatörünün  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında formal hiponormal operatör olması için gerek ve yeter koşul  $(a, b)$  üzerinde hemen her yerde  $A'(t) \leq 0$  olmasıdır.

**İspat:**  $L_0$  minimal operatörü  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında formal hiponormal operatör olduğunu varsayalım. Bu takdirde her  $u \in D(L_0) \subset D(L^+)$  için

$$\|L_0 u(t)\|_{L^2}^2 - \|L^+ u(t)\|_{L^2}^2 = 2 \left[ (u'(t), A(t)u(t))_{L^2} - (A(t)u(t), u'(t))_{L^2} \right] \geq 0$$

eşitsizliği sağlanır. Bu eşitsizlikte  $u(t) = \varphi(t)x \in D(L_0)$ ,  $x \in H$ ,  $\bar{\varphi} = \varphi$ ,  $\varphi(a) = \varphi(b) = 0$  şeklinde tanımlanan özel vektör-fonksiyonları yukarıdaki eşitsizlikte yerine konulursa,

$$\int_a^b |\varphi(t)|^2 (A'(t)x, x) dt \leq 0$$

olur. Bu eşitsizlik reel değerli her  $\varphi \in W_2^1(a, b)$  fonksiyonları için doğru olduğundan (Giaquinta ve Hildebrand, 2004) kitabında Lemma 1.2.3.3 ve bu lemmanın ispatı kullanılarak hemen her yerde  $A'(t) \leq 0$  olduğu bulunur.

Tersine, hemen her yerde  $A'(t) \leq 0$ ,  $a < t < b$  ise,  $L_0$  minimal operatörünün  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında formal hiponormal operatör olduğu ilk eşitsizlikten kolaylıkla gösterilebilir.

**Not:**  $A(t)$  operatör fonksiyonunun,  $(a, b)$  aralığı üzerinde zayıf türevlenebilir olması durumunda da Teorem 2.1' in iddiası doğrudur.

**Teorem 2.2** (Schmüdgen, 2012):  $H$  Hilbert uzayında  $T: D(T) \subset H \rightarrow H$  yoğun tanımlı simetrik lineer operatör ve  $H_+ \subseteq Ker(T^* - i)$  ve  $H_- \subseteq Ker(T^* + i)$  kapalı alt uzayları için  $dim H_+ = dim H_-$  olsun.  $U: H_+ \rightarrow H_-$  bir izometrik lineer operatör olmak üzere

$$D(T_U) = D(\bar{T}) \dot{+} (E - U)H_+ \text{ ve } T_U(x + (E - U)y) = \bar{T}x + iy + iUy$$

şeklinde tanımlanan  $T_U$  operatörü  $T$  operatörünün kapalı simetrik bir genişlemesidir.  $T$  lineer operatörünün tüm kapalı simetrik genişlemeleri bu formdadır.

**Teorem 2.3:**  $A(t)$ , her  $t \in [a, b]$  için  $H$  Hilbert uzayında lineer sınırlı selfadjoint operatör,  $A(t): [a, b] \rightarrow B(H)$  operatör fonksiyonu güçlü türevlenebilir,  $(a, b)$  aralığı üzerinde hemen her yerde  $A'(t) \leq 0$  ve  $\|A'(t)\| \in L^2(a, b)$  olsun.  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında, (1) diferensiyel ifadenin ürettiği  $L_0$  minimal operatörünün her bir  $L_h$ ,  $L_0 \subset L_h \subset L$ , maksimal hiponormal genişlemeleri,  $W: H \rightarrow H$  üniter operatör ve  $W^*(A(b)W - WA(a))$  bir pozitif operatörü olmak üzere,

$$u(b) = Wu(a) \tag{3}$$

sınır koşuluyla ifade edilebilir. Buradaki  $W: H \rightarrow H$  üniter operatörü  $L_h$  maksimal hiponormal

operatörü tarafından tek türlü belirlenir, yani  $L_h = L_W$ .

Tersine,  $L$  maksimal operatörünün keyfi bir  $W: H \rightarrow H$  izometrik ve  $W^*(A(b)W - WA(a))$  pozitif operatör için (3) sınır koşullarını sağlayan  $u \in W_2^1(H, (a, b))$  vektör-fonksiyonlarının alt uzayı üzerine kısıtlanışı,  $L_0$  minimal operatörünün maksimal hiponormal genişlemesidir.

**İspat:**  $L_h$ ,  $L_0$  minimal operatörünün bir normal genişlemesi olsun. Bu durumda

$$Re(L_h)u(t) = A(t)u(t), u \in D(L_h),$$

$$Im(L_h)u(t) = -i \frac{d}{dt} u(t), u \in D(L_h),$$

operatörleri,  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında sırasıyla selfadjoint ve maksimal simetriktir. Varsayalım ki  $Im(L_h)$  operatörü maksimal simetrik olmasın. Her  $u, v \in D(L_h)$  için

$$(L_h u, v)_{L^2} - (u, L_h^* v)_{L^2} = -i[(Im(L_h)u, v)_{L^2} - (u, Im(L_h)v)_{L^2}] = (u(b), v(b))_H - (u(a), v(a))_H = 0$$

olduğundan  $Im(L_h)$  operatörü simetriktir. Ayrıca  $L_h$  kapalı operatör ve  $A(t)$  düzgün sürekli operatör fonksiyonu olduğundan  $Im(L_h)$  da kapalıdır. Teorem 2.2 ye göre  $Ker(Im(L) - i) = \{e^{t-a}f: f \in H\}$  ve  $Ker(Im(L) + i) = \{e^{a-t}f: f \in H\}$  olup  $H_+ \subseteq H$ ,  $H_- \subseteq H$  ve  $dim H_+ = dim H_-$  olan kapalı alt uzaylar olmak üzere bir  $U: e^{t-a}H_+ \rightarrow e^{a-t}H_-$  izometrik operatörü için

$$D(Im(L_h)) = D(L_h) = D(L_0) \dot{+} (E - U)\{e^{t-a}f: f \in H_+\}$$

şeklinde yazılabilir. Bu halde,  $H_a = \{u(a): u \in D(L_h)\}$  ve  $H_b = \{u(b): u \in D(L_h)\}$  olarak tanımlanan alt uzaylar için  $H_a = H_b$  olmak zorundadır. Şimdi  $f \in H$  vektörü  $H_a$  alt uzayına dik sıfırdan farklı olsun.  $u_f(t) = f \in L^2(H, (a, b))$  şeklindeki sabit fonksiyon için  $u_f \in D(L) \cap D(L^+)$  olur. Böylece  $L_h$  operatörünü tanım kümesi

$$D(\tilde{L}_h) = span\{D(L_h), u_f\}$$

şeklinde olan bir genişlemesini alalım. Bu durumda  $D(\tilde{L}_h) \subset D(\tilde{L}_h^*)$  ve

$$\|\tilde{L}_h u_f\|_{L^2} - \|\tilde{L}_h^* u_f\|_{L^2} = 0 \geq 0$$



eşiliğinden  $\tilde{L}_h$  genişlemesi hiponormal olur ki bu ise  $L_h$  lineer operatörünün maksimal hiponormal olmasıyla çelişir. Dolayısıyla  $Im(L_h)$  maksimal simetrik operatördür. Ayrıca bu simetrik genişleme

$$\dim Ker(Im(L) - i) = \dim Ker(Im(L) + i) = \dim H$$

olduğundan selfadjointtir (von Neumann, 1929).

Şimdi bu selfadjoint genişlemelerin sınır değerleri dilinde ifadesini verelim.

$$\mathcal{H} := H, \gamma_1(u) := \frac{u(a)+u(b)}{\sqrt{2}} \text{ ve } \gamma_2(u) := \frac{u(a)-u(b)}{i\sqrt{2}}$$

şeklinde tanımlanan  $(\mathcal{H}, \gamma_1, \gamma_2)$  üçlüsü Hilbert uzayında  $Im(L_0)$  minimal operatörü için bir sınır değerler uzayıdır.

Böylece  $Im(L_0)$  minimal operatörünün  $Im(L_h)$  selfadjoint genişlemesi ve bu genişleme tarafından tek türlü belirlenen  $W: H \rightarrow H$  üniter operatör mevcuttur öyle ki  $Im(L_h)$  selfadjoint genişlemesi

$$(W - E)\gamma_1(u) + i(W + E)\gamma_2(u) = 0$$

yani

$$u(b) = Wu(a), u \in D(L_h)$$

sınır koşuluyla belirlenir.

$L_h$  hiponormal operatör olduğundan her  $u \in D(L_h)$  için

$$\|L_h u\|_{L^2}^2 - \|L_h^* u\|_{L^2}^2 = 2 \left[ (u(b), A(b)u(b))_H - (u(a), A(a)u(a))_H - (A'(t)u(t), u(t))_{L^2} \right] \geq 0$$

eşitsizliği sağlanır. Bu sonuncu ve  $W_2^1(H, (a, b)) \subset D(L_h)$  olduğundan her  $v \in W_2^1(H, (a, b))$  için

$$(u(b), A(b)u(b))_H - (u(a), A(a)u(a))_H - (A'(t)(u - v)(t), (u - v)(t))_{L^2} \geq 0$$

olduğu elde edilir. Üstelik  $W_2^1(H, (a, b))$ ,  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında yoğun olduğundan her  $u \in D(L_h)$  için bir  $(v_n) \subset W_2^1(H, (a, b))$  dizi bulunabilir ki bu dizi  $u \in D(L_h)$  fonksiyonuna

yakınsaktır. Hipotezden  $\|A'(t)\| \in L^2(a, b)$  olup yukarıdaki eşitsizlikten her  $u \in D(L_h)$  için

$$(u(b), A(b)u(b))_H - (u(a), A(a)u(a))_H \geq 0$$

olup sınır koşulları yerine yazılırsa,

$$(W^*(A(b)W - WA(a))u(a), u(a))_H \geq 0$$

olup  $W^*(A(b)W - WA(a))$  operatörünün pozitif olduğu elde edilir.

$W: H \rightarrow H$  üniter operatörü  $W^*(A(b)W - WA(a)) \geq 0$  koşulu sağlamak üzere

$$L_W u = l(u),$$

$$D(L_W) = \{u \in W_2^1(H, (a, b)): u(b) = Wu(a)\}$$

şeklinde tanımlansın. Bu durumda  $L_W^*$ ,  $l^+(u) = -u'(t) + A(t)u(t)$  diferensiyel ifadenin ürettiği  $v(a) = W^*v(b)$ ,  $v \in D(L_W^*)$  sınır koşullarını sağlayan adjoint operatördür.  $W$  üniter operatör olduğundan  $D(L_W) = D(L_W^*)$  olup,  $L_W$  (1) ifadesinin ürettiği bir maksimal hiponormal genişlemedir.

### 3. Maksimal Hiponormal Genişlemelerin Spektrumu

Bu bölümde (1) ifadesinin ürettiği  $L_0$  minimal operatörün  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında,  $W: H \rightarrow H$  üniter operatör ve  $W^*(A(b)W - WA(a)) \geq 0$  koşulunun sağlanması durumunda (3) sınır değerleriyle verilen  $L_W$  maksimal hiponormal genişlemesinin spektrumu incelenecektir.

$U(t, s)$ ,  $t, s \in [a, b]$  lineer operatörlerin bir ailesi ve bu aile için

$$\begin{cases} U_t(t, s)f + A(t)U(t, s)f = 0, & t, s \in [a, b] \\ U(s, s)f = f, & f \in H \end{cases}$$

koşulları sağlansın (Krein, 1971; Daleckii ve Krein, 1974).

**Teorem 3.1:**  $L_W$  maksimal hiponormal genişlemesinin spektrumu

$$\sigma(L_W) = \left\{ \lambda \in \mathbb{C}: \lambda = \lambda_0 + \frac{2k\pi i}{b-a}, e^{-\lambda_0(b-a)} - \mu = 0 \text{ denkleminin çözümü}, \mu \in \sigma(W^*U(a, b)), k \in \mathbb{Z} \right\}$$

şeklindedir.

**İspat:**  $L_W$  maksimal hiponormal genişlemesinin spektrumu için

$$L_W u(t) = u'(t) + A(t)u(t) = \lambda u(t) + f(t), \\ u \in D(L_W), f(t) \in L^2(H, (a, b))$$

problemini ele alalım.  $L^2(H, (a, b))$  Hilbert uzayında bu diferensiyel denkleminin çözümleri

$$u_\lambda(t) = e^{\lambda(t-a)}U(t, a)f_0 + \int_a^t e^{\lambda(t-s)}U(t, s)f(s)ds, f_0 \in H$$

formundadır (Ismailov ve Erol, 2012). Bu durumda,  $u(b) = Wu(a)$  sınır değeri sağlandığından,

$$e^{\lambda(b-a)}U(b, a)f_0 + \int_a^b e^{\lambda(b-s)}U(b, s)f(s)ds = Wf_0$$

olup  $W: H \rightarrow H$  üniter operatör olduğundan

$$(W^*U(b, a) - e^{-\lambda(b-a)})f_0 \\ = -W^* \int_a^b e^{\lambda(a-s)}U(b, s)f(s)ds$$

eşitliği bulunur.  $\lambda \in \mathbb{C}$  sayısı  $L_W$  maksimal hiponormal operatörünün spektrumunda olması için

$$e^{-\lambda(b-a)} = \mu \in \sigma(W^*U(a, b))$$

bağıntısının sağlanması gerekli ve yeterlidir. Böylece  $\lambda \in \sigma(L_W)$  için

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{2k\pi i}{b-a}, e^{-\lambda_0(b-a)} \in \sigma(W^*U(a, b)), k \in \mathbb{Z}$$

şeklindeki genel yapı elde edilir.

**Sonuç 3.2:**  $L_W$  maksimal hiponormal genişlemesinin spektrumu boştan farklı ve sonsuzdur.

### Kaynaklar

Berezansky, Y.M., 1968. Expansions in Eigenfunctions of Self-adjoint operators. Providence, RI: Amer. Math. Soc..

Daleckii, J.U. and Krein, M.G., 1974. Stability of Solutions of Differential Equations in Banach Space. Providence, RI: Amer. Math. Soc..

Dunford, N. ve Schwartz, J.T., 1963. Linear Operators , vol. II. New York, Interscience.

Giaquinta, M. ve Hildebrand, S., 2004. Calculus of Variations I. Springer-Verlang Berlin, Heidelberg, Germany.

Gorbachuk, V.I. ve Gorbachuk, M.L., 1991. Boundary Value Problems for Operator Differential Equations. Dordrecht, Kluwer Academic.

Ismailov, Z. ve Erol, M., 2012. Normal Differential Operators of First-order with Smooth Coefficients. Rocky Mt. J. Math., 42, 633-642.

Ismailov, Z. ve Unluyol, E., 2010. Hyponormal Differential Operators with Discrete Spectrum. Opuscula Math., 30, 79-94.

Ismailov, Z.I., 1998. Discreteness of the Spectrum of the First Order Normal Differential Operators. Doklady Mathematics, Birmingham, USA, 57, 32-33.

Ismailov, Z.I., 2003. On the Normality of first-order differential operators. Bull. Pol. Acad. Sci, 51, 139-145.

Ismailov, Z.I., 2006. Compact Inverses of First-order Normal Differential Operators. J. Math. Anal. Appl., 320: 266-278.

Janas, J., 1989. On Unbounded Hyponormal Operators, Ark. Mat., 27, 273-281.

Jin, K.H., 1993. On unbounded Subnormal Operators. Bull. Korean Math. Soc., 30, 65-70.

Krein, S.G., 1971. Linear Differential Equations in Banach Space, Providence, RI: Amer. Math. Soc..

Ota, S. ve Schmüdgen, K., 1989. On Some Classes of Unbounded Operators, Integr. Equat. Oper. Th, 12, 211-226.

Putnam, C.R., 1972. The Spectra of Unbounded Hyponormal Operators. Proc. Amer. Math. Soc., 31, 458-464.

Smüdgen, K., 2012. Unbounded Self-adjoint Operators on Hilbert Space. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.

Stochel, J. ve Szafraniec, F.H., 1989. The Normal Part of an Unbounded Operator, Nederl. Akad. Wetensch. Proc. Ser. A, 92, 495-503.

Von Neumann, J., 1929. Allgemeine Eigenwerttheorie Hermitescher Funktional-operatoren. Math. Ann., 102, 49-131.

## The B-spline Collocation Approach for Coupled Klein-Gordon Equation

### İkili Klein-Gordon Denklemi İçin B-spline Kollokasyon Yaklaşımı

**Berat KARAAGAC\***

Adıyaman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Matematik Öğretmenliği Bölümü, 02100, Adıyaman

• Geliş tarihi / Received: 25.05.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.09.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 01.10.2018

#### Abstract

This research presents a new approach for obtaining numerical solutions of Coupled Klein Gordon equation using the collocation method which based on cubic B-spline base functions and finite element approximation. The main advantage of the collocation method is that the structure of the method is simple and the computational cost is low. It also provides an easy and simpler procedure for solving various problems involving differential equations that model real-world phenomena. In the current research, the temporal and spatial partial derivatives are discretized with using approximate solution which is formed linear combination of B-spline basis and time dependent parameters. With the help of the idea that approximate solution satisfy the PDE at collocation points, a new numerical scheme is constructed. The newly obtained numerical scheme tested on a model problem. Numerical results are compared with exact solution with the aid of the error norms  $L_2$  and  $L_\infty$  presented via tables. Additionally, graphical simulations of numerical solutions are presented.

**Keywords:** Coupled Klein Gordon equation, Collocation, cubic B-spline basis, Finite element method

#### Öz

Bu çalışma, kübik B-spline baz fonksiyonları ve sonlu eleman yaklaşımına temellenen kollokasyon yöntemi kullanılarak ikili Klein-Gordon denkleminin nümerik çözümlerini elde etmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Kollokasyon yönteminin başlıca avantajı, yöntemin yapısının basit ve hesaplama maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca, gerçek dünya olgularını modelleyen diferansiyel denklemleri içeren çeşitli problemlerin çözümünde kolay ve daha basit bir prosedür elde edilmesini sağlar. Mevcut çalışmada, zamansal ve konumsal kısmi türevler, B-spline bazların ve zamana bağlı parametrelerin doğrusal birleşiminden oluşan yaklaşık çözüm kullanılarak ayrıştırılır. Yaklaşık çözümün kısmi diferansiyel denklemi kollokasyon noktalarında sağlaması fikrinin yardımı ile yeni bir sayısal şema oluşturulur. Yeni elde edilen şema bir model problem üzerinde test edilir. Sayısal sonuçlar  $L_2$  ve  $L_\infty$  hata normları yardımı ile tam çözümlerle karşılaştırılır ve tablolar aracılığı ile sunulur. Ayrıca sayısal çözümlerin grafik benzetimleri sunulur.

**Anahtar kelimeler:** İkili Klein Gordon denklemi, Kollokasyon, Kübik B-spline bazları, Sonlu eleman yöntemi

\* Berat KARAAGAC; bkaraagac@adiyaman.edu.tr; Tel: (0416) 233 38 00; orcid.org/0000-0002-6020-3243

**1. Introduction**

It is necessary to utilise mathematical modelling to understand the nature, science and to improve engineering. The models allow us to predict future behaviours or unseen results of the natural phenomena. Most of process in the scenario of real-life are formulated by partial differential equations and with the aid of the solutions science are developed. Thus, for centuries many academics and practitioners have focused on solving PDEs which are important for theory or applications with numerous methods including numerical and exact solution techniques. However, encountering large-scale computational problems arising in science leads to the development of computer and efficient computational algorithms. Finite element method is one of the foremost techniques for computational solution of the PDEs. The basic principle lying under finite element approach is to divide problem domain into assembled several elements and uses an piecewise approximations with basis functions to the solution function.

Our main interest here is coupled Klein Gordon equation (Alagasen et al., 2004; Doha et al., 2014) which reads as:

$$\begin{aligned}
 u_{tt} &= u_{xx} - u + 2u^3 + 2uv \\
 v_t + 4u u_t &= v_x
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

and the boundary-initial conditions pertaining with the equation are ;

$$\begin{aligned}
 u(a,t) &= u_0, & v(a,t) &= v_0, \\
 u(b,t) &= u_1, & v(b,t) &= v_1 \\
 u(x,0) &= f(x), & v(x,0) &= h(x) \\
 u_t(x,0) &= g(x),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

The coupled Klein Gordon equation is one of the vital important equations seen in theoretical physics, solid state physics, nonlinear optics and optical solitons (Malomed et al.,2005; Mihalache, 2012). In the literature, there are some study on the coupled Klein Gordon equation. One can find knowledge in (Porsezian et al., 1995; Khusnutdinova, 2003; Liu et al., 2004; Biswas et al., 2014).

The objective of the present paper is to present a new perspective to obtain numerical solutions for coupled Klein Gordon Equation using a combination of collocation method and finite element approximation. For this study, cubic B-spline basis functions are chosen as piecewise

approximation. In order to demonstrate the handiness of collocation method numerical experiments are discussed and the the error norms  $L_2$  and  $L_2$  are calculated and presented by tables. Additionally simulations of numerical results are provided with graphically.

**2. Collocation Finite Element Formulation for Coupled Klein Gordon Equation**

To begin constructing collocation finite element scheme, let the interval  $[a,b]$  be partitioned by

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_{\ell-1} < x_{\ell} = b$$

with a uniform mesh discretization

$$h = x_{i+1} - x_i \quad (i = 0,1,2,\dots,\ell)$$

where  $\{x_i\}_{i=0}^{\ell}$  denotes nodal points of subintervals. Assume that we denote approximate solutions by  $u_h(x,t), v_h(x,t)$  and the exact solutions by  $u(x,t), v(x,t)$ , respectively. The approximate solution can be defined using cubic B-spline basis (Kutluay et al., 2016) over the interval by

$$\begin{aligned}
 u_h(x,t) &= \sum_{j=-1}^{\ell+1} \phi_j(x) \delta_j(t) \\
 v_h(x,t) &= \sum_{j=-1}^{\ell+1} \phi_j(x) \sigma_j(t)
 \end{aligned}$$

where  $j$  is the number of nodal points or we can say "edges of our elements",  $\delta_j(t)$  and  $\sigma_j(t)$  are shape parameter functions and  $\phi_j(x)$  are cubic B-spline basis functions (Dag et al., 2005; Prenter, 2008; Esen et al., 2015). Constructing the FEM formulation which is easier and using a systematic procedure , we make moving to a local coordinate system by  $\xi = x_m - x, (0 \leq \xi \leq h)$ . Now, we can denote all elements by a emblematic element such as  $[x_m, x_{m+1}]$ . Transformed cubic B-spline basis rewritten follows as

$$\begin{aligned}
 \phi_{m-1} &= (h - \xi)^3 / h^3, \\
 \phi_m &= (h^3 + 3h^2(h - \xi) + 3h(h - \xi)^2 - 3(h - \xi)^3) / h^3, \\
 \phi_{m+1} &= (h^3 + 3h^2\xi + 3h\xi^2 - 3\xi^3) / h^3, \\
 \phi_{m+2} &= \xi^3 / h^3.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Thus, we get the approximate solution with local coordinate given as

$$u_h(\xi) = \sum_{j=m-1}^{m+2} \phi_j(\xi) \delta_j(t), \quad v_h(\xi) = \sum_{j=m-1}^{m+2} \phi_j(\xi) \sigma_j(t). \tag{4}$$

Evaluation of  $u_h$  and  $v_h$ , its necessary derivatives seen in the Eq. (1) at nodal points  $x_i$  in terms of  $\delta(t)$  and  $\sigma(t)$  parameters as follows:

$$\begin{aligned} (u_h)_m &= \delta_{m-1} + 4\delta_m + \delta_{m+1} \\ (u_h)'_m &= \frac{3}{h}(\delta_{m+1} - \delta_{m-1}) \\ (u_h)''_m &= \frac{6}{h^2}(\delta_{m-1} - 2\delta_m + \delta_{m+1}) \end{aligned} \tag{5}$$

and

$$\begin{aligned} (v_h)_m &= \sigma_{m-1} + 4\sigma_m + \sigma_{m+1} \\ (v_h)'_m &= \frac{3}{h}(\sigma_{m+1} - \sigma_{m-1}). \end{aligned} \tag{6}$$

On substituting the approximate solutions into their places  $u_h$ ,  $v_h$  from Eqs.(5) - (6) and for linearization taking  $u = z_m$  at the Eq. (1), yields

$$\left\{ \begin{aligned} &\left(1 - (\Delta t)^2 \left(\frac{3}{h^2} - \frac{1}{2} + z_m^2\right)\right) \delta_{m-1}^{n+1} + \left(4 + (\Delta t)^2 \left(\frac{6}{h^2} + 2 - 4z_m^2\right)\right) \delta_m^{n+1} + \left(1 - (\Delta t)^2 \left(\frac{3}{h^2} - \frac{1}{2} + z_m^2\right)\right) \delta_{m+1}^{n+1} - z_m (\Delta t)^2 \sigma_{m-1}^{n+1} + (-4z_m (\Delta t)^2) \sigma_m^{n+1} \\ &+ (-z_m (\Delta t)^2) \sigma_{m+1}^{n+1} = \left(2 + (\Delta t)^2 \left(\frac{3}{h^2} - \frac{1}{2} + z_m^2\right)\right) \delta_{m-1}^n + \left(8 - (\Delta t)^2 \left(\frac{6}{h^2} + 2 - 4z_m^2\right)\right) \delta_m^n + \left(2 + (\Delta t)^2 \left(\frac{3}{h^2} - \frac{1}{2} + z_m^2\right)\right) \delta_{m+1}^n \\ &+ z_m (\Delta t)^2 (\sigma_{m-1}^n + 4\sigma_m^n + \sigma_{m+1}^n) - (\delta_{m-1}^{n-1} - 2\delta_m^{n-1} + \delta_{m+1}^{n-1}) \\ &4z_m \delta_{m-1}^{n+1} + 16z_m \delta_m^{n+1} + 4z_m \delta_{m+1}^{n+1} + \left(1 + \frac{3\Delta t}{2h}\right) \sigma_{m-1}^{n+1} + 4\sigma_m^{n+1} + \left(1 - \frac{3\Delta t}{2h}\right) \sigma_{m+1}^{n+1} = 4z_m (\delta_{m-1}^n + 4\delta_m^n + \delta_{m+1}^n) + \left(1 + \frac{3\Delta t}{2h}\right) \sigma_{m-1}^n + 4\sigma_m^n + \left(1 - \frac{3\Delta t}{2h}\right) \sigma_{m+1}^n \end{aligned} \right. \tag{7}$$

where  $\Delta t = \frac{T}{n}$  is time step and  $h = \frac{b-a}{N}$  is space step. Also, values of  $z_m$  at nodal points are  $z_m = \delta_{m-1}^n + 4\delta_m^n + \delta_{m+1}^n$ .

Therefore; a linear differential equation system including  $(2N + 2)$  equations and  $(2N + 6)$

$$\begin{aligned} \delta_{m-1} + 4\delta_m + \delta_{m+1} &= \frac{6}{h^2}(\delta_{m-1} - 2\delta_m + \delta_{m+1}) - (\delta_{m-1} + 4\delta_m + \delta_{m+1}) \\ &+ 2z_m^2(\delta_{m-1} + 4\delta_m + \delta_{m+1}) + 2z_m(\sigma_{m-1} + 4\sigma_m + \sigma_{m+1}) \\ (\dot{\sigma}_{m-1} + 4\dot{\sigma}_m + \dot{\sigma}_{m+1}) &+ 4z_m(\delta_{m-1} + 4\delta_m + \delta_{m+1}) = \frac{3}{h}(\sigma_{m+1} - \sigma_{m-1}) \end{aligned}$$

where  $\dot{\sigma}$  and  $\ddot{\delta}$  denotes first and second order derivative respect to time parameter, respectively. Then, if the central difference formula for  $\ddot{\delta}$ , Crank-Nicolson formula for  $\dot{\sigma}$  and  $\dot{\delta}$ , at the forward finite difference approximation for  $\delta$  and  $\sigma$  are used, respectively

$$\begin{aligned} \ddot{\delta} &= \frac{\delta^{n+1} - 2\delta^n + \delta^{n-1}}{(\Delta t)^2} & \dot{\sigma} &= \frac{\sigma^{n+1} - \sigma^n}{\Delta t} \\ \dot{\delta} &= \frac{\delta^{n+1} - \delta^n}{\Delta t} & \sigma &= \frac{\sigma^{n+1} + \sigma^n}{2} \\ \delta &= \frac{\delta^{n+1} + \delta^n}{2} \end{aligned}$$

and the terms are collected, we get the following differential equations given in terms of parameters  $\delta$  and  $\sigma$

unknown parameters  $(\delta_j$  and  $\sigma_j)$  is obtained for  $m = 0, 1, 2, \dots, N$ . For a solvable system, we need to eliminate four unknown parameters from Eq. (7) using boundary conditions as

$$\begin{aligned} \delta_{-1} &= u(a = x_0, t) - 4\delta_0 - \delta_1 \\ \delta_{N+1} &= u(b = x_N, t) - \delta_{N-1} - 4\delta_N \\ \sigma_{-1} &= v(a = x_0, t) - 4\sigma_0 - \sigma_1 \\ \sigma_{N+1} &= v(b = x_N, t) - \sigma_{N-1} - 4\sigma_N \end{aligned}$$

with the help of the elimination of the parameters, the above system reduces to  $(2N + 2)$  equations and  $(2N + 2)$  unknown parameters. Before starting to solve the reduced system, an initial vector should be get. For this situation, initial conditions of the problem and approximate solution will help us. Using values of initial conditions  $u(x, 0)$  and  $v(x, 0)$  together with approximate solution  $u_h$  and  $v_h$  at the initial time

$$\begin{aligned} t = 0, \text{ we get} \\ u(x, 0) &= \delta_{m-1}^0 + 4\delta_m^0 + \delta_{m+1}^0 \\ v(x, 0) &= \sigma_{m-1}^0 + 4\sigma_m^0 + \sigma_{m+1}^0 \end{aligned} \tag{8}$$

after elinating  $\delta_{-1}, \sigma_{-1}, \delta_{N+1}$  and  $\sigma_{N+1}$  from the (8).

Now we have a solvable system again. Then, firstly we can obtain initial vector  $\delta_j^0$  and  $\sigma_j^0$  parameters solving (8), then  $\delta_j^{n+1}$  and  $\sigma_j^{n+1}$  unknown parameters can be obtain with the help of  $\delta_j^n$  and  $\sigma_j^n$  known parameters solving (7) via any algorithm, iteratively.

However, when we check the system of differential equations given in Eq. (7), we encounter an imaginary time given as  $\delta_j^{-1}$ . In order to deal with this imaginary time, we are going to use the initial condition given with the fist derivative respect to time together with centrel difference formula for first derivative such as

$$u_t(x, 0) = u_h(x, 0) = \frac{\delta^{n+1} - \delta^{n-1}}{2\Delta t}.$$

Thus, using the above calculations yields to express time step  $\delta_j^{-1}$  in terms of  $\delta_j^1$  at initial time  $t = 0$ .

### 3. Numerical Results for Coupled Klein Gordon Equation

In the previous section, we have obtained a new numerical scheme for the coupled Klein Gordon

equation with the aid of collocation finite element method. Now, we are going to obtain numerical results for the problem. As the exact solution is known, it leads to calculate absolute and maximum errors i. e.  $L_2$  and  $L_\infty$  with given formula

$$\begin{aligned} L_2 &= \|u - U_N\|_2 = \sqrt{h \sum_{j=0}^N |u_j - (U_N)_j|^2}, \\ L_\infty &= \|u - U_N\|_\infty = \max_{0 \leq j \leq N} |u_j - (U_N)_j|. \end{aligned} \tag{9}$$

Consider the coupled Klein Gordon equation given in (1) with initial-boundary conditions (1). In equation (2),

$$\begin{aligned} u_0 &= \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \operatorname{sech}\left(\frac{a-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right) & v_0 &= \frac{-2c}{1-c} \operatorname{sech}^2\left(\frac{a-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right), \\ u_1 &= \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \operatorname{sech}\left(\frac{b-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right) & v_1 &= \frac{-2c}{1-c} \operatorname{sech}^2\left(\frac{b-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right) \\ f(x) &= \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \operatorname{sech}\left(\frac{x}{\sqrt{1-c^2}}\right) & h(x) &= \frac{-2c}{1-c} \operatorname{sech}^2\left(\frac{y}{\sqrt{1-c^2}}\right) \\ g(x) &= \frac{c}{\sqrt{1-c^2}} \operatorname{sech}\left(\frac{x}{\sqrt{1-c^2}}\right) \tanh\left(\frac{x}{\sqrt{1-c^2}}\right) \end{aligned} \tag{10}$$

and exact solutions of the such equation are

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \operatorname{sech}\left(\frac{x-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right) \\ v(x, t) &= \frac{-2c}{1-c} \operatorname{sech}^2\left(\frac{x-ct}{\sqrt{1-c^2}}\right). \end{aligned}$$

The domain of the problem is given as  $x \in [0, 1]$  and final time is  $T = 1$ . The error norms  $L_2$  and  $L_\infty$  are presented for various values of space step and time step and  $c = 0.5$  in Tables 1-4 respectively. The first and the second tables are prepared for  $u(x, t)$ , and the others are for  $v(x, t)$ . In tables from 1 to 4, the comparisons of numerical values with exact ones are shown for different partition numbers varying from  $N = 2$  to 100 and time step size for from  $\Delta t = 0.05$  to 0.001. It is observed from the error norms presented in tables that numerical results are matching with exact results. As a result of using collocation method, increasing of collocation points leads to improved convergence. Together with decreasing of time step the best solutions can be obtained when  $N = 100$  and  $\Delta t = 0.001$ .



**Table 1:** The error norms  $L_2$  of  $u(x,t)$  for various values of  $\Delta t$  and  $h$

$\Delta t$	0.05	0.025	0.01	0.001
2	$2.1117483 \times 10^{-2}$	$2.1426286 \times 10^{-2}$	$2.1650394 \times 10^{-2}$	$2.180175 \times 10^{-2}$
4	$5.549822 \times 10^{-3}$	$5.631996 \times 10^{-3}$	$5.753750 \times 10^{-3}$	$5.855224 \times 10^{-3}$
8	$2.504682 \times 10^{-3}$	$1.827506 \times 10^{-3}$	$1.577408 \times 10^{-3}$	$1.534394 \times 10^{-3}$
10	$2.325349 \times 10^{-3}$	$1.472896 \times 10^{-3}$	$1.086567 \times 10^{-3}$	$9.89403 \times 10^{-4}$
20	$2.205067 \times 10^{-3}$	$1.166034 \times 10^{-3}$	$5.40442 \times 10^{-4}$	$2.57481 \times 10^{-4}$
40	$2.193843 \times 10^{-3}$	$1.131230 \times 10^{-3}$	$4.70152 \times 10^{-4}$	$8.2750 \times 10^{-5}$
80	$2.191563 \times 10^{-3}$	$1.124399 \times 10^{-3}$	$4.60123 \times 10^{-4}$	$5.1228 \times 10^{-5}$
100	$2.191318 \times 10^{-3}$	$1.123533 \times 10^{-3}$	$4.59071 \times 10^{-4}$	$4.9008 \times 10^{-5}$

**Table 2:** The error norms  $L_\infty$  of  $u(x,t)$  for various values of  $\Delta t$  and  $h$

$\Delta t$	0.05	0.025	0.01	0.001
2	$2.9864630 \times 10^{-2}$	$3.0301350 \times 10^{-2}$	$3.0618280 \times 10^{-2}$	$3.083234 \times 10^{-2}$
4	$7.867893 \times 10^{-3}$	$8.272647 \times 10^{-3}$	$8.588344 \times 10^{-3}$	$8.803457 \times 10^{-3}$
8	$4.352221 \times 10^{-3}$	$2.930330 \times 10^{-3}$	$2.288971 \times 10^{-3}$	$2.175901 \times 10^{-3}$
10	$4.141703 \times 10^{-3}$	$2.580601 \times 10^{-3}$	$1.647240 \times 10^{-3}$	$1.385919 \times 10^{-3}$
20	$3.869133 \times 10^{-3}$	$2.054752 \times 10^{-3}$	$9.58485 \times 10^{-4}$	$3.66860 \times 10^{-4}$
40	$3.804672 \times 10^{-3}$	$1.938773 \times 10^{-3}$	$8.11771 \times 10^{-4}$	$1.36876 \times 10^{-4}$
80	$3.800903 \times 10^{-3}$	$1.915686 \times 10^{-3}$	$7.77534 \times 10^{-4}$	$9.0673 \times 10^{-5}$
100	$3.802503 \times 10^{-3}$	$1.913958 \times 10^{-3}$	$7.73942 \times 10^{-4}$	$8.5674 \times 10^{-5}$

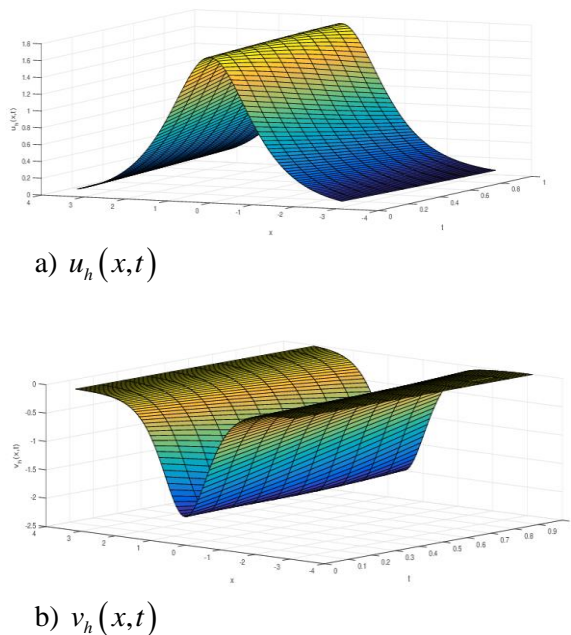
**Table 3:** The error norms  $L_2$  of  $v(x,t)$  for various values of  $\Delta t$  and  $h$

$\Delta t$	0.05	0.025	0.01	0.001
2	$10.3601227 \times 10^{-2}$	$10.5591671 \times 10^{-2}$	$10.6966514 \times 10^{-2}$	$10.7875384 \times 10^{-2}$
4	$29.279325 \times 10^{-2}$	$7.241041 \times 10^{-3}$	$3.2369624 \times 10^{-3}$	$3.3519732 \times 10^{-2}$
8	$1.2139186 \times 10^{-2}$	$8.449216 \times 10^{-3}$	$8.137684 \times 10^{-3}$	$8.985218 \times 10^{-3}$
10	$1.1747715 \times 10^{-2}$	$6.680046 \times 10^{-3}$	$5.184316 \times 10^{-3}$	$5.759141 \times 10^{-3}$
20	$1.2597028 \times 10^{-2}$	$6.411526 \times 10^{-3}$	$2.545129 \times 10^{-3}$	$1.377738 \times 10^{-3}$
40	$1.3153466 \times 10^{-2}$	$6.863859 \times 10^{-3}$	$2.749699 \times 10^{-3}$	$3.52275 \times 10^{-4}$
80	$1.3370683 \times 10^{-2}$	$1.0113778 \times 10^{-2}$	$2.882678 \times 10^{-3}$	$2.68306 \times 10^{-4}$
100	$1.3407588 \times 10^{-2}$	$7.062596 \times 10^{-3}$	$2.902427 \times 10^{-3}$	$2.76644 \times 10^{-4}$

**Table 4:** The error norms  $L_\infty$  of  $v(x,t)$  for various values of  $\Delta t$  and  $h$

$\Delta t$	0.05	0.025	0.01	0.001
2	$14.65143 \times 10^{-2}$	$14.93292 \times 10^{-2}$	$15.12735 \times 10^{-2}$	$15.25588 \times 10^{-2}$
4	$4.0917020 \times 10^{-2}$	$1.2582690 \times 10^{-2}$	$4.7002710 \times 10^{-2}$	$5.0253780 \times 10^{-3}$
8	$2.3677950 \times 10^{-2}$	$1.5536220 \times 10^{-2}$	$1.2350990 \times 10^{-2}$	$1.4263810 \times 10^{-3}$
10	$2.0550620 \times 10^{-2}$	$1.2550750 \times 10^{-2}$	$7.819947 \times 10^{-3}$	$9.439125 \times 10^{-3}$
20	$2.3965290 \times 10^{-2}$	$1.2097710 \times 10^{-2}$	$4.611566 \times 10^{-3}$	$2.274541 \times 10^{-3}$
40	$2.5724430 \times 10^{-2}$	$1.3491740 \times 10^{-2}$	$5.399549 \times 10^{-3}$	$6.62613 \times 10^{-4}$
80	$2.6256080 \times 10^{-2}$	$1.7316930 \times 10^{-2}$	$5.701815 \times 10^{-3}$	$5.12884 \times 10^{-4}$
100	$2.6373460 \times 10^{-2}$	$1.3948110 \times 10^{-2}$	$5.741665 \times 10^{-3}$	$5.42177 \times 10^{-4}$

Additionally, 3D graphics of  $u$  and  $v$  are exhibited in figure 1 for parameters  $\Delta t = 0.1, N = 100$  and  $c = 0.5$ . The plotting domain of the problem is chosen as  $[-\pi, \pi]$ . Initially, the peak of the waves related with  $u(x, t)$ ,  $v(x, t)$  is 1.732051 and  $-2.0$ , respectively. Over time, each wave moves toward to right side of the  $x$  axis with a negligible reduction for  $u$  and a negligible raise for  $v$ . At time  $T = 1$ , the waves are located at nearly  $x = 0.502656$  and  $x = 0.565488$  with their peak points are 1.715227 and  $-1.984599$ , respectively.



**Figure 1:** Numerical solutions of  $u$  and  $v$  values

#### 4. Conclusion

As a conclusion, in this study a numerical technique is outlined for obtaining the numerical solutions of coupled Klein Gordon equation. The approximate solutions are produced using cubic B-spline piecewise basis functions and collocation finite element method. The newly calculated error norms and figures of numerical result show that collocation FEM is quite suitable, admissible and efficient tool for solving such problems. It also has wide applicability to different partial differential equations arising in various fields of science and engineering.

#### References

- Alagesan, T., Chung Y. and Nakkeeran K., 2004. Soliton solutions of coupled nonlinear Klein-Gordon equations. *Chaos, Solitons & Fractals*, 21(4), 879-882.
- Biswas, A., Kara, A. H., Moraru, L., Bokhari, A. H., and Zaman, F. D. 2014. Conservation laws of coupled Klein-Gordon equations with cubic and power law nonlinearities. *Proceedings of the Romanian academy, Series A*, 15(2), 123-129.
- Dağ, I., Irk, D., and Saka, B. 2005. A numerical solution of the Burgers' equation using cubic B-splines. *Applied Mathematics and Computation*, 163(1), 199-211.
- Doha, E. H., Bhrawy, A. H., Baleanu, D., and Abdelkawy, M. A. 2014. Numerical treatment of coupled nonlinear hyperbolic Klein-Gordon equations. *Rom. J. Phys*, 59(3-4), 247-264.
- Esen, A., Tasbozan, O., Ucar Y. and Yagmurlu, N. M. 2015. A B-spline collocation method for solving fractional diffusion and fractional diffusion-wave equations. *Tbilisi Mathematical Journal*, 8.2, 181-193.
- Khusnutdinova, K. R., and Pelinovsky, D. E. (2003). On the exchange of energy in coupled Klein-Gordon equations. *Wave Motion*, 38(1), 1-10.
- Kutluay, S., Ucar, Y., and Yagmurlu, N. M. 2016. Numerical solutions of the modified Burgers equation by a cubic B-spline collocation method. *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 39.4, 1603-1614.
- Liu, S., Fu, Z., Liu, S., and Wang, Z. (2004). The periodic solutions for a class of coupled nonlinear Klein-Gordon equations. *Physics Letters A*, 323(5-6), 415-420.
- Malomed, B. A., Mihalache, D., Wise, F., and Torner, L. 2005. Spatiotemporal optical solitons. *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics*, 7(5), R53.
- Mihalache, D. 2012. Linear and nonlinear light bullets: recent theoretical and experimental studies. *Rom. J. Phys*, 57(1-2), 352-371.
- Porsezian, K., and Alagesan, T. 1995. Painlevé analysis and complete integrability of coupled Klein-Gordon equations. *Physics Letters A*, 198(5-6), 378-382.
- Prenter, P. M. 2008. *Splines and variational methods*. Courier Corporation.

## Some New Inequalities for Lipschitz Functions via a Functional

*Bir Fonksiyonel yardımı ile Lipschitz Fonksiyonları için Bazı Yeni Eşitsizlikler*

İmdat İŞCAN<sup>1,a</sup>, Cuma ALTUNSOY<sup>2,b</sup>, Mahir KADAKAL<sup>\*1,c</sup>

<sup>1</sup>Giresun University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, 28200, Giresun

<sup>2</sup>National Education Ministry, Mustafa Kemal Secondary School, Mathematics Teacher, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 25.06.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.09.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 10.10.2018

### Abstract

This study is about getting some new integral inequalities for Lipschitz functions by using a functional defined via a Lipschitz function. Here, some new Hermite-Hadamard (H-H) type inequalities are first found out as a corollary of main theorems. Afterwards, some new H-H type inequalities for Lipschitz functions by means of inequalities which are used for p-convex functions are obtained.

**Keywords:** Convex function, Lipschitz function, p-Convex function

### Öz

*Bu çalışma, bir Lipschitz fonksiyonu yardımı ile tanımlanmış bir fonksiyonel kullanarak Lipschitz fonksiyonları için bazı yeni integral eşitsizliklerin elde edilmesi ile ilgilidir. Burada ilk önce, bazı yeni Hermite-Hadamard tipi eşitsizlikler, ana teoremlerin bir sonucu olarak ortaya çıkarılacaktır. Daha sonra ise, p-konveks fonksiyonlar için kullanılan eşitsizlikler aracılığıyla Lipschitz fonksiyonları için yeni Hermite Hadamard tipi eşitsizlikler elde edilecektir.*

**Anahtar kelimeler:** Konveks fonksiyon, Lipschitz fonksiyonu, p-konveks fonksiyon

\*c Mahir KADAKAL; mahirkadakal@gmail.com; Tel: (0454) 310 52 65; orcid.org/0000-0002-0240-918X

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-6749-0591

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-1865-9842

**1. Preliminaries and Fundamentals**

**Definition 1.1.** (Pečarić, 1992) A function  $f: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  is said to be convex if the following inequality

$$f(\lambda u + (1 - \lambda)v) \leq \lambda f(u) + (1 - \lambda)f(v)$$

holds for all  $u, v \in I$  and  $\lambda \in [0,1]$ . If the above inequality reverses, then the  $f$  is said to be concave on the interval  $I \neq \emptyset$ .

The most important integral inequalities for convex functions are the Hermite-Hadamard inequalities. The following double integral inequalities are well known as the Hermite-Hadamard inequalities in the literature.

**Theorem 1.2.** Given  $f: [u, v] \rightarrow \mathbb{R}$  be a convex function. Then the following inequalities

$$f\left(\frac{u+v}{2}\right) \leq \frac{1}{v-u} \int_u^v f(x)dx \leq \frac{f(u) + f(v)}{2}$$

are known as the H-H type inequalities.

Some refinements of the H-H inequalities have been extensively studied by a number of authors (Hadamard, 1893; Dragomir and Pearce, 2002; Dragomir, 2002) and they have obtained some new refinements of the H-H inequalities.

**Definition 1.3.** (İşcan, 2014) Given  $I \subset \mathbb{R} \setminus \{0\}$  be a real interval.  $f: I \rightarrow \mathbb{R}$  is called harmonically convex function, if

$$f\left(\frac{uv}{\lambda u + (1 - \lambda)v}\right) \leq \lambda f(v) + (1 - \lambda)f(u)$$

for all  $u, v \in I$  and  $\lambda \in [0,1]$ . If the above inequality is reversed, then  $f$  is called harmonically concave function.

**Definition 1.4.** (İşcan, 2016) Given  $I \subset (0, \infty)$  be a real interval and  $p \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ .  $f: I \rightarrow \mathbb{R}$  is called a  $p$ -convex function, if

$$f\left([\lambda u^p + (1 - \lambda)v^p]^{\frac{1}{p}}\right) \leq \lambda f(u) + (1 - \lambda)f(v)$$

for all  $u, v \in I$  and  $\lambda \in [0,1]$ . If this inequality is reversed, then the function  $f$  is said to be  $p$ -concave.

From this definition, we can easily see that for  $p = 1$  and  $p = -1$ ,  $p$ -convexity reduces to

ordinary convexity and harmonically convexity of functions defined on the interval  $I \subset (0, \infty)$ , respectively.

H-H type inequalities for the  $p$ -convex function are following:

**Theorem 1.5.** (İşcan, 2016) Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  be a  $p$ -convex function,  $p \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ ,  $u, v \in I, u < v$ . If  $f \in L[u, v]$ , then we obtain

$$\begin{aligned} f\left(\left[\frac{u^p + v^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}\right) &\leq \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx \\ &\leq \frac{f(u) + f(v)}{2}. \end{aligned}$$

These inequalities are sharp (Kunt and İşcan, 2017a,b,c).  $f$  is said to be  $p$ -concave, if these inequalities are reversed. We refer the reader to the recent papers related to  $p$ -convexity (Kunt and İşcan, 2017d; Latif et al, 2015; Niculescu, 2000; Yang and Tseng, 1999) and references therein.

**Definition 1.6.** (Roberts and Varberg, 1973)  $f: I \rightarrow \mathbb{R}$  is said to satisfy the Lipschitz condition if there is a constant  $M > 0$  such that

$$|f(u) - f(v)| \leq M|u - v|, \quad \forall u, v \in I.$$

**Theorem 1.7.** (Roberts and Varberg, 1973) If the function  $f: I \rightarrow \mathbb{R}$  is convex, then  $f$  satisfies a Lipschitz condition on any closed interval  $[a, b]$  contained in the interior  $I^\circ$  of  $I$ . Consequently, the function  $f$  is absolutely continuous on the interval  $[a, b]$  and continuous on  $I^\circ$ .

**Theorem 1.8.** (Dragomir et al, 2000) Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  be an  $M$ -Lipschitzian mapping on  $I$  and  $\alpha, \beta \in I, \alpha < \beta$ .  $H$  is defined on the interval  $[0,1]$  by

$$H(t) = \frac{1}{\beta - \alpha} \int_\alpha^\beta f\left(tx + (1 - t)\frac{\alpha + \beta}{2}\right) dx$$

is a Lipschitzian function for all  $t \in [0,1]$ .  $H(t)$  is an  $\left(\frac{M(\beta - \alpha)}{4}\right)$ -Lipschitzian function.

**Theorem 1.9.** (Dragomir et al, 2000) Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  be an  $M$ -Lipschitzian mapping on the interval  $I$  and  $\alpha, \beta \in I, \alpha < \beta$ . Then

$$\left| \frac{f\left(t\beta + (1-t)\frac{\alpha+\beta}{2}\right) + f\left(t\alpha + (1-t)\frac{\alpha+\beta}{2}\right)}{2} - H(t) \right| \leq \frac{Mt}{3}(\beta - \alpha)$$

for all  $t \in [0,1]$ .

In (İşcan et al., 2018), the authors established the following H-H type inequalities for Lipschitzian functions.

**Theorem 1.10.** Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  be an  $M$ -Lipschitzian function on the interval  $I$  of real numbers and  $\alpha, \beta \in I$ ,  $\alpha < \beta$ . Then following inequalities hold for  $p \geq 1$ :

i)

$$\left| \frac{f(\alpha) + f(\beta)}{2} - \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx \right| \leq 2M|\beta^p - \alpha^p|^{\frac{1}{p}} \frac{p^2}{(p+1)(2p+1)} \tag{1}$$

ii)

$$\left| \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx - f\left(\left[\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}\right) \right| \leq 2M\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{p}} |\beta^p - \alpha^p|^{\frac{1}{p}} \frac{p}{p+1}. \tag{2}$$

**2. Main Results**

**Theorem 2.1.** Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  be an  $M$ -Lipschitzian function on the interval  $I$ ,  $a, b \in I$ ,  $a < b$ . For  $p \geq 1$ , the function defined by

$$H_p(t)$$

$$= \frac{p}{b^p - a^p} \int_a^b \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\frac{a^p + b^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx,$$

fulfills the following Hölder condition

$$|H_p(t_2) - H_p(t_1)| \leq \frac{pM}{p+1} \left(\frac{b^p - a^p}{2}\right)^{\frac{1}{p}} |t_2 - t_1|^{\frac{1}{p}}$$

for  $t_1, t_2 \in [0,1]$ .

**Proof.** Let  $t_1, t_2 \in [0,1]$ . We have the following inequality:

$$\begin{aligned} & |H_p(t_2) - H_p(t_1)| \\ &= \frac{p}{b^p - a^p} \left| \int_a^b \frac{f\left(\left[t_2x^p + (1-t_2)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \right. \\ & \quad \left. - \int_a^b \frac{f\left(\left[t_1x^p + (1-t_1)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \right| \\ &\leq \frac{pM}{b^p - a^p} \\ &\quad \times \int_a^b \left| \frac{\left[t_2x^p + (1-t_2)\frac{a^p + b^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}} - \left[t_1x^p + (1-t_1)\frac{a^p + b^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} \right| dx. \end{aligned}$$

Set  $A_p := \frac{a^p + b^p}{2}$ . For  $0 \leq x < y$  and  $0 < \alpha \leq 1$  if we use the following well known inequality,

$$y^\alpha - x^\alpha \leq (y - x)^\alpha,$$

we have

$$\begin{aligned} |H_p(t_1) - H_p(t_2)| &\leq \frac{pM}{b^p - a^p} \\ &\times \int_a^b \left| \frac{\left[t_2x^p + (1-t_2)A_p\right]^{\frac{1}{p}} - \left[t_1x^p + (1-t_1)A_p\right]^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} \right| dx \\ &\leq \frac{pM}{b^p - a^p} \int_a^b \frac{|t_2x^p + (1-t_2)A_p - (t_1x^p + (1-t_1)A_p)|^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx \\ &= \frac{pM}{b^p - a^p} |t_2 - t_1|^{\frac{1}{p}} \int_a^b \frac{|x^p - A_p|^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx. \tag{3} \end{aligned}$$

Now, let us calculate the integral in inequality (3). Since

$$x^p - A_p = 0 \Rightarrow x = M_p = \left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)^{\frac{1}{p}},$$

One can write the following equality:

$$\begin{aligned} & \int_a^b \frac{|x^p - A_p|^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx \\ &= \int_a^{M_p} \frac{(A_p - x^p)^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx + \int_{M_p}^b \frac{(x^p - A_p)^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx. \tag{4} \end{aligned}$$

It is easily seen that

$$\begin{aligned} & \int_a^{M_p} \frac{(A_p - x^p)^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx \\ &= \int_{M_p}^b \frac{(x^p - A_p)^{\frac{1}{p}}}{x^{1-p}} dx \\ &= \frac{\left(\frac{b^p - a^p}{2}\right)^{\frac{p+1}{p}}}{p+1} \end{aligned} \tag{5}$$

Finally, if we put equality (5) in inequality (3), we obtain the desired result:

$$|H_p(t_2) - H_p(t_1)| \leq \frac{pM}{p+1} \left(\frac{b^p - a^p}{2}\right)^{\frac{1}{p}} |t_2 - t_1|^{\frac{1}{p}}.$$

**Corollary 2.2.** For  $p = 1$ , the inequality

$$|H_1(t_2) - H_1(t_1)| \leq M \frac{b-a}{4} |t_2 - t_1|$$

holds. This coincides with the Theorem 1.8.

**Theorem 2.3.** Given the function  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$   $M$ -Lipschitzian on the interval  $I$ ,  $a, b \in I$ ,  $a < b$  and  $p \geq 1$ . Then, the following inequality

$$\left| \frac{f\left(\left[ta^p + (1-t)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{2} + \frac{f\left(\left[tb^p + (1-t)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{2} - H_p(t) \right| \leq 2Mt^{\frac{1}{p}} |b^p - a^p|^{\frac{1}{p}} \frac{p^2}{(p+1)(2p+1)}$$

inequality holds for all  $t \in [0,1]$ .

**Proof.** Let

$$u = \left[ta^p + (1-t)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}$$

and

$$v = \left[tb^p + (1-t)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}.$$

If we make the changes of variable

$$z = \left[tx^p + (1-t)\left(\frac{a^p + b^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}$$

with  $\frac{a^p + b^p}{2} = A_p$  in the equality

$$H_p(t) = \frac{p}{b^p - a^p} \int_a^b \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)A_p\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx,$$

then we have

$$\begin{aligned} H_p(t) &= \frac{p}{t(b^p - a^p)} \int_a^b \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)A_p\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} t dx \\ &= \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(z)}{z^{1-p}} dz. \end{aligned}$$

Now, using inequality (1) with  $\alpha = [ta^p + (1-t)A_p]^{\frac{1}{p}} = u$ ,  $\beta = [tb^p + (1-t)A_p]^{\frac{1}{p}} = v$  and  $v^p - u^p = t(b^p - a^p)$ , we obtain the following inequality:

$$\left| \frac{f(u) + f(v)}{2} - \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(z)}{z^{1-p}} dz \right| \leq 2Mt^{\frac{1}{p}} |b^p - a^p|^{\frac{1}{p}} \frac{p^2}{(p+1)(2p+1)}.$$

**Corollary 2.4.** The results obtained for  $p = 1$  coincides with Theorem 1.9.

**Proposition 2.5.** Given  $f: I \subset (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  a  $p$ -convex on  $I$  and  $\alpha, \beta \in I$ ,  $\alpha < \beta$ . Then, for all  $t \in [0,1]$ , the following inequalities

i)

$$\begin{aligned} H_p(t) &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \\ &\leq \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx, \end{aligned}$$

ii)

$$\begin{aligned} H_p(t) &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \\ &\geq f(M_p) \end{aligned}$$



and

$$\begin{aligned}
 f(M_p) &\leq H_p(t) \\
 &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \\
 &\leq \frac{f\left(\left[t\alpha^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{2} \\
 &\quad - \frac{f\left(\left[t\beta^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{2} \tag{6}
 \end{aligned}$$

hold with  $M_p = \left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)^{\frac{1}{p}}$ .

**Proof.** (i) Since  $f$  is a  $p$ -convex function, we have

$$\begin{aligned}
 H_p(t) &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx \\
 &\leq \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \left[ \frac{tf(x)}{x^{1-p}} + \frac{(1-t)f(M_p)}{x^{1-p}} \right] dx \\
 &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \left[ t \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx + (1-t)f(M_p) \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{x^{1-p}} dx \right] \\
 &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \left[ t \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx + (1-t)f(M_p) \frac{\beta^p - \alpha^p}{p} \right].
 \end{aligned}$$

By using the H-H inequality for  $p$ -convex functions, we get the following inequality:

$$\begin{aligned}
 H_p(t) &\leq t \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx \\
 &\quad + (1-t) \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx \\
 &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f(x)}{x^{1-p}} dx.
 \end{aligned}$$

(ii) Let

$$u = \left[ t\beta^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right) \right]^{\frac{1}{p}}$$

and

$$v = \left[ t\alpha^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right) \right]^{\frac{1}{p}}.$$

If we make the change of variable

$$z = \left[ t\alpha^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right) \right]^{\frac{1}{p}}$$

with  $\frac{\alpha^p + \beta^p}{2} = A_p$  in the equality

$$\begin{aligned}
 H_p(t) &= \frac{p}{\beta^p - \alpha^p} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{f\left(\left[tx^p + (1-t)\left(\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right)\right]^{\frac{1}{p}}\right)}{x^{1-p}} dx,
 \end{aligned}$$

then we have

$$H_p(t) = \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(z)}{z^{1-p}} dz.$$

By using the H-H inequality for  $p$ -convex function

$$\begin{aligned}
 H_p(t) &= \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(z)}{z^{1-p}} dz \\
 &\geq f\left(\left[\frac{u^p + v^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}\right) \\
 &= \left(\left[\frac{\alpha^p + \beta^p}{2}\right]^{\frac{1}{p}}\right) \\
 &= f(M_p)
 \end{aligned}$$

is obtained. Consequently one gets

$$f(M_p) \leq \frac{p}{v^p - u^p} \int_u^v \frac{f(z)}{z^{1-p}} dz \leq \frac{f(u) + f(v)}{2}$$

which is equivalent inequality (6).

### 3. References

Dragomir, S.S., Cho, Y.J. and Kim, S.S., 2000. Inequalities of Hadamard's type for Lipschitzian mappings and their applications. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 245, 2, 489-501.

Dragomir, S.S., 2002. On Some New inequalities of Hermite-Hadamrd Type for  $m$ -Convex Functions, *Tamkang. J. of Math.*, 33(1), 45-55.

Dragomir, S.S., Pearce, C.E.M., 2002. *Selected Topics on Hermite-Hadamard Inequalities and Applications*, RGMIA Monograph, Victoria University, online: <http://rgmia.org/monographs.php>

- Hadamard, J., 1893. Etude sur les proprietes des fonctions entieres en particulier d'une fonction consideree par Riemann. *J. Math. Pures Appl.* 58, 171-215.
- İşcan, İ., 2014. Hermite-Hadamard type inequalities for harmonically convex functions. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 43(6), 935-942.
- İşcan, İ., 2016. Ostrowski type inequalities for p-convex functions, *New Trends in Mathematical Sciences*, NTMSCI 4, No. 3, 140-150.
- İşcan, İ., Altunsoy, C. and Kadakal, M., 2018. New inequalities on Lipschitz functions, *International Conference on Mathematics and Mathematics Education, Ordu University, Ordu*, 27-29 Haziran, Book of abstracts, s.169.
- Kunt, M. and İşcan, İ., 2017a. On new Hermite-Hadamard-Fejer type inequalities for p-convex functions via fractional integrals, *Communication in Mathematical Modeling and Applications*, 2(1), 1-15.
- Kunt, M. and İşcan, İ., 2017b. Hermite-Hadamard-Fejer type inequalities for p-convex functions, *Arab J. Math. Sci.*, 23(2), 215-230.
- Kunt, M. and İşcan, İ., 2017c. Hermite-Hadamard-Fejer type inequalities for p-convex functions via fractional integrals. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, Doi: 10.1007/s40995-017-0352-4
- Kunt, M. and İşcan, İ., 2017d. Hermite-Hadamard type inequalities for p-convex functions via fractional integrals. *Moroccan J. Pure Appl. Anal.*, 3(1), 22-35.
- Latif, M.A. Dragomir S. S. and Momaniat, E., 2015. Some Fejer type integral inequalities for geometrically-arithmetically-convex functions with applications, *RGMIA Research Report Collection*, 18, Article 25, 18 pp.
- Niculescu, C.P., 2000. Convexity according to the geometric mean. *Math. Inequal. Appl.*, 3(2), 155-167.
- Pečarić, J., Proschan, F. and Tong, Y. L., 1992. *Convex Functions, Partial Orderings and Statistical Applications*. Academic Press, Inc., 469 pp, Boston.
- Roberts, A.W. and Varberg, D.E., 1973. *Convex Functions*. Academic Press, 300 pp, New York.
- Yang, G.S. and Tseng, K.L., 1999. On certain integral inequalities related to Hermite-Hadamard inequalities. *J. Math. Anal. Appl.*, 239, 180-187.

## Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi

### Investigation of The Effect of Changes In Ground Water Level On The Seismic Behaviour of A Cantilever Retaining Wall

Utku KÖKTAN<sup>\*a</sup>, Gökhan DEMİR<sup>b</sup>, M. Kerem ERTEK<sup>c</sup>

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

• Geliş tarihi / Received: 26.02.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 24.10.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 31.10.2018

#### Öz

Bu çalışmada bir istinat duvarının, zeminde farklı yeraltı su seviyeleri olması durumundaki dinamik davranışı zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak gerçeğe daha yakın bir analiz yapabilmek amacıyla radyasyonel sönüm etkileri ve dalga yayılım etkileri dikkate alınmıştır. Bu amaçla duvardan belirli bir uzaklıkta zemin ortamı sonlandırılarak zemin ortamının sonundaki düzlemsel serbest yüzeylere viskoz sanal sınırlar uygulanmıştır. Zemin ile duvar arasındaki davranışı daha doğru modelleyebilmek için özel arayüzey elemanları kullanılmıştır. İstinat duvarına ait analizler MIDAS GTS NX sonlu elemanlar yazılımı ile bu yazılımın kütüphanesinde bulunan San Fernando Pacoima Dam depremine ait kayıt kullanılarak yapılmıştır. Zemin-yapı etkileşiminin çözümünde doğrudan çözüm yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde duvarın dinamik davranışı yerdeğiştirmeler ve gerilmeler cinsinden irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde zemin-yapı etkileşiminin istinat duvarının sismik davranışında çok büyük önem arz ettiği, yeraltı su seviyesindeki değişimlerin duvarın hareketini ve duvar üzerinde oluşan gerilmeleri önemli mertebelerde etkilediği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** İstinat Duvarı, Yeraltı Suyu, Zemin-Yapı Etkileşimi

#### Abstract

In this study, dynamic behavior of a retaining wall for various ground water levels through soil is investigated in nonlinear time-history analysis using finite element method. In order to do a more realistic analysis taking soil-structure interaction into account, the effects of radiational damping and wave propagation were considered. For this purpose, soil medium has been capped off within a definite distance from the wall and virtual viscous boundaries were applied to the vertical free surfaces at both ends of the medium. Special interface elements were used to better model the behavior between soil and the wall. The analyses of the retaining wall subject to the study were carried out by using the finite element software MIDAS GTS NX and the record of San Fernando Pacoima Dam earthquake which exist in the library of the software. Direct solution method has been used in the analysis of soil-structure interaction. The dynamic behavior of the wall in the sequel of the analyses were probed in terms of stresses and displacements. In consequence of the results obtained, it has been seen that the soil-structure interaction has a great importance in the seismic behavior of the retaining wall and the variations in groundwater level significantly effect the movement of the wall and the stresses emanating on the wall.

**Keywords:** Retaining Wall, Ground Water, Soil-Structure Interaction

<sup>\*a</sup> Utku KÖKTAN; utku.koktan@omu.edu.tr; Tel: (0362) 312 19 19; orcid.org/0000-0002-8287-9586

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-3734-1496

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-8395-0321

## 1. Giriş

İstinat duvarları, köprülerde kenar ayakları, rıhtım duvarları, bir binanın bodrum katlarını oluşturan duvarlar, halatlı bölme duvarlar, kuşaklı kazılar, mekanik olarak stabilize edilmiş duvarlar vb. tiplerde, sismik açıdan aktif alanların her yerinde kullanılmaktadır. Bu yapılar; liman ve rıhtımların, taşıma sistemlerinin, nakil hatlarının ve diğer tesislerin genellikle ana unsurlarını oluşturmaktadır. Depremlerin, istinat duvarlarında genellikle kalıcı hasarlar meydana getirdiği açıkça bilinen bir gerçektir. Geçmişte meydana gelen depremlerin istinat duvarları üzerinde meydana getirdiği bu hasarlar zaman zaman ihmal edilebilir mertebelerde kalmış, zaman zamansa istinat duvarının yıkılması sonucu önemli fiziksel ve maddi kayıplara hatta can kayıplarına sebebiyet vermiştir (Kramer, 1996).

Yüz ölçümünün büyük kısmı tektonik açıdan Afrika, Arap, Anadolu ve Avrasya levhalarının çarpışmaları sonucu ortaya çıkan karmaşık deformasyonların meydana getirdiği Akdeniz Deprem Kuşağı içerisinde bulunan ülkemizde meydana gelen sismik aktiviteler “Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)”, “Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)” ve “Batı Anadolu Gerilme Yapısı” olmak üzere üç ana oluşum tarafından kontrol edilmektedir (Canbay vd., 2008). Bu sebeple yüzölçümünün %42’si 1. derece, %24’ü 2. derece, %18’i 3. derece, %12’si 4. derece ve %4’ü ise 5. derece deprem kuşağında yer alan ülkemizde, tüm mühendislik yapıları gibi istinat duvarlarının da depreme karşı dayanıklı olarak inşa edilmesi büyük önem arz etmektedir. (Özmen vd., 1997).

İstinat duvarlarıyla alakalı literatür incelendiğinde duvarın sismik davranışını belirlemek amacıyla pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaları, 1) izin verilebilir yerdeğiştirmelere göre ortaya koyulmuş limit denge yaklaşımları, 2) duvarın rijit olduğu ve yer hareketinin oldukça düşük bir yoğunlukta olduğu kabulüyle dolgu zeminini lineer elastik veya viskoelastik tarzda tanımlayan yaklaşımlar ve 3) genellikle sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak zemin davranışını doğrusal elastik veya doğrusal olmayan elastoplastik şekilde tanımlayan yaklaşımlar olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür (Veletsos ve Younan, 1994a).

Birinci kategorinin temelini Mononobe ve Okabe tarafından ortaya konulan ve kendi isimleriyle anılan Mononobe-Okabe (M-O) yöntemi ve çeşitli türevleri oluşturmaktadır (Okabe, 1926; Mononobe, 1929; Seed ve Whitman, 1970;

Richards Jr ve Elms, 1979; Nadim ve Whitman, 1983; Steedman ve Zeng, 1990). Son yıllarda birtakım araştırmacılar tarafından M-O yöntemi ve türevlerini geliştirmek adına çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Mylonakis vd., 2007; Kloukinas vd., 2015). İkinci kategoride yer alan çalışmalara ise pek çok araştırmacı katkı sunmuştur (Matsuo, 1960; Wood, 1973, 1975; Arias vd., 1981; Veletsos ve Younan, 1994a; Veletsos ve Younan, 1994b, 1997; Younan ve Veletsos, 2000; Jung vd., 2010; Papazafeiropoulos ve Psarropoulos, 2010; Kloukinas vd., 2012; Papagiannopoulos vd., 2015; Vrettos vd., 2016). Üçüncü kategoride yer alan ve ilk iki kategorideki çalışmaların içerdiği sadeleştirici yaklaşımlardan doğan eksiklerin giderilmesi amacıyla SEM temelli analizlerle duvarın dinamik davranışını açıklamaya yönelik pek çok çalışma literatürde mevcuttur (Wu ve Finn, 1999; Theodorakopoulos vd., 2001; Gazetas vd., 2004; Psarropoulos vd., 2005; Lanzoni vd., 2007; Madabhushi ve Zeng, 2007; Mylonakis vd., 2007; Callisto ve Soccodato, 2009; Al Atik ve Sitar, 2010; Evangelista vd., 2010; Giarlelis ve Mylonakis, 2011; Athanasopoulos-Zekkos vd., 2013; Çakır, 2013, 2014b, 2014a; Çakır ve Dağ, 2015; Çakır, 2017).

İstinat duvarlarının sismik performansını değerlendirmeye yönelik olarak genellikle birinci kategoride yer alan izin verilebilir yerdeğiştirmelere dayalı geleneksel yöntemler tercih edilmektedir. Sözde statik yöntemler olarak bilinen bu yöntemlerin en popülerleri ise M-O yöntemidir. M-O yöntemi, sözde statik şartlardaki statik Coulomb teorisinin geliştirilmiş bir şeklidir. M-O yöntemi Coulomb aktif veya pasif kamasına sözde statik ivmeler uygulanarak statik durumda duvara etkiyen itkinin deprem karakterine bağlı olarak büyütülmesi prensibine dayanır. Daha sonra kamanın kuvvet dengesi yazılarak sözde statik zemin itkisi elde edilir. M-O yöntemi kullanışlı bir yöntem olup analizlerde güvenli tarafta kalınmasını sağlamaktadır ancak pek çok basitleştirici ve sadeleştirici yaklaşım içeren bu yöntem dalga yayılım etkilerini ve zemin-yapı etkileşimini ihmal etmektedir. Bu sebeple güvenli tarafta kalmayı sağlasa dahi duvarın deprem etkisi altındaki gerçek davranışını açıklamakta zaman zaman eksik kalabilmektedir. Oysa istinat duvarlarının statik koşullardaki davranışının dahi zemin-yapı etkileşiminin karmaşık bir örneği olduğu bilinmektedir. Öte yandan mevcut yönetmelikler de istinat duvarlarının sismik tasarımı hakkında sözde statik yaklaşımları içeren çözümler benimsemiş olup zemin-yapı etkileşimi problemlerine dair herhangi bir öneri içermemektedir (IS-1893, 2002; EAK-2000, 2003;

Eurocode-8, 2003). Ülkemizde yürürlükte olan ve bina türü yapılar için kullanılan deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) de bahsi geçen karmaşık etkilere dair herhangi bir yaklaşım içermemektedir (Çakır ve Kara, 2015).

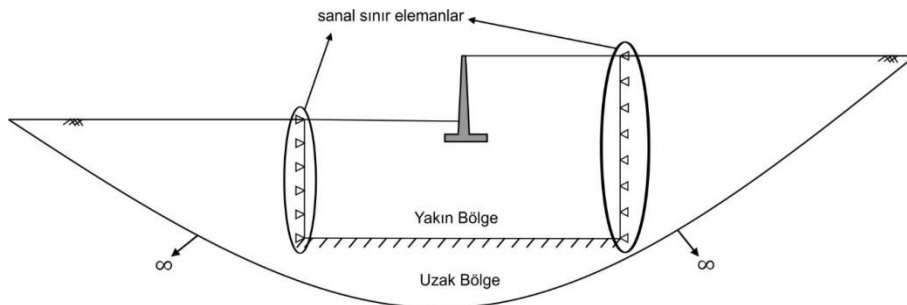
Gerek literatürdeki çalışmalar gerekse yönetmelikler ışığında geoteknik mühendislerince gerçekleştirilen tasarımlar incelendiğinde istinat duvarlarının sismik tasarımında genellikle M-O yöntemini temel alan sözde statik yöntemlere dayalı çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Öte yandan zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak gerçekleştirilen pek az çalışma literatürde yer almaktadır. Ayrıca zeminde yeraltı suyu bulunması durumunda duvarın davranışını ortaya koymaya yönelik çalışmaların azlığı da dikkat çekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada bir konsol istinat duvarı-zemin sisteminin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak duvarın sismik davranışı belirlenmiştir. Bu amaçla zeminin kuru olması ve 3 farklı yeraltı su seviyesine sahip olması durumları için zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Yeraltı su seviyesindeki değişimlerin duvarın sismik davranışına etkileri elde edilmiş ve elde edilen bu sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Duvarın davranışı yerdeğiştirmeler ve gerilmeler üzerinden irdelenmiştir. Zemin-yapı etkileşimini değerlendirmek amacıyla oluşturulan sonlu elemanlar modelinin sonundaki düzlemsel serbest yüzeylere viskoz sınır elemanlar uygulanmış ve daha doğru bir model oluşturabilmek adına duvar ile zemin arasına özel arayüzey elemanları uygulanmıştır.

## 2. Oluşturulan Sonlu Elemanlar Modeli

Yapılan çalışmada istinat duvarı-zemin etkileşim sisteminin sismik performansını belirlemek amacıyla ilk olarak sistemin iki boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Zemin-yapı etkileşimi problemlerinde modellenecek zemin ortamı genellikle yarı sonsuz olarak düşünülür.

Yerkürenin sonsuz bir ortam olmadığı açıktır. Dış yüzeyinde gerilmeler meydana gelmeyen çok büyük bir küredir (Kramer, 1996). Yukarıda anlatılan yarı sonsuz zemin ortamı, zeminin doğrusal olmayan davranış sergilediği yapıya yakın bölgelerde “yakın bölge” ve zeminin doğrusal davranış sergilediği bölümlerde “uzak bölge” olarak iki kısma ayrılabilir (Wolf ve Song, 1996).

Yakın bölge olarak tanımlanan zemin kütlesi sonlu elemanlar ile modellenilebilmektedir. Uzak bölge için ise iki yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi, hareketten etkilenen tüm zemin kütesinin yani yapı sistemini etkileyecek zemin ortamının tamamının sonlu elemanlar ile modellenmesidir. Bu durumda zemin ortamının sınırında deprem dalgalarının tamamen sönümlenmesi ve yerdeğiştirmelerin sıfırlanması veya sıfıra yakınsaması gerekmektedir. Modellenen zemin ortamı ne kadar büyük olursa matematik modelin gerçeğe yakınlığı da o derece artacaktır. Ancak analize konu olan zemin ortamının büyüklüğü, kullanılan eleman miktarını ve çözülmesi gereken denklem sayısını arttıracığından çözüm maliyetini de arttıracaktır. Bu şekilde her ne kadar gerçekçi bir çözüm yapılmış olsa da bu yöntemin pratik amaçlar için kullanımı oldukça güçtür (Nofal, 1998). İkinci yöntem ise, yarı sonsuz zemin ortamının sonunda zeminin sürekliliğini temsil edecek şekilde sanal sınırlar kullanılmasıdır. Bu uygulamayla yayılmaya bağlı sönüm ve yansıma gibi etkilerin dikkate alınabilmesi mümkündür. Sanal sınır kullanımları, oluşturulan zemin modelinin boyutlarını küçülttüğü için işlem kolaylığı sağlamakta ve çözüm maliyetini düşürmektedir. Buna ilaveten zemin-yapı etkileşiminin doğru şekilde temsil edilmesine olanak sağlayarak gerçekçi bir çözüm sunmaktadır (Çakır, 2013). Bu çalışmada, oluşturulan modelde yakın bölge zemininin sonundaki düzlemsel serbest yüzeye viskoz sanal sınırlar uygulanmıştır (Lysmer ve Kuhlemeyer, 1969).

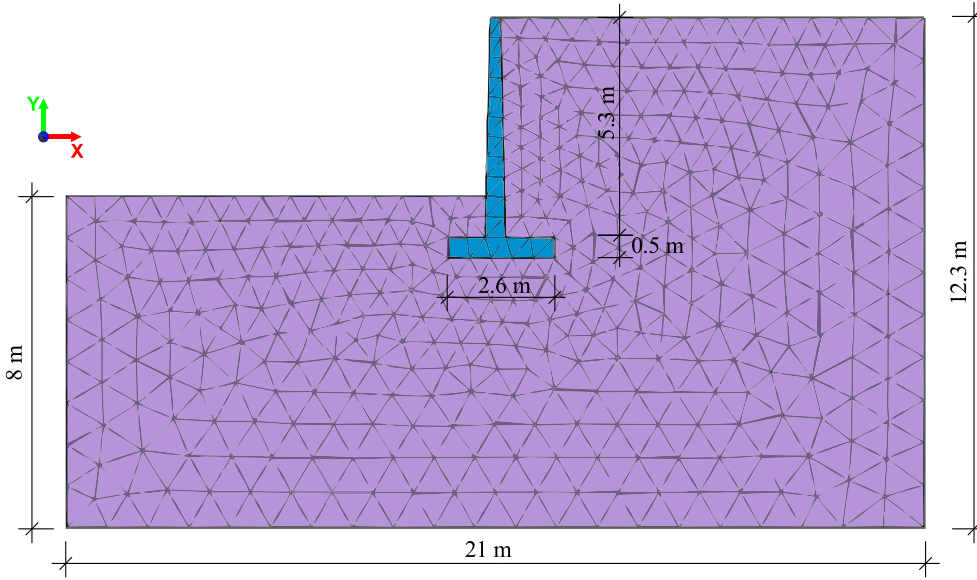


Şekil 1. Oluşturulan modelin şematik gösterimi

Analizlerde kullanılan istinat duvarının geometrisi; düşey gövde plağının yüksekliği 5.3 metre ve duvarın mesnetlendiği yatay temel plağının yüksekliği 0.5 metre olmak üzere toplam 5.8 metre olup duvarın mesnetlendiği yatay temel plağının genişliği 2.6 metredir. Duvarın ön ampatman genişliği 0.9 metre ve arka ampatman genişliği 1.2 metredir. Ayrıca duvar genişliği üst noktada 0.25 metre ve temel taban plağına birleştiği alt noktada 0.5 metre olacak şekilde ele alınmıştır.

Oluşturulan sonlu elemanlar modelinde zemin ve duvar plane strain elemanlarla modellenmiştir. Oluşturulan modelde dolgu ve temel zemininin malzeme özellikleri aynıdır. Zemin ile duvar arasındaki davranışı daha doğru modelleyebilmek adına Coulomb'un sürtünme yasasını temel alan

doğrusal olmayan özel arayüzey elemanları kullanılmıştır. Ayrıca zeminin doğrusal olmayan davranışı Mohr-Coulomb bünye modeliyle temsil edilmiştir. Zemin-yapı etkileşimi probleminin çözümünde doğrudan çözüm yöntemlerinden sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Literatüre bakıldığında modellenecek yarı sonsuz zemin ortamının duvar yüksekliğinin 10 katı olacak şekilde ele alınması uygun görülmektedir (Veletsos ve Younan, 1994a; Psarropoulos vd., 2005). Bu çalışma özelinde, analiz sürelerini kısaltmak adına bir takım parametrik çalışma yapılmıştır ve Şekil 2'de önerilen modelin sonuçlarıyla literatürde önerilen boyutların arasında anlamlı bir farklılık meydana gelmediği görülerek analizler zaman tasarrufu sağlamak adına bu model üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli

### 3. Sismik Analiz

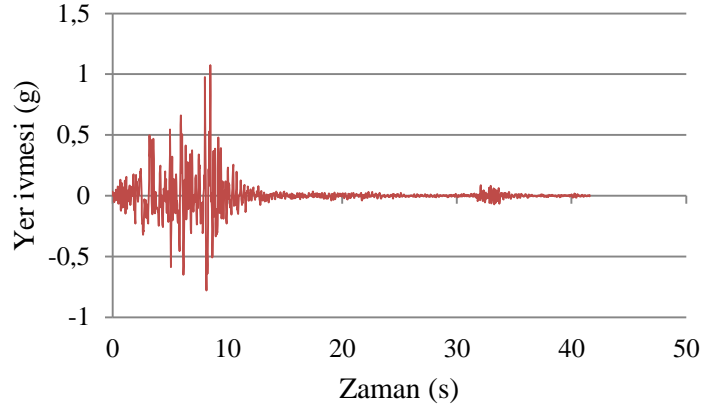
İstinat duvarı-zemin sisteminin sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasının ardından yeraltı su seviyesinde meydana gelen değişimlerin duvarın dinamik davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümler yapılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, belirli bir ivme kaydına göre yapı/zeminde meydana gelen elastik ötesi davranışı elde etmek için kullanılır. Doğrusal olmayan analizler, deprem yükü altındaki yapıların sismik davranışını elde etmede en gerçekçi yöntem olarak değerlendirilmektedir. İki boyutlu doğrusal olmayan dinamik tepki analizleri, artışı şekilde idealleştirilmiş sonlu elemanlardan hareketin

global denklemlerinin yazılmasının ardından zaman tanım alanında integralinin alınmasıyla gerçekleştirilir (Kramer, 1996). Matematiksel olarak zaman tanım alanında analizler, doğrudan entegrasyonun kullanımıyla yapılabilmektedir. Doğrudan entegrasyon yöntemi, zaman tanım alanında dinamik analizler için en doğru sonuçları veren metottur. Bu yöntemde, dinamik yükler yapıya  $\Delta t$  zaman aralıklarında artımsal olarak etkililmektedir ve zaman tanım alanında denklemlerin çözümü nümerik olarak doğrudan entegrasyon yöntemiyle gerçekleştirilmektedir (Korkmaz ve Düzgün, 2011). Zaman tanım alanından doğrusal olmayan analizlerden önce sistemin özdeğer analizleri yapılarak doğal periyotları belirlenmiştir. Sistemin sönüm sabiti %5 seçilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrusal



olmayan analizlerde kullanılmıştır. Yapılan tüm bu analizlerde Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımından faydalanılmıştır. Analizlerde, yazılımın kütüphanesinde bulunan ve Şekil 3'te

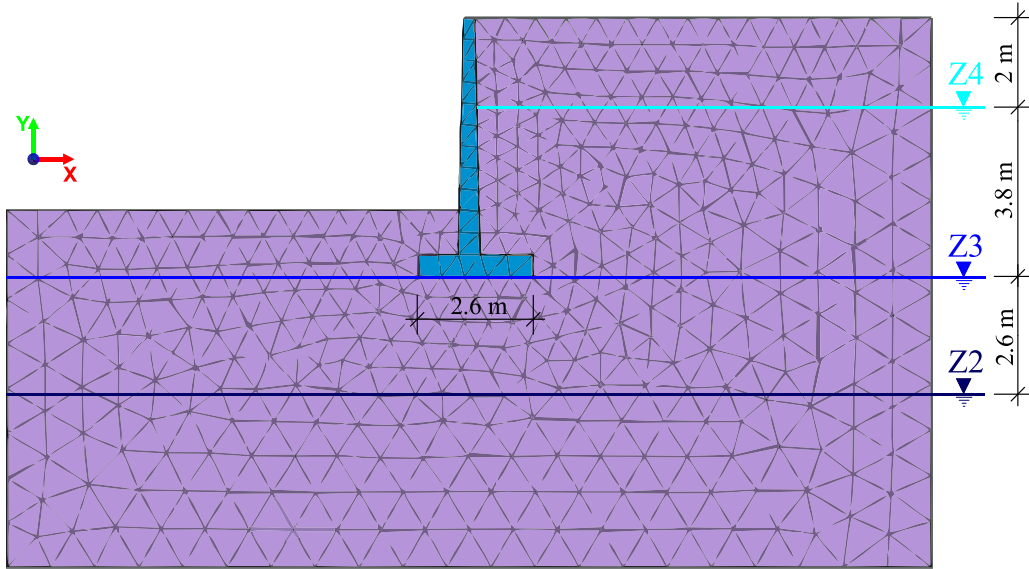
ivme-zaman grafiği görülen San Fernando Pacoima Dam depremine ait kayıt kullanılmıştır. Bu depreme ait en büyük yer ivmesi 1.0748 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. San Fernando Pacoima Dam depremine ait ivme-zaman grafiği

İlk olarak zemin ortamında yeraltı suyunun bulunmaması durumunda (Z1 durumu) ve daha sonra sırasıyla temel taban plağı genişliği 2.6 metre olan duvarda temel taban plağı genişliği kadar aşağıda yeraltı suyu bulunması durumu (Z2 durumu), temel tabanıyla aynı seviyede yeraltı suyu bulunması durumu (Z3 durumu) ve son olarak duvar arkasındaki dolgunun en üst

kotundan 2 m. aşağıda yeraltı suyu bulunması durumu (Z4 durumu) olmak üzere 4 farklı durum için duvarın dinamik davranışı değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde yeraltı su seviyelerinin sabit olduğu, zeminde sıvılaşma meydana gelmediği ve duvarın geçirimsiz olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4. Dikkate alınan yeraltı su seviyelerinin şematik gösterimi

Analize konu olan istinat duvarına ait malzeme özellikleri Tablo 1'de, ayrıca analizde kullanılan kohezyonsuz zemine ait malzeme özellikleri de Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Analize konu olan istinat duvarına ait malzeme özellikleri

E (kPa)	G (kPa)	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
32000000	13333333.3	0.2	24

**Tablo 2.** Analize konu olan zemin sistemine ait malzeme özellikleri

Zemin Özellikleri	E (kPa)	G (kPa)	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)
	50000	17857.1429	0.4	18	21	99.6	243.97

#### 4. Bulgular ve Değerlendirmeler

Zeminin tamamen kuru olması ve 3 farklı yeraltı su seviyesi bulunması durumları için yapılan sismik analizlerden elde edilen sonuçlarla duvarın dinamik davranışı yerdeğıştirmeler ve gerilmeler üzerinden değerlendirilmiştir. Duvar üzerinde

meydana gelen en büyük yerdeğıştirmeler ve gerilmeler gerçekleşme zamanlarıyla birlikte Tablo 3'te sunulmaktadır. Burada bahsi geçen yerdeğıştirmeler, yer seviyesine göre meydana gelen rölatif yerdeğıştirmelerdir ve her durumda duvar üzerindeki en büyük yerdeğıştirme tepe noktada meydana gelmiştir.

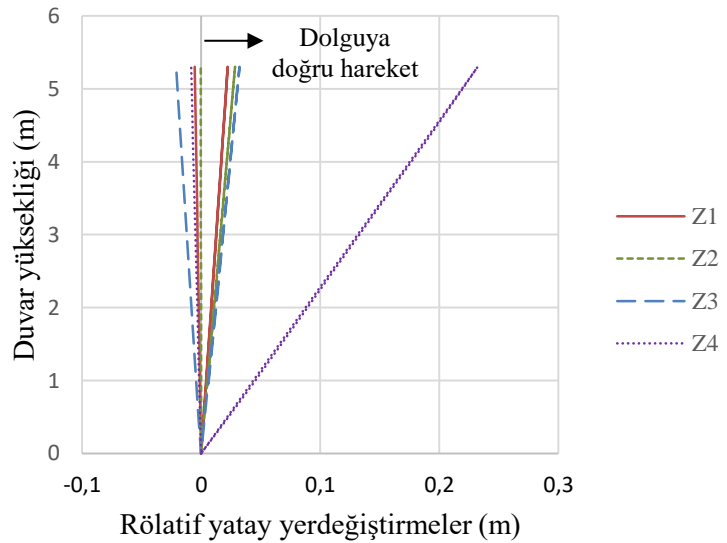
**Tablo 3.** Duvarda meydana gelen en büyük tepkiler ve gerçekleşme zamanları

En Büyük Tepkiler	Zemin Sistemi							
	Z1		Z2		Z3		Z4	
	t(s)	Değer	t(s)	Değer	t(s)	Değer	t(s)	Değer
$d_t$ (m)	6.2	0.022	8.7	0.028	6.2	0.032	17.8	0.23
$S_{x\bar{o}}$ (kPa)	6.4	-107.622	8.6	-105.368	8.6	-134.076	3.2	-162.75
$S_{y\bar{o}}$ (kPa)	6.4	-611.975	8.6	-615.261	8.6	-728.635	3.2	-746.586
$S_{x\bar{a}}$ (kPa)	6.4	95.343	8.6	100.968	8.6	122.396	3.2	125.616
$S_{y\bar{a}}$ (kPa)	8.6	490.521	8.6	540.419	8.6	572.874	3.2	649.619

Burada  $d_t$ : en büyük yerdeğıştirmeyi,  $S_{x\bar{o}}$  ve  $S_{x\bar{a}}$  sırasıyla duvarın ön ve arka yüzünde x doğrultusunda meydana gelen en büyük gerilmeyi,  $S_{y\bar{o}}$  ve  $S_{y\bar{a}}$  sırasıyla duvarın ön ve arka yüzünde y doğrultusunda meydana gelen en büyük gerilmesi ve t ise bu tepkilerin gerçekleşme zamanlarını göstermektedir.

Duvar üzerinde meydana gelen yerdeğıştirmeler temel taban plağından duvarın tepe noktasına doğru artan bir biçimde meydana gelmiştir. Duvar yüksekliği boyunca duvarda yer seviyesine göre meydana gelen rölatif yerdeğıştirmeler Şekil 5'te görülmektedir.

**Şekil 5.** İstinat duvarının farklı yeraltı su seviyelerinde rölatif yatay yerdeğıştirmelerinin yükseklik boyunca değışimi

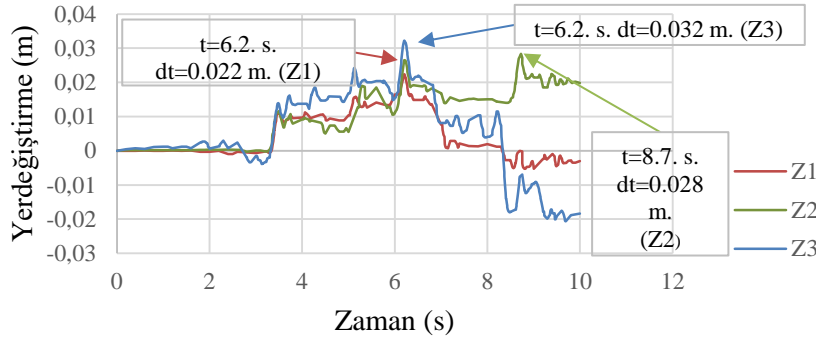


Duvarda yeraltı suyunun bulunmadığı Z1 zemin sistemi için en büyük yerdeğıştirme 6.2 saniyede 0.022 metre, yeraltı su seviyesinin temel taban

plağının alt kotundan, temel taban plağı genişliği kadar aşağıda olduğu Z2 zemin sistemi için 8.7 saniyede 0.028 metre, yeraltı suyunun temel taban

plağıyla aynı seviyede olduğu Z3 zemin sistemi için 6.2 saniyede 0.032 metre ve yeraltı suyunun duvarın arkasında, dolgu zemininin en üst kotundan 2 metre aşağıda olduğu Z4 zemin sistemi için 17.8 saniyede 0.23 metre olarak oluşmuştur. Duvarda oluşan en büyük yatay yerdeğiştirmelerin, Z1 zemin sistemindeki en büyük yatay yerdeğiştirmeye oranla Z2 zemin sisteminde %27 civarında, Z3 zemin sisteminde %45 civarında ve Z4 zemin sisteminde yaklaşık 10 kat artış gösterdiği görülmektedir. Yerdeğiştirmeler Z4 durumu hariç genel olarak benzer tipte oluşmuştur ancak en büyük değerleri farklılıklar göstermektedir. Yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle duvarın yatay yerdeğiştirmeleri ciddi oranda artış göstermekte olup özellikle

yeraltı suyunun duvarın arkasına ulaşması durumunda çok büyük değerlere ulaşmaktadır. İstinat duvarları dolgu arkasında su birikmesini önleyecek şekilde gerekli drenaj önlemleri alınarak inşa edilmektedir ancak herhangi bir sebeple drenaj sisteminin işlevini yitirmesi veya yeterli drenajı sağlayamaması durumunda duvarda meydana gelen yerdeğiştirmeler çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Ayrıca bu analizde duvarın hareketi hem dolguya hem de dolgudan uzağa doğru gerçekleşmiş olup her durum için en büyük yerdeğiştirme dolguya doğru hareket sırasında gerçekleşmiştir. Şekil 6'da duvarın tepe noktasının yaptığı rölatif yerdeğiştirmelerin zamanla değişimi gösteren grafik sunulmaktadır.



**Şekil 6.** İstinat duvarının farklı yeraltı su seviyelerine göre tepe noktasının yerdeğiştirmeleri

Yeraltı su seviyesinin duvarın arkasına ulaştığı Z4 durumu hariç duvarda meydana gelen yerdeğiştirmeler genel itibariyle benzer tipte meydana gelmiştir ancak Z4 durumunda çok farklı bir yerdeğiştirme davranışı gözlenmiştir.

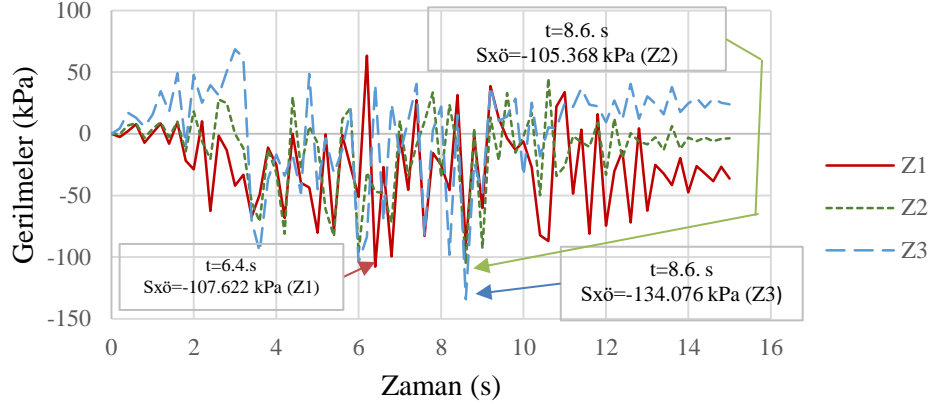
Yeraltı su seviyesindeki farklılıkların duvarın dinamik davranışına etkisini değerlendirmek amacıyla irdelenen bir diğer etki duvarın ön ve arka yüzünde x ve y doğrultusunda oluşan gerilmelerdir. Duvarın ön yüzünde x doğrultusunda oluşan gerilmeler Z1 zemin sistemi için 6.4 saniyede -107.622 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi, Z2 zemin sistemi için 8.6 saniyede -105.368 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi, Z3 zemin sistemi için 8.6 saniyede -134.076 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi ve Z4 zemin sistemi için 3.2 saniyede -162.75 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi olarak oluşmuştur (Şekil 7). Yine duvarın ön yüzünde y doğrultusunda meydana gelen gerilmeler Z1 zemin sistemi için 6.4 saniyede -611.975 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi, Z2 zemin sistemi için 8.6 saniyede -615.261 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi, Z3 zemin sistemi için 8.6

saniyede -728.635 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi ve Z4 zemin sistemi için 3.2 saniyede -746.586 kPa büyüklüğünde çekme gerilmesi olarak oluşmuştur (Şekil 8). Duvarın ön yüzünde meydana gelen gerilmeler genel olarak benzer tipte meydana gelmiştir ve büyüklükleri birbirinden farklıdır. Duvarın ön yüzünde meydana gelen gerilmelerin gerçekleşme zamanları her bir zemin sınıfı için aynıdır.

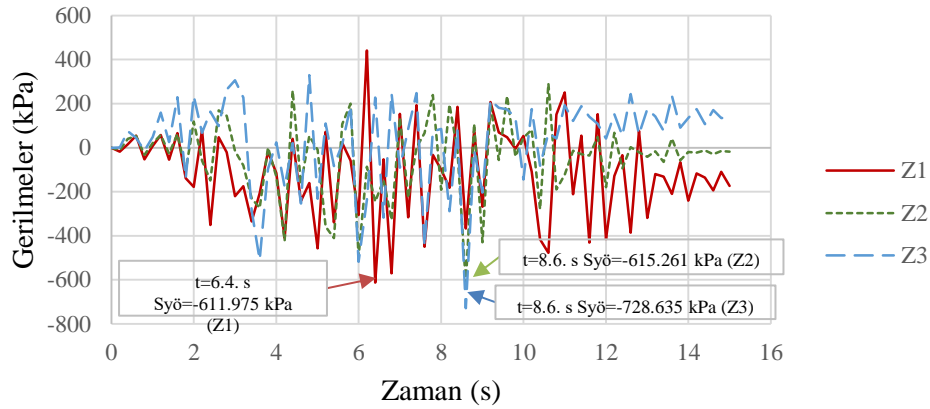
Duvarın arka yüzünde x doğrultusunda meydana gelen gerilmeler ise Z1 zemin sistemi için 6.4 saniyede 95.343 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi, Z2 zemin sistemi için 8.6 saniye 100.968 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi, Z3 zemin sistemi için 8.6 saniyede 122.396 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi ve Z4 zemin sistemi için 3.2 saniyede 125.616 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi olarak oluşmuştur (Şekil 9). Duvarın arka yüzünde y doğrultusundaki gerilmeler ise Z1 zemin sistemi için 8.6 saniyede 490.521 kPa

büyükliğünde basınç gerilmesi, Z2 zemin sistemi için 8.6 saniyede 540.419 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi, Z3 zemin sistemi için 8.6 saniyede 572.874 kPa

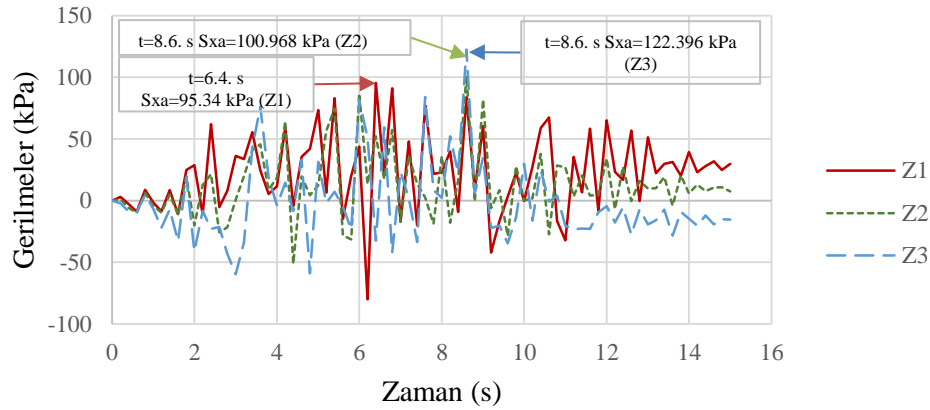
büyükliğünde basınç gerilmesi ve Z4 zemin sistemi için 3.2 saniyede 649.619 kPa büyüklüğünde basınç gerilmesi olarak oluşmuştur (Şekil 10).



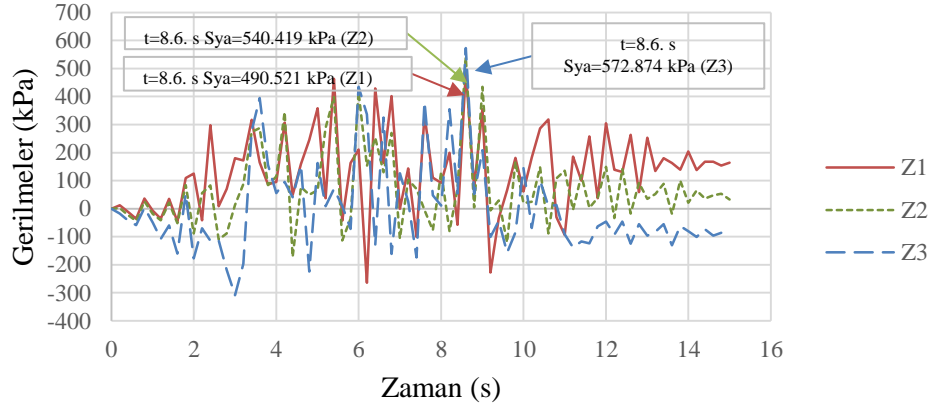
Şekil 7. Duvarın ön yüzünde x doğrultusunda meydana gelen gerilmeler



Şekil 8. Duvarın ön yüzünde y doğrultusunda meydana gelen gerilmeler



Şekil 9. Duvarın arka yüzünde x doğrultusunda meydana gelen gerilmeler



**Şekil 10.** Duvarın arka yüzünde y doğrultusunda meydana gelen gerilmeler

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Elde edilen sonuçlar, oluşturulan istinat duvarı-zemin sisteminin sismik davranışına zemin-yapı etkileşiminin ve yeraltı suyunun etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Zeminde yeraltı su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak duvarın yatay yerdeğiştirmelerinde önemli miktarda artış meydana gelmektedir. Bu analiz çerçevesinde ele alınan istinat duvarı-zemin sisteminde meydana gelen yatay yerdeğiştirmeler hem dolgu yönünde hem de dolgunun tersi yönde oluşmuştur. Buradan istinat duvarlarının yerdeğiştirmeye oldukça duyarlı yapılar olduğu bir kez daha görülmektedir. Z1, Z2 ve Z3 zemin sistemlerinde duvar hareketi genel itibariyle benzer tipte oluşurken yeraltı suyunun duvarın arkasına ulaştığı Z4 zemin sisteminde oluşan duvar hareketi diğer durumlarla benzerlik göstermemektedir. İstinat duvarlarının inşa aşamasında duvarın arkasında bırakılan drenajlar duvar arkasındaki zeminin drenajı sağlanmaktadır. Z4 zemin sistemi için elde edilen sonuçlar neticesinde, istinat duvarlarının inşasında drenajın oldukça önemli olduğu ve duvarın tasarımında drenaj sistemlerinin çok dikkatli bir şekilde ele alınması gerekliliği açıkça görülmektedir. Drenajların muhtelif sebeplerle işlev göremez hale gelmesi duvarın yatay yerdeğiştirmelerini kabul edilemez ölçülerde etkileyebilmektedir. Ayrıca yeraltı su seviyesinin duvarın arkasına ulaşmadığı durumlarda dahi zemindeki boşluk suyu basıncı artışının duvarın hareketini ciddi mertebelerde etkilediği görülmektedir. Bu sonuçlar göstermektedir ki duvarın inşa edileceği alanlarda yeraltı suyunun bulunması durumunda duvarın tasarımında yeraltı suyunun etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu etkiler duvarın güvenliğini tehlikeye atacak boyutlara ulaştığında gerekirse yeraltı su seviyesinin düşürülmesi yoluna gidilmesi önerilmektedir. Bu sonuçlar neticesinde

istinat duvarının hareketinde yeraltı suyunun, yerel zemin koşullarının, zemin-yapı etkileşiminin önemi bir kez daha görülmektedir.

Yerdeğiştirmelerde olduğu gibi, yeraltı su seviyesinin yükselmesi duvar üzerindeki gerilmeleri de önemli mertebelerde etkilemektedir. Yeraltı suyunun yükselmesine bağlı olarak duvar üzerindeki gerilmeler genellikle artma eğilimindedir. Ancak bu değişimlerin hangi yeraltı su seviyelerinde nasıl değişimler ortaya koyacağı konusunda genelleştirilebilecek bir kaniya varmak için daha farklı yeraltı su seviyelerine sahip, farklı özelliklerdeki zeminlerde, farklı geometri ve rijitlikteki duvarlar için ve farklı frekanslardaki deprem kayıtlarına göre çok daha fazla parametrik çalışma yapılması gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Al Atik, L. ve Sitar, N., 2010. Seismic earth pressures on cantilever retaining structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(10), 1324-1333
- Arias, A., Sanchez-Sesma, F. ve Ovando-Shelley, E., 1981. A simplified elastic model for seismic analysis of earth-retaining structures with limited displacements.
- Athanasopoulos-Zekkos, A., Vlachakis, V. ve Athanasopoulos, G., 2013. Phasing issues in the seismic response of yielding, gravity-type earth retaining walls—Overview and results from a FEM study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55, 59-70
- Callisto, L. ve Soccodato, F., 2009. Seismic design of flexible cantilevered retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(2), 344-354

- Canbay, E., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Wasti, T. ve Ersoy, U., 2008. Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara
- Çakır, T., 2013. Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil–structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45, 96-111
- Çakır, T., 2014a. Backfill and subsoil interaction effects on seismic behavior of a cantilever wall. *Geomechanics and Engineering*, 6(2), 117-138
- Çakır, T., 2014b. Influence of wall flexibility on dynamic response of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 49(1), 1-22
- Çakır, T., 2017. Assessment of effect of material properties on seismic response of a cantilever wall. *Geomechanics and Engineering*, 13(4), 601-619
- Çakır, T. ve Dağ, S., 2015. Zemin-Yapı Etkileşimi ve Duvar Esnekliği Dikkate Alınarak Konsol İstinat Duvarlarının Dinamik Yerdeğiştirme ve Gerilme Analizi. *Sigma*, 33(4), 577-589
- Çakır, T. ve Kara, O., 2015. Dolgu Zeminine Ait Birim Hacim Ağırlık Değeri Değişiminin Konsol Bir İstinat Duvarının Sismik Davranışı Üzerindeki Etkileri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 87-100
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi
- EAK-2000, 2003. Greek Seismic Code, Earthquake Planning and Protection Organization, Athens.
- Eurocode-8, 2003. Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, European Committee for Standardization, Brussel, Belgium.
- Evangelista, A., di Santolo, A. S. ve Simonelli, A. L., 2010. Evaluation of pseudostatic active earth pressure coefficient of cantilever retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(11), 1119-1128
- Gazetas, G., Psarropoulos, P., Anastasopoulos, I. ve Gerolymos, N., 2004. Seismic behaviour of flexible retaining systems subjected to short-duration moderately strong excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(7), 537-550
- Giarlelis, C. ve Mylonakis, G., 2011. Interpretation of dynamic retaining wall model tests in light of elastic and plastic solutions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(1), 16-24
- IS-1893, 2002. Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures. General Provisions and Buildings (Fifth Revision). Part 1, 2002
- Jung, C., Bobet, A. ve Fernández, G., 2010. Analytical solution for the response of a flexible retaining structure with an elastic backfill. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 34(13), 1387-1408
- Kloukinas, P., di Santolo, A. S., Penna, A., Dietz, M., Evangelista, A., Simonelli, A. L., Mylonakis, G., 2015. Investigation of seismic response of cantilever retaining walls: Limit analysis vs shaking table testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 432-445
- Kloukinas, P., Langousis, M. ve Mylonakis, G., 2012. Simple wave solution for seismic earth pressures on nonyielding walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(12), 1514-1519
- Korkmaz, A. ve Düzgün, M., 2011. Doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi. *İTÜDERGİSİ/d*, 6(3)
- Kramer, S. L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering* Prentice Hall. New York
- Lanzoni, L., Radi, E. ve Tralli, A., 2007. On the seismic response of a flexible wall retaining a viscous poroelastic soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(9), 818-842
- Lysmer, J. ve Kuhlemeyer, R. L., 1969. Finite dynamic model for infinite media. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 95(4), 859-878
- Madabhushi, S. ve Zeng, X., 2007. Simulating seismic response of cantilever retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(5), 539-549
- Matsuo, H., 1960. Lateral earth pressure and stability of quay walls during earthquakes, *Proc. of 2nd WCEE*, s.165-183.
- Mononobe, N., 1929. On determination of earth pressure during earthquake, *Proc. of the World Engineering Congress, Tokyo*, s.177-185.
- Mylonakis, G., Kloukinas, P. ve Papantonopoulos, C., 2007. An alternative to the Mononobe–Okabe equations for seismic earth pressures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(10), 957-969



- Nadim, F. ve Whitman, R. V., 1983. Seismically induced movement of retaining walls. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(7), 915-931
- Nofal, E. M. H., 1998. Analysis of Non-linear Soil-Pile Interaction Under Dynamic Lateral Loading. Phd Thesis, University of California. Irvine.
- Okabe, S., 1926. General theory of earth pressures, *J. Japan Soc. Civil Engineering*, 12(1)
- Özmen, B., Güler, H. ve Nurlu, M., 1997. Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Papagiannopoulos, G., Beskos, D. ve Triantafyllidis, T., 2015. Seismic pressures on rigid cantilever walls retaining linear poroelastic soil: An exact solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 208-219
- Papazafeiropoulos, G. ve Psarropoulos, P. N., 2010. Analytical evaluation of the dynamic distress of rigid fixed-base retaining systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(12), 1446-1461
- Psarropoulos, P., Klonaris, G. ve Gazetas, G., 2005. Seismic earth pressures on rigid and flexible retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(7), 795-809
- Richards Jr, R. ve Elms, D. G., 1979. Seismic behavior of gravity retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 105(ASCE 14496)
- Seed, H. B. ve Whitman, R. V., 1970. Design of earth retaining structures for dynamic loads. ASCE, Specialty Conf on Lateral Stresses in Ground and Design of Earth-Retaining Structures; Ithaca, NY, 103-147
- Steedman, R. ve Zeng, X., 1990. The influence of phase on the calculation of pseudo-static earth pressure on a retaining wall. *Geotechnique*, 40(1), 103-112
- Theodorakopoulos, D., Chassiakos, A. ve Beskos, D., 2001. Dynamic pressures on rigid cantilever walls retaining poroelastic soil media. Part I. First method of solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21(4), 315-338
- Veletsos, A. ve Younan, A., 1994a. Dynamic soil pressures on rigid vertical walls. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 23(3), 275-301
- Veletsos, A. S. ve Younan, A. H., 1994b. Dynamic modeling and response of soil-wall systems. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(12), 2155-2179
- Veletsos, A. S. ve Younan, A. H., 1997. Dynamic response of cantilever retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(2), 161-172
- Vrettos, C., Beskos, D. ve Triantafyllidis, T., 2016. Seismic pressures on rigid cantilever walls retaining elastic continuously non-homogeneous soil: an exact solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 82, 142-153
- Wolf, J. P. ve Song, C., 1996. Finite-element modelling of unbounded media, Wiley Chichester.
- Wood, J. H., 1973. Earthquake-induced soil pressures on structures.
- Wood, J. H., 1975. Earthquake-induced pressures on a rigid wall structure. *Bulletin of New Zealand National Earthquake Engineering*, 8, 175-186
- Wu, G. ve Finn, W. L., 1999. Seismic lateral pressures for design of rigid walls. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(3), 509-522
- Younan, A. H. ve Veletsos, A. S., 2000. Dynamic response of flexible retaining walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29(12), 1815-1844

## Trabzon İli Yağışlarının Eğilim Analizi

### Trend Analyses of Precipitation of Trabzon Province, Northeastern Turkey

Murat KANKAL<sup>\*a</sup>, Fatma AKÇAY<sup>b</sup>

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 27.07.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 03.10.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 31.10.2018

#### Öz

Hidrolojik ve meteorolojik çalışmalar, hidrolojik süreçlerin ve su kaynaklarının iklim değişikliği sebebi ile özellikle sera gazları ve sıcaklığın artmasıyla önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en önemli ili olan Trabzon'daki yağışların eğilim analizleri Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Eğilim yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda; Trabzon'da bulunan iki adet meteoroloji istasyonuna (Trabzon ve Akçaabat) ait yıllık, mevsimlik ve aylık bazda toplam yağış verileri kullanılmıştır. Eğilim analizine geçilmeden önce, yıllık toplam yağış verilerine iklime bağlı olmayan değişiklikler olup olmadığını belirlemek amacıyla Standart Normal Homojenlik ve Von-Neumann testleri uygulanmıştır. Mann-Kendall Yöntemi uygulanmadan önce verilerin içsel bağımlılıklarına bakılmıştır. İçsel bağımlılığa sahip veriler Trend Free Prewhitening Yöntemi ile arındırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; Mann-Kendall Yöntemi'ne göre çoğunlukla eğilime rastlanmazken, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre beş değişik veri aralığı için farklı eğilimler görülmüştür. Her iki istasyonda sonbahar ve ilkbaharda genelde artan eğilimlere rastlanılmıştır. Yaz mevsimi için Trabzon istasyonunda genellikle eğilim görülmezken, Akçaabat istasyonunda azalan yönde eğilim ortaya çıkmıştır. Yıllık toplam yağışlar değerlendirildiğinde, Trabzon istasyonu için genellikle artan, Akçaabat istasyonu için ise genellikle değişmeyen eğilimler bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Doğu Karadeniz Havzası, Eğilim Analizi, İklim Değişikliği, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi

#### Abstract

Hydrological and meteorological studies have showed that hydrological processes and water resources have been significantly affected by climate change and especially by increasing greenhouse gases and temperature. In this study, trend analysis of precipitation in Trabzon, which is the most important province of Eastern Black Sea Region, was carried out using Mann-Kendall and Şen's Innovative Trend methods. For this purpose; total precipitation time series on annual, seasonal and monthly basis for two meteorological stations in Trabzon (Trabzon and Akçaabat) were used. Prior to trend analysis, Standard Normal Homogeneity and Von-Neumann tests were performed on the annual total precipitation data so as to test whether the nonclimatic changes occurred in time. Before applying Mann-Kendall Method, serial dependence of the data was examined. The data having serial dependence were removed by using Trend Free Prewhitening Method. When the results are analyzed; while trends were generally not detected in the Mann-Kendall Method, according to, there were various trends in five different data ranges of the Şen's Innovative Trend Method. In both stations, increasing trends were generally observed in autumn and spring. While there was generally no trend in the Trabzon station for the summer, the decreasing trend appeared in the Akçaabat station. When the annual total precipitation of different data ranges was evaluated, generally increasing trends for Trabzon station, and no trends for Akçaabat station were found.

**Keywords:** Eastern Black Sea Basin, Trend Analyses, Climate Change, Şen's Innovative Trend Method

<sup>\*a</sup> Murat KANKAL; mkankal@uludag.edu.tr; Tel: (0224) 275 52 90; orcid.org/0000-0003-0897-4742

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8129-3009

## 1. Giriş

Hidrolojik ve meteorolojik çalışmalar su kaynaklarının ve hidrolojik süreçlerin iklim değişikliği sebebi ile özellikle sera gazları ve sıcaklığın artmasıyla önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin 5. Değerlendirme Raporunda da ifade edildiği gibi iklimin en önemli parametrelerinden olan yağış ve sıcaklık değerlerinde dünyanın birçok bölgesinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu raporda ayrıca küresel anlamda meydana gelen sıcaklık değişiminin %95-100 oranında insan etkisiyle meydana geldiği kesin bir ifade ile vurgulanmıştır (IPCC, 2013).

Türkiye’de tatlı su kaynakları sanılanın aksine kısıtlıdır. Uzun yıllar dikkate alınarak hesaplanan yıllık yağış ortalaması 622.7 m’dir. Türkiye’de kullanılabilir su miktarı yaklaşık olarak yıllık 112 milyar m<sup>3</sup>tür (MGM, 2018a; DSİ, 2018). Türkiye’de; yalnızca tatlı suların az olması ve yağış miktarının dünyadaki ortalama değerden düşük olması söz konusu değildir, bununla birlikte hızla artan bir nüfus, sanayileşme, kirlilik ve bilhassa iklimsel değişimler gibi sebeplerden dolayı; kullanılabilir su kaynaklarının korunması büyük öneme sahiptir. Ülkemizin, iklimsel değişimler nedeniyle oluşan özellikle kullanılabilir su miktarının azalması, kuraklık, çölleşme ve orman yangınları ve bu durumlarla ilişkili olan doğal yapının tahrip olması gibi istenmeyen durumlarla karşılaşması muhtemeldir. Bu sebeple ülkemiz iklimsel değişimlerin olası etkilerini derin bir şekilde hissedecek risk grubu ülkeler arasındadır (Türkeş, 2002).

Yağış, günlük yaşantımızı etkilemesi bakımından hidrolojik döngünün en önemli unsurlarından biridir. Bu nedenle; yağışın eğiliminin incelenmesine, iklimsel değişimlerin anlaşılmasına yönelik bir başlangıç noktası olarak bakılabilir. Nüfusun giderek artmasıyla daha çok miktarda su ve enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum yağış değişmelerine sosyal ve ekonomik açılardan daha hassas bir yapıda olmamıza ve bu konularda gerçekleştirilen çalışmaların da giderek çoğalmasına neden olmuştur (Acar ve Şenocak, 2007; Özfidaner vd., 2016). Yağış tarıma dayalı üretim ve su kaynaklarının değerlendirilmeleri hususlarında büyük öneme sahip bir meteorolojik değişkendir. Yağışların artan ya da azalan yönde değişim göstermesi, hidroloji ve su kaynakları açısından çok önemli sonuçlar ortaya çıkartabilir. Düşük veya kuraklığa neden olabilecek akımlar, en çok yağışlarda mevsimsel ölçekte yaşanan değişimler, yıllar itibarıyla ortaya çıkan

farklılıklar ve uzun kuraklık süreçleri tarafından etkilenmektedir (Özfidaner vd., 2016) Hidrolojik çalışmalarda çok önemli olan yağışların ölçülmesinin; hidroelektrik potansiyelin, içme veya sulama suyu ihtiyacının, bölgedeki taşkın oluşma sıklığı ve büyüklüğünün belirlenmesi açısından çok önemli olduğu ortadadır. Bu bağlamda, yağış değişkeninin hangi doğrultuda bir yönelime sahip olduğunu bulabilmek ve buna bağlı önlemler almak ise ayrıca önemlidir.

Doğu Karadeniz Bölgesi’nin arazi yapısının çok dik eğimli olması ve Türkiye’nin en çok yağış alan bölgesi olmasından dolayı, bölge taşkın açısından risklidir (Karagül, 1999). Bu bölgedeki yağış eğiliminin artması taşkın riskini de arttıracaktır. Çalışma bölgesi olarak belirlenen Trabzon İli, bölgenin en kalabalık şehri konumundadır. Bu nedenle bu ile ait istasyonlarındaki yıllar içerisindeki yağış eğiliminin belirlenmesi çok önemlidir. Bu doğrultuda yapılmış ve Trabzon İli’ni de içerecek şekilde Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yağışların değişimini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Saplıoğlu ve Çoban, 2013; Çeribaşı ve Doğan, 2015; Ay ve Kisi, 2015; Çanlı, 2015; Polat ve Sunkar, 2017). Saplıoğlu ve Çoban (2013), Karadeniz Bölgesi içerisinde bulunan 18 yağış ölçüm istasyonuna ait 1971-2010 yılları arasındaki yıllık toplam yağış değerlerine Mann-Kendall, regresyon ve Şen’in Yenilikçi Eğilim yöntemleri kullanarak eğilim (trend) analizi yapmışlardır. Çeribaşı ve Doğan (2015) Batı ve Doğu Karadeniz havzaları ile Sakarya Havzası yıllık ortalama yağış değerleri için Spearman’ın Rho ve Mann-Kendall yöntemleri ile eğilim analizi gerçekleştirmişlerdir. Doğu Karadeniz Havzası’ndaki istasyonlar için gözlem dönemi 1979-2012 yılları arasındadır. Ay ve Kisi (2015) diğer çalışmalardan farklı olarak, aylık toplam yağış yüksekliklerinin değişimlerini incelemiş, bu amaçla Türkiye’nin değişik bölgelerinde bulunan beş adet yağış gözlem istasyonu seçmişlerdir. Eğilim analizini 1970-2011 yılları arasındaki veriler için Mann-Kendall ve Şen’in Yenilikçi Eğilim yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çanlı (2015) çalışmasında 1961-2013 yılları arasında Trabzon, Giresun, Rize ve Artvin illeri için aylık en küçük, en büyük ve ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri kullanılarak mevsimsel ve yıllık eğilimleri Mann-Kendall ve regresyon yöntemleri ile incelenmiştir. Polat ve Sunkar (2017) tarafından yürütülmüş olan çalışma Rize İli’nin iklim özellikleri belirleme amacıyla gerçekleştirilmiştir. İklim özelliklerini belirlerken Rize ve çevresinde bulunan Rize, Pazar, Hopa ve Trabzon meteoroloji istasyonlarından elde edilen

1970-2014 yılları arasındaki verilerden faydalanılmıştır. İklim özelliklerinin yanında, yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerine Mann-Kendall ve Sen'in Eğilim Eğim yöntemleri ile eğilim analizi yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen çalışmalar ile mevcut çalışmaya ait özet bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır. Tabloda, incelenen istasyonlar

olarak sadece bu çalışma ile ortak olanlar belirtilmiştir. Tablo dikkatli incelendiğinde, bu çalışmada kullanılan verilerin daha güncel ve uzun aralıkta olduğu görülmektedir. Bunun yanında çalışmalar genel olarak yıllık yağış verileri üzerinden yapılmıştır. Aylık ve mevsimlik bazda Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ni kullanarak yapılan bir eğilim analizine rastlanmamıştır.

**Tablo 1.** Geçmiş çalışmalara ait özet bilgiler

Çalışma	İncelenen İstasyonlar (ortak)	Veri Aralığı (yıl)	Yöntem	Yağış verisi inceleme aralığı
Saplıoğlu ve Çoban (2013)	Trabzon	1971-2010	Mann-Kendall, Regresyon, Şen'in Yenilikçi Eğilim	Yıllık
Çeribaşı ve Doğan (2015)	Trabzon, Akçaabat	1979-2012	Mann-Kendall, Spearman'ın Rho	Yıllık
Ay ve Kisi (2015)	Trabzon	1970-2005	Mann-Kendall	Aylık
Çanlı (2015)	Trabzon	1961-2013	Mann-Kendall, Regresyon	Mevsimlik, Yıllık
Polat ve Sunkar (2017)	Trabzon	1970-2014	Mann-Kendall, Sen'in Eğilim Eğim	Yıllık
Bu çalışma	Trabzon, Akçaabat	1948-2017 (Trabzon), 1964-2017 (Akçaabat)	Mann-Kendall, Şen'in Yenilikçi Eğilim	Aylık, Mevsimlik, Yıllık

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin merkezi konumundaki Trabzon İli'nin yağışlarına eğilim analizi uygulanarak geçmiş yıllardaki değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda il içerisinde eğilim analizine uygun iki adet meteoroloji istasyonu (Trabzon ve Akçaabat) belirlenmiştir. İstasyonlara ait yıllık toplam yağış verileri, iklime bağlı olmayan bir değişim olup olmadığını belirlemek için Standart Normal Homojenlik ve Von-Neumann testleri ile kontrol edilmiştir. Daha sonra, Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Eğilim yöntemleri kullanılarak yıllık, mevsimlik ve aylık olmak üzere eğilim analizleri yapılmıştır. Mann-Kendall Yöntemi'ni uygulamadan önce verilerin içsel bağımlılığı olup olmadığı belirlenmiş ve içsel bağımlılık tespit edilen veriler, Trend Free Prewhitening (TFPW) Yöntemi kullanılarak arındırılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Çalışma alanı olarak belirlenen Trabzon İli Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan en önemli ildir. Çalışma konusu olan yağışların; akımı dolayısıyla taşkın ve su kullanımı durumunu doğrudan etkilemesi nedeniyle, bu kısımda Doğu Karadeniz Havza'sı ile ilgili bilgiler verilecektir. Türkiye'nin kuzeydoğu kısmında bulunan havzanın sınırları 40°15'-41°34' kuzey enlemleri ve 36°43'- 41°35' doğu boylamlarından geçmektedir (Şekil 1).

Havzanın güneyinde Doğu Karadeniz Dağları kuzeyinde ise Karadeniz bulunmaktadır. Havza batıdan Terme Çayı ile doğudan Gürcistan ile sınırlandırılmıştır. Bölgedeki en engebeli ve ortalama yüksekliğin en fazla olduğu bölümdür. Havzanın yağış alanı 24077 km<sup>2</sup> olup, yıllık ortalama olarak 14.90 km<sup>3</sup>'lük yüzeysel su potansiyeline sahiptir (Yuksekd., 2013).

Doğu Karadeniz Havzası'nın iklimsel yapısı her mevsimde büyük miktarda yağış alan şekildedir. Kıyıya çok yakın bir bölgeden yükselen dağlar, denizin olası etkilerinin iç bölgelere ulaşmasını engellerken, kıyıda kalan bölümün ılıman bir yapıda kalmasını sağlamıştır. Kıyı bölgesinden içeri doğru ilerledikçe yağış miktarı azalmakta ve sıcaklık düşmektedir. Doğu Karadeniz Havzası'nın arazi yapısı nedeniyle Trabzon İli'nin doğu kısımlarından itibaren yağışlar yükselmekte ve Hopa İlçesi'ne doğru en büyük değerini almaktadır (Karstarlı vd., 2011). Doğu Karadeniz Havzası'nda, merkezi kıyıda bulunan illerdeki yıllık toplam yağış değerleri, 820 mm ile 2299 mm arasında değişmektedir (Ordu için 1038 mm, Giresun için 1286 mm, Trabzon için 820 mm, Rize için 2299 mm; MGM, 2018b). Trabzon, çevresindeki illere göre daha az ortalama toplam yağışa sahiptir, sadece Gümüşhane İli iç kısımda bulunması nedeniyle Trabzon'a göre düşük bir ortalama yağış değerine sahiptir. Doğu Karadeniz

Havzası'nın en kalabalık ili olan Trabzon, 40°30'-41°30' kuzey enlemleri ve 38°30'-40°30' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Trabzon 4664 km<sup>2</sup>'lik alanı olan bir kıyı şehridir. Bunun yanında

şehir yazları çok sıcak, kışları çok soğuk olmayan ılıman bir iklime sahiptir (Demirci ve Cuhadaroglu, 2000; Nacar vd, 2016).



Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası ve Trabzon İli görünümü

Çalışmada Trabzon İli'nde bulunan Trabzon ve Akçaabat meteoroloji istasyonlarına (Şekil 1) ait aylık toplam yağış verilerinden faydalanılmıştır. Mevsimlik ve yıllık toplam yağış değerleri aylık toplamlar kullanılarak hesaplanmıştır. Veriler, Trabzon istasyonunda 1948-2017 ve Akçaabat istasyonunda 1964-2017 yılları arasındadır. İstasyonlara ait yıllık toplam yağış verileri için hesaplanan temel istatistik değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Trabzon istasyonunda eksik veri

bulunmazken, Akçaabat istasyonundaki iki aylık eksiklik regresyon yöntemi yardımıyla tamamlanmıştır. Yıllık toplam yağış değerleri dikkate alındığında; en küçük ve en büyük değerler Akçaabat istasyonunda görülmesine karşın, ortalama değer Trabzon istasyonunda daha büyüktür. Değişim katsayıları birbirine yakın çıkmıştır. Bunun yanında; Trabzon istasyonunda çok küçük bir sola çarpıklık görülürken, Akçaabat istasyonundaki çarpıklık sağa doğrudur.

Tablo 2. Trabzon ve Akçaabat istasyonlarına ait yıllık toplam yağış değerlerinin temel istatistikleri

İstasyon Adı	Veri Aralığı	En Küçük Değer (mm)	Ortalama (mm)	En Büyük Değer (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı
Trabzon	1948-2017	573.5	810.4	1041.0	123.1	0.15	-0.06
Akçaabat	1964-2017	481.6	722.5	1078.9	115.7	0.16	0.56

### 3. Kullanılan Yöntemler

#### 3.1. Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Alexandersson (1986) tarafından önerilen bu teste, seriyi ikiye bölecek bir "k" noktası referans alınır ve aşağıda verilen denklem yardımıyla T(k) test istatistiği bulunur.

$$T(k) = k \bar{z}_1^2 + (n-k) \bar{z}_2^2 \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

burada,  $\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / s$  ve

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / s \text{ dir.}$$

Denklemlerde verilen  $\bar{Y}$  gözlem değerlerinin ortalaması,  $Y_i$  her bir yıl için gözlem değerleri ve s ise standart sapmayı ifade etmektedir. Seride "k" yılında meydana gelecek bir değişim durumunda T(k) en büyük değere ulaşır. Bu durumda  $T_0$  istatistiği aşağıda verilen şekilde hesaplanır.

$$T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} T(k) \quad (2)$$

$T_0$  değeri Tablo 3'te verilen kritik değeri aşarsa verilerin homojen olmadığı kabul edilmektedir

**Tablo 3.** Veri sayısına bağlı %99 ve 95 güven seviyelerinde  $T_0$  kritik değerleri

Güven Seviyesi \ Veri Sayısı	20	30	40	50	70	100
%99	9.11	10.15	10.77	11.19	11.73	12.22
%95	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

### 3.2. Von-Neumann Testi

Bu test Von Neumann (1941) tarafından önerilmiştir. Test istatistiği ( $N_{VN}$ ) ardışık farkların kareleri toplamının varyans değerine oranı olarak tanımlanmaktadır.  $N_{VN}$  değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$N_{VN} = \sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3)$$

Von-Neumann Testi'nin Buishand (1981) tarafından önerilen kritik değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Bulunan  $N_{VN}$  değeri tablodaki kritik değeri aştığı durumlarda verilerin homojen olduğu kabul edilmektedir.

**Tablo 4.** Veri sayısına bağlı %99 ve 95 güven seviyelerinde  $N_{VN}$  kritik değerleri

Güven Seviyesi \ Veri Sayısı	20	30	40	50	70	100
%99	1.04	1.20	1.29	1.36	1.45	1.54
%95	1.30	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

### 3.3. Mann-Kendall Yöntemi

Eğilim analizi çalışmalarında en yaygın olarak Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen ve parametrik olmayan Mann-Kendall Yöntemi kullanılmaktadır. Parametrik olmayan bir test olduğundan rastgele değişkenin dağılımından bağımsızdır (Çeribaşı ve Doğan, 2015).

Bu yöntem ile bir zaman serisinde artan ya da azalan yönde eğilim olup olmadığına sıfır hipotezi; " $H_0$ : eğilim yok" ile bakılmaktadır. Yöntemin uygulanacağı zaman serisinde  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$   $x_i$  ve  $x_j$  veri çiftleri iki guruba ayrılır.

- $i < j$  için  $x_i < x_j$  olan çiftlerin sayısı  $P$ ,
- $i < j$  için  $x_i > x_j$  olan çiftlerin sayısı ise  $M$  olarak gösterilirse test istatistiği ( $S$ ):

$$S = P - M \quad (4)$$

biçiminde ifade edilir. Daha sonra  $S$  ve veri sayısına ( $N$ ) göre Kendall korelasyon katsayısı ( $\tau$ ) aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\tau = \frac{S}{[N(N-1)/2]} \quad (5)$$

$N \geq 10$  için  $S$  değerinin standart sapması ( $\sigma_s$ ) aşağıda verilen şekilde bulunur:

$$\sigma_s = \sqrt{[N(N-1)(2N+5)/18]} \quad (6)$$

Serinin standart sapması belirlendikten sonra standart normal  $Z$  değeri şu şekilde bulunur:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_s}, & S > 0 \text{ ise} \\ 0, & S = 0 \text{ ise} \\ \frac{S+1}{\sigma_s}, & S < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (7)$$

Yukarıda anlatıldığı şekilde bulunan  $Z$ 'nin mutlak değeri, seçilen  $\alpha$  anlamlılık düzeyine (bu çalışmada %5 olarak seçilmiştir) karşılık gelen normal dağılımın  $Z_{\alpha/2}$  (=1.96) değerinden küçükse sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Bu da zaman serisinde artan ya da azalan yönde bir değişim olmadığını ortaya koymaktadır.  $Z$ 'nin mutlak değerinin  $Z_{\alpha/2}$  (=1.96) değerinden büyük olması zaman serisinde bir artış ya da azalışın olduğunu göstermektedir.  $S$  değeri sıfırdan büyükse zaman serisinde artan yönde bir eğilim, sıfırdan küçükse



azalan yönde bir eğilim olduğu sonucu elde edilmektedir (Doğan vd., 2016).

Hidrolojik zaman serilerine ait verilerdeki serisel kolerasyon önemli bir sorundur. Bu sorun Mann-Kendall testinin zaman serilerinde pozitif seri korelasyonun varlığına göre önemli bir eğilim tespit etme olasılığını arttırabilmektedir. Bu nedenle, Mann-Kendall Yöntemi'nde serisel korelasyonun etkisini ortadan kaldırmak için ön arındırma (pre-whitening) süreci gerekmektedir (Von Storch ve Navarra, 1995). Bununla birlikte; ön arındırma süreci, normalde var olan bir eğilimi de ortadan kaldırmakta ve Mann-Kendall test sonuçlarının değişmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle Yue vd. (2002), Mann-Kendall testini yapmadan önce kullanılan ve içsel bağımlılığı normalde var olan bir eğilimi ortadan kaldırmadan gideren TFPW yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemle ait uygulama adımları Akçay'ın (2018) çalışmasında bulunabilir.

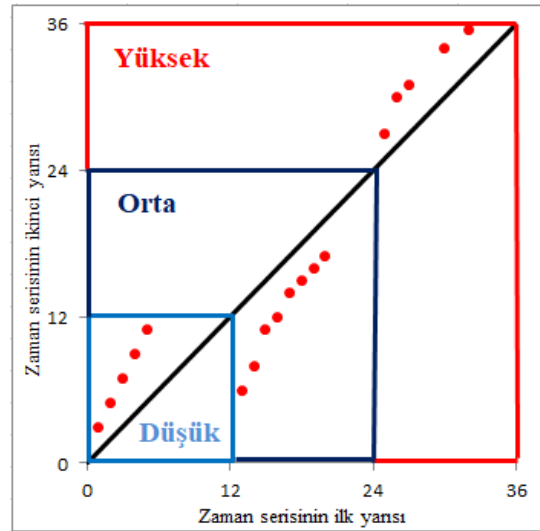
Bu çalışmada; aylık, mevsimlik ve yıllık ölçekte eğilimine bakılan toplam yağış verilerine Mann-Kendall Yöntemi'ni uygulamadan önce oto-korelasyon analizi gerçekleştirilmiş ve verilerin %5 anlamlılık düzeyindeki içsel bağımlılıkları test edilmiştir. İçsel bağımlılığı olan verilere TFPW yöntemi uygulanmış ve Mann-Kendall Yöntemi'nde içsel bağımlılığı giderilmiş yeni zaman serileri kullanılmıştır. Son olarak, Mann-Kendall Yöntemi'nde eğilim tespit edilen verilerin eğimleri Sen (1968) tarafından geliştirilen Sen'in Eğilim Eğim Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemle dair ayrıntılar Akçay'a (2018) ait çalışmada bulunabilir.

### 3.4. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi

Şen (2012) iklimsel yönelimleri değerlendirmek için Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ni ortaya koymuştur. Bu yöntem, ardışık zaman grupları arasındaki değişimleri incelemeyi sağlayan bir yöntemdir. Veriler ilk veriden itibaren eşit miktarda uzunlukta olacak şekilde iki ayrı veri grubuna ayrılarak, sıralı hale getirilmektedir. Daha sonra veriler ilk seri yatay ekseninde ikinci seri düşey ekseninde olacak şekilde çizilmektedir. Daha sonra 45° doğrusu çizilmekte ve işaretlenen veriler ile kıyaslama yapılmaktadır. Benzer zaman serileri yatay ve düşey eksenlere yerleştirildiğinde 1:1 (45°) doğrusu üzerine yerleşeceklerdir. Dolayısıyla ilk ve ikinci seri çiziminde veriler 1:1 (45°) doğrusu üzerinde dağılıyorsa incelenen seride herhangi bir yönelimin olmadığı anlaşılmaktadır. Bunun yanında dağılım 1:1 (45°) doğrusu üstünde dağılıyorsa artan yönde, altında

dağılıyorsa azalan yönde bir yönelim söz konusu olmaktadır (Alashan vd., 2015).

Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nin bir üstünlüğü de analiz edilen verileri küçükten büyüğe doğru farklı sınıflara ayırabilmesidir (Şekil 2). Bu şekilde yapılan bir inceleme ile örneğin taşkın için önemli olan yüksek değerlerdeki debilerin veya kuraklık için önemli olan düşük değerlerdeki debilerin eğilimleri gözlemlene imkânı bulunmaktadır. İncelenen verilerin kaç farklı grupta değerlendirileceğini belirlemek için öncelikle ilk ve ikinci veri gruplarının ayrılıp saçılma diyagramlarını elde etmek ve daha sonra saçılım biçimlerine bağlı olarak bir sonuca varmak daha basit olmaktadır (Dabanlı, 2017). Şekil 2'de bir zaman serisi için sembolik gösterim yapıldığından yatay ve düşey ekseninde birimler verilmemiştir. Bu sembolik gösterimde veriler üç gruba ayrılmış olmasına karşın, veri grubunun özelliklerine bağlı olarak farklı sınıflandırmalar yapılabilmektedir.



Şekil 2. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde sınıflandırılmış saçılım grafiği

Bu çalışmada; yıllık, mevsimlik ve aylık toplam yağış verilerine Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi uygulanmış ve veriler küçükten büyüğe doğru beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma yapılırken eşit aralıklar kullanma zorunluluğu olmamasına karşın, bu çalışmada eşit aralıkların kullanımı tercih edilmiştir. Bunun yanında alt ve üst sınırlar yazarlar tarafından belirlenmiştir. Farklı veri grupları için sınıflandırma yapılırken bu konuda daha önce yapılmış çalışmaların ayrıntılı bir şekilde incelenmesinde büyük fayda görülmektedir.

## 4. Yapılan Çalışmalar

### 4.1. Homojenlik Testi Bulguları

Trabzon ve Akçaabat istasyonlarına ait yıllık toplam yağış verilerinin homojen olup olmadığı SNHT ve Von-Neumann Testi ile %95 güven düzeyi için belirlenmiştir. Testlere ait  $T_0$  ve  $N_{VN}$  değerleri, sırasıyla Trabzon istasyonu için 5.369 ve 1.912 ve Akçaabat istasyonu için 4.797 ve 1.993 olarak belirlenmiştir. Bu değerler; her iki istasyonun verilerinin iki yöntemle göre de homojen olduğu göstermektedir.

### 4.2. Mann-Kendall Yöntemi Bulguları

Bu kısımda analizlere geçilmeden önce, istasyonlara ait aylık, mevsimlik ve yıllık toplam

yağış verilerinin otokorelasyon katsayı değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5). Daha sonra; %95 güven düzeyi için içsel bağımlılık bulunan Trabzon istasyonunun ilkbahar verilerine, bu bağımlılığın giderilmesi amacıyla TFPW Yöntemi kullanılmıştır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra Mann-Kendall Yöntemi ile eğilim analizi uygulanmıştır.

Mann-Kendall Yöntemi'nden yıllık toplam yağış değerleri için elde edilen bulgular Tablo 6'da sunulmaktadır. Tabloya bakıldığında; belirlenen Z değerlerinin mutlak değerleri, sırasıyla %90 ve %95 güven seviyesi için kritik değerler olan 1.645 ve 1.96'dan daha düşük değerde olduğundan  $H_0$  hipotezi kabul edilmiş ve bu şekilde istasyonlarda istatistik olarak anlamlı bir yönelim ortaya çıkmamıştır.

**Tablo 5.** İstasyonların aylık, mevsimlik ve yıllık toplam yağış değerleri için otokorelasyon katsayıları

İstasyon	N	$\frac{1.96}{\sqrt{N}}$	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık
Trabzon	70	0.234	0.10	0.10	-0.07	-0.17	$-8 \cdot 10^{-4}$	-0.07	-0.15	-0.14	-0.05	-0.14	-0.22	-0.10	-0.11	0.05	<b>0.25</b>	-0.18	0.04
Akçaabat	54	0.267	-0.004	-0.04	0.01	-0.13	0.11	0.06	-0.18	-0.13	-0.06	0.04	-0.16	-0.10	-0.07	-0.18	-0.24	-0.12	-0.006

**Tablo 6.** Mann-Kendall Yöntemi'nin yıllık toplam yağış değerleri için elde edilen bulguları

İstasyon	Mann-Kendall Test İstatistiği	Z Değeri	%90 Güven Seviyesi	%95 Güven Seviyesi
Trabzon	265	1.33839	Eğilim yok	Eğilim yok
Akçaabat	35	0.25365	Eğilim yok	Eğilim yok

Mann-Kendall Yöntemi için mevsimsel toplam yağış değerlerinden elde edilen bulgular Tablo 7'de verilmektedir. Tablodan mevsimsel toplam yağışlarda büyük oranda bir eğilime ratslanmadığı açıkça görülmektedir. Buna ilaveten; Trabzon istasyonu için %90 güven seviyesinde sonbahar ve ilkbahar aylarında istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler görülmüştür.

Aylık toplam yağış değerleri için Mann-Kendall Yöntemi kullanılarak yapılan analize ait bulgular Tablo 8'de sunulmaktadır. Tablodan aylık toplam yağışlarda Mann-Kendall Yöntemi'ne göre çoğunlukla eğilim bulunmadığı görülmektedir. Bunun yanında; Trabzon istasyonu için her iki güven seviyesinde (%90 ve %95) Ekim ayında ve Akçaabat istasyonu için %90 güven seviyesinde

Mart ayında istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler tespit edilmiştir.

### 4.3. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi Bulguları

Şekil 3'te Trabzon ve Akçaabat istasyonları için yıllık toplam yağış verileri kullanılarak elde edilen Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nin saçılım dağılımları sunulmaktadır. Saçılım dağılımlarının sınıflandırılmasında uzman görüşü gerektiğinden, verilerin sınıflandırılmasında farklı değerlendirme durumları söz konusu olabilmektedir. Makalede kullanılan veriler "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" değerler biçiminde gruplanmıştır. Şekil 3'te Trabzon ve Akçaabat istasyonları için verilerin sınıflandırma grafiği sunulmuştur.

**Tablo 7.** Mann-Kendall Yöntemi için mevsimsel toplam yağış değerlerinin bulguları

İstasyon	Mevsimler	Mann-Kendall Test İstatistiği	Z Değeri	%90 Güven Seviyesi	%95 Güven Seviyesi	Sen'in Eğimi
Trabzon	Sonbahar	344	1.73891	<b>Artan eğilim</b>	Eğilim yok	0.7933
	Kış	-115	-0.57796	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	İlkbahar	336	1.73514	<b>Artan eğilim</b>	Eğilim yok	0.4498
	Yaz	28	0.13688	Eğilim yok	Eğilim yok	-
Akçaabat	Sonbahar	110	0.81321	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Kış	-61	-0.44762	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	İlkbahar	205	1.52192	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Yaz	-108	-0.79829	Eğilim yok	Eğilim yok	-

**Tablo 8.** Aylık toplam yağış değerleri için Mann-Kendall Yöntemi'nin bulguları

İstasyon	Aylar	Mann-Kendall Test İstatistiği	Z Değeri	%90 Güven Seviyesi	%95 Güven Seviyesi	Sen'in Eğimi
Trabzon	Ocak	125	0.62864	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Şubat	-165	-0.83145	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Mart	259	1.30801	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Nisan	307	1.55140	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Mayıs	75	0.37517	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Haziran	-124	-0.62359	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Temmuz	-74	-0.37011	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Ağustos	1	0.00000	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Eylül	73	0.36502	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Ekim	401	2.02786	<b>Artan eğilim</b>	<b>Artan eğilim</b>	0.7437
	Kasım	47	0.23321	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Aralık	9	0.04056	Eğilim yok	Eğilim yok	-
Akçaabat	Ocak	75	0.55210	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Şubat	95	0.70128	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Mart	223	1.65630	<b>Artan eğilim</b>	Eğilim yok	0.3441
	Nisan	71	0.52229	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Mayıs	60	0.44018	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Haziran	-2	-0.00746	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Temmuz	-29	-0.20890	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Ağustos	-118	-0.87289	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Eylül	131	0.96991	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Ekim	12	0.08207	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Kasım	19	0.13429	Eğilim yok	Eğilim yok	-
	Aralık	-138	-1.02210	Eğilim yok	Eğilim yok	-

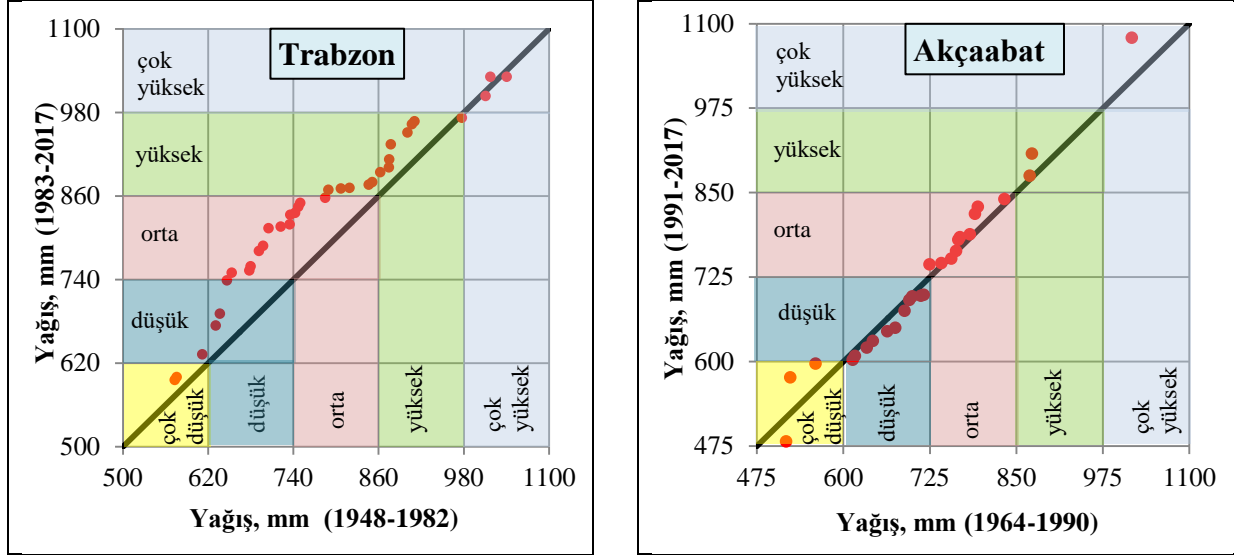
Bu grafikte sınıflandırmalara ait bölgelerin net bir şekilde görülebilmesi açısından her bir sınıf aralığı için farklı bir renklendirme kullanılmıştır. Diğer tüm grafiklerde sınıflandırma için eksenlerde bulunan ikincil çizgiler kullanılmıştır.

Trabzon ve Akçaabat istasyonlarına ait mevsimsel toplam yağışların eğilim grafikleri Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre sırasıyla Şekil

4 ve 5'te verilmektedir. Bunun yanında, her iki istasyon için aylık toplam yağışlar için de inceleme yapılmış ancak grafikleri çalışma içerisinde sunulmamıştır. Yıllık, mevsimlik ve aylık toplam yağışların dikkate alınarak elde edilen grafiklerin yorumlanması ile elde edilen, beş farklı sınıfa ait değişimler Tablo 9'da sunulmaktadır. Tablo 9'a bakıldığında; Trabzon istasyonu için "çok yüksek" ve "yüksek"

değerlerde Mart, Nisan, Haziran, Temmuz ve Eylül'de artan; Şubat, Mayıs ve Ekim'de azalan yönde eğilim olduğu belirlenmiştir. "Orta" ve "düşük" değerlerin yaklaşık yarısında artma eğilimi gözlenirken, "çok düşük" değerlerde sekiz ayda eğilime rastlanmamıştır. Aynı istasyon için mevsimsel olarak yapılan değerlendirmede, yaz mevsiminde "çok düşük" değerleri içeren veri

grubu dışında herhangi bir eğilime rastlanmamıştır. Bunun yanında diğer mevsimlerde "çok yüksek" değerler için azalan, diğer sınıflandırmaya değerleri için genellikle artan eğilimler belirlenmiştir. Trabzon istasyonu için yıllık toplam yağışlara bakıldığında; "çok yüksek" değerlerde eğilimin olmadığı, diğer sınıflarda ise artan bir eğilim olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Yıllık toplam yağışların Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre eğilim grafikleri

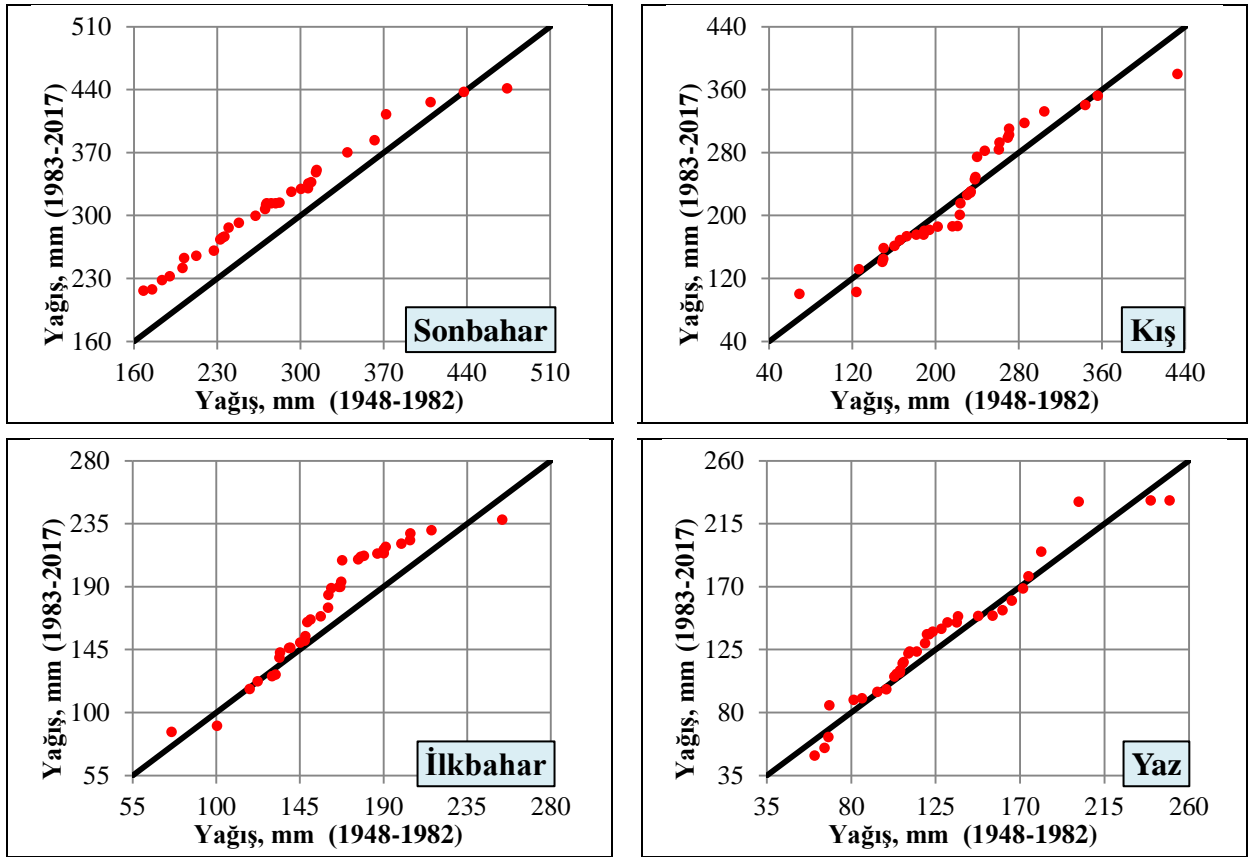
Akçaabat istasyonu aylık değerler için incelendiğinde, Ocak-Nisan ve Eylül-Ekim döneminde tüm sınıflarda ağırlıklı olarak artma eğilimi, bunun aksine Mayıs-Ağustos dönemi ile Aralık ayında çoğunlukla azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir. Mevsimlerin toplam yağışlarına bakıldığında ise, sonbaharda "çok yüksek" değerler dışında artış ve yaz mevsiminde "çok düşük" değerler hariç bir azalma eğiliminin olduğu görülmektedir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde "düşük" sınıfına giren değerler dışında ağırlıklı olarak eğilim tespit edilmemiştir. Akçaabat istasyonunun yıllık toplam verilerinin sadece "çok yüksek" değerlerinde artan yönde eğilim görülmüştür.

#### 4.4. Yöntemlere Ait Bulguların İrdelenmesi

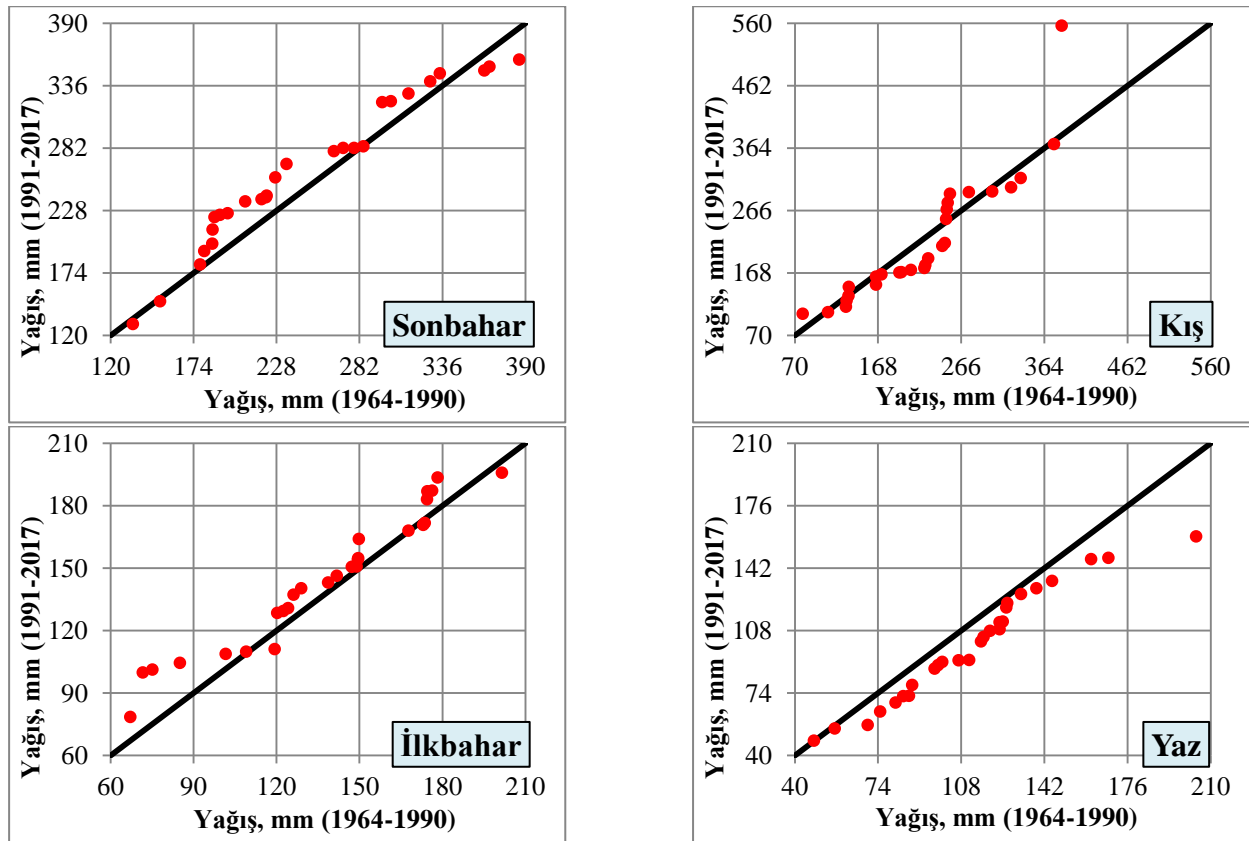
Yıllık toplam yağışlar için; Mann-Kendall Yöntemi'nde iki istasyonda da istatistiksel olarak anlamlı yönelime rastlanmazken Şen'in Yenilikçi Yöntemi için Trabzon istasyonunda "çok yüksek" sınıfına giren veriler hariç artma eğilimi görülürken; Akçaabat istasyonunda "çok yüksek" sınıfı dışında diğer sınıflarda eğilim görülmemiştir. Daha önceki çalışmalara benzer şekilde; bu çalışmada da Mann-Kendall

Yöntemi'nde herhangi bir yönelime rastlanmamasına karşın, özellikle Trabzon istasyonunda Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi için değişik aralıklarda yönelim bulunmuştur (Ay ve Kisi, 2015; Yıldırım, 2015, Dabanlı vd., 2016, Akçay, 2018).

Trabzon istasyonu için mevsimlik toplam yağışların iki yöntem için yönelim analizleri incelendiğinde; Mann-Kendall Yöntemi'ne göre sadece %90 güven seviyesinde sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde artan yönde eğilim görülürken, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre yaz mevsimi haricinde farklı veri aralıkları için artan ya da azalan yönde eğilimler gözlenmiştir. Sonbahar için Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ndeki "çok yüksek" veri grubundaki değerler dışında iki yöntemde de artan yönde eğilim gözlenmiştir. İlkbahar için Mann-Kendall Yöntemi'nde artan yönde bir yönelim görülürken, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde sadece "yüksek" ve "orta" sınıf değerleri için artan eğilim görülmüştür. Ancak Şekil 4'te ilkbahar için verilen grafiğe bakıldığında verilerin ağırlıklı olarak bu iki sınıf içerisinde toplandığı görülmektedir.



Şekil 4. Trabzon istasyonunun Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre mevsimlik toplam yağışlarına ait eğilim grafikleri



Şekil 5. Akçaabat istasyonunun Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre mevsimlik toplam yağışlarına ait eğilim grafikleri

**Tablo 9.** Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi için aylık, mevsimlik ve yıllık toplam yağışların sınıflandırılması

İstasyon	Veri Aralığı	Aylık											Mevsimlik				Yıllık	
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Sonbahar	Kış	İlkbahar		Yaz
Trabzon	Çok Yüksek	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	0	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	0	0
	Yüksek	-	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	0	0	↑	↑	↑	0	↑
	Orta	↑	↓	↑	↑	0	↑	-	0	↑	0	↑	↓	↑	0	↑	0	↑
	Düşük	↑	↑	↑	↑	↑	0	↓	↓	↑	↑	↑	0	↑	0	0	0	↑
	Çok Düşük	0	↑	0	↑	0	0	0	0	↓	↑	0	0	↑	↑	0	↓	↑
Akçaabat	Çok Yüksek	↑	↑	↑	0	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	0	↓	↑	↑	↓	↑
	Yüksek	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	0	↓	↑	0	0	↓	0
	Orta	↑	0	↑	0	↓	↓	↑	↓	↑	↑	0	↓	↑	0	↑	↓	0
	Düşük	0	↑	↑	↑	0	↓	0	0	↑	↑	0	↓	↑	↓	↑	↓	0
	Çok Düşük	0	0	↑	↑	↓	0	↓	↓	0	↑	↓	↓	0	0	↑	0	0
Açıklamalar	↑	Artan Eğilim		↓	Azalan Eğilim		(0)	Eğilim Yok		(-)	Veri Yok							

Akçaabat istasyonunun mevsimlik toplam yağışlarına bakıldığında; Mann-Kendall Yöntemi'ne göre istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir eğilim görülmezken, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde mevsimlere ve veri grubuna göre değişen artan ya da azalan eğilimlere rastlanmıştır. Özellikle yaz mevsiminde “çok düşük” veri aralığı dışında azalan yönde bir eğilim görülmüştür. Benzer şekilde azalma eğilimi Mann-Kendall Yöntemi'nde de görülmektedir, ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Mann-Kendall Yöntemi'ndeki azalma eğilimi Z değerinin eksi olması ile anlaşılabilir; ancak Z'nin mutlak değerinin 1.96'dan (%95 anlamlılık düzeyi için) küçük olması, azalma eğiliminin istatistiksel olarak anlamlı olmasını engellemektedir. İlkbahar mevsiminde ise “yüksek” veri aralığı dışındaki aralıklarda artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Sonbahar mevsiminde, “çok yüksek” veri grubunda azalma, diğer veri gruplarında ise “çok düşük” grubu dışındakilerde artma eğilimi görülmüştür. Kış mevsiminde üç veri grubunda eğilime rastlanmazken, “çok yüksek” sınıfta artan, “düşük” sınıfta ise azalan eğilime rastlanmıştır.

Aylık inceleme yapıldığında; Mann-Kendall Yöntemi'nde Trabzon istasyonu için her iki güven düzeyinde Ekim ayında, Akçaabat istasyonu için %90 güven seviyesinde Mart ayında artan eğilimler tespit edilmiştir. Trabzon istasyonunda artan eğilim belirlenen Ekim ayı için Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi benzer bir sonuç vermemiştir. Mann-Kendall Yöntemi'nin aksine “çok yüksek” ve “yüksek değer” veri aralığında azalan eğilimler görülmektedir. Bu farklılığı sebebinin; Şen'in Yenilikçi Yöntemi'nde Mann-Kendall Yöntemi ile uyumlu bir şekilde artan yönde eğilim gösteren “düşük” ve “çok düşük” sınıfta bulunan veri sayısının toplam veri sayısının büyük bir kısmını oluşturması olduğu düşünülmektedir. Akçaabat istasyonunun Mart ayında ise iki yöntem birbiri ile uyum sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen aylar dışında; Şen'in Yenilikçi Yöntemi'ne göre, Akçaabat istasyonu için tüm aylarda en az iki farklı sınıfta artan ya da azalan yönde eğilim görülmüştür. Yukarıda bahsedildiği gibi Mann-Kendall Yöntemi'nde her bir istasyonda sadece birer ayda eğilim tespit edilmiştir. Bu yönü ile iki yöntem birbiri ile farklılık göstermektedir.



Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nin asıl avantajı, sınıflandırmalar için eğilim durumu hakkındaki bilimsel sözel bilgiler ortaya koymasıdır. Önceki çalışmalarda; istatistiksel değerlendirmelerin yapıldığı sayısal bilgiler içeren sonuçlara daha sık rastlanmaktadır, ancak önemli sözel bilgiler eksiktir. Sözel bilgi, su kaynaklarının planlama, yönetim, işletme ve bakım aşamalarının tümünde en çok talep edilen bilgidir (Dabanlı vd., 2016).

#### 4.5. Bulguların Önceki Çalışmalarla Kıyaslanması

Saplıoğlu ve Çoban (2013) yaptıkları çalışmada Trabzon istasyonu yıllık ortalama yağışlarını 1971-2010 yılları arasında incelemiştir. Tüm veri gurupları için Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'ne göre artan yönde eğilim tespit etmişlerdir. Saplıoğlu ve Çoban'ın (2013) çalışmasından farklı olarak bu çalışmada yüksek değerlerde eğilime rastlanmamıştır. Bu farklılığın incelenen veri aralığının birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Çeribaşı ve Doğan (2015) çalışmalarında hem Trabzon hem de Akçaabat istasyonundaki yıllık ortalama yağışların 1979-2012 yılları arasındaki eğilimleri Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Her iki istasyonda bu çalışmadaki Mann-Kendall Yöntemi'ne benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir eğilimle karşılaşmamışlardır.

Ay ve Kisi (2015) tarafından Trabzon istasyonu için 1970-2005 yılları arasında yapılan aylık incelemede genellikle artan bir eğilimin olduğu ancak bu eğilimin Mann-Kendall Yöntemi'ne göre sadece Mart ve Ekim aylarında istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Verilerin daha uzun olduğu çalışmamızda, Mann-Kendall Yöntemi'ne göre sadece Ekim ayında istatistiksel olarak anlamlı eğilim gözlenmiştir. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi karşılaştırıldığında bazı aylarda benzer sonuçlar elde edilmiştir, ancak birbirinden farklı eğilim gösteren aylarda mevcuttur. Bu durumun farklı veri aralıklarında değerlendirme yapılmasından kaynaklandığı açıktır. Çanlı (2015) yaptığı çalışmanın özet kısmında uzun yıllar toplam yağış ortalaması değerlendirildiğinde Trabzon istasyonunun dışında artış eğilimi olduğu sonucuna varıldığını ifade etmekte, ancak metin içerisinde Trabzon istasyonunun eğilimi ile ilgili bir bilgi vermemektedir. Bu nedenle Çanlı (2015) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile kıyaslama yapılamamıştır. Polat ve Sunkar (2017) çalışmalarında Trabzon istasyonu için Mann-Kendall Yöntemi kullanarak 1970-2014 arası

dönemde yıllık ortalama yağış değerlerinde artan bir eğilim olduğu sonucuna varmıştır. Bu sonuç "çok yüksek" değerler sınıfı hariç Şen'in Yenilikçi Yöntemi sonuçları ile uyum sağlamasına karşın, yukarıda bahsedildiği gibi mevcut çalışmamızda yıllık toplam yağışlarda Trabzon istasyonunda Mann-Kendall Yöntemi'nde %90 ve %95 güven düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim ortaya çıkmamıştır.

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada Trabzon İli'ne ait olan yağışların yıllık, mevsimsel ve aylık eğilimlerini belirlemek için Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Eğilim yöntemleri kullanılmış ve yöntemler hem kendi içinde hem de önceki çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen Trabzon İli, Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi bulunmakta ve nüfus açısından bölgenin en büyük ili konumundadır. Eğilim analizi için Trabzon İli'nde bulunan Trabzon ve Akçaabat istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır. Veriler %95 güven düzeyinde SNHT ve Von-Neumann yöntemlerine göre homojen çıkmıştır.

Yıllık, mevsimlik ve aylık toplam yağış değerleri için Mann-Kendall Yöntemi ile yapılan analizde; Trabzon istasyonu için sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde %90 güven seviyesinde ve Ekim ayında %90 ve %95 güven düzeylerinde artan eğilimler, Akçaabat istasyonu için %90 güven düzeyinde Mart ayında yine artan yönde eğilim görülmüştür. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde ise Mann-Kendall Yöntemi'nin tersine, birçok zaman dilimindeki veri aralıkları için artan ya da azalan yönde eğilimler görülmüştür. Trabzon istasyonu için "çok yüksek" ve "yüksek" veri grubunda Mart, Nisan, Haziran, Temmuz ve Eylül aylarında artan yönde; Şubat, Mayıs ve Ekim aylarında azalan yönde eğilim olduğu görülmüştür. Yaz mevsiminde "çok düşük" veri grubu hariç hiçbir veri aralığı için eğilime rastlanmayan istasyonda, yıllık toplam yağışlara bakıldığında "çok yüksek" veri aralığı dışındaki gruplarda artan yönde bir eğilimin olduğu görülmektedir. Akçaabat istasyonu aylık toplam yağışları değerlendirildiğinde, Ocak-Nisan ve Eylül-Ekim döneminde tüm sınıflarda ağırlıklı olarak artma eğilimi, bunun aksine Mayıs-Ağustos dönemi ile Aralık ayında çoğunlukla azalma eğilimi olduğu görülmüştür. İstasyona ait veriler mevsimsel olarak incelendiğinde; genel olarak sonbaharda ve ilkbaharda artan, yaz mevsiminde ise azalan yönde eğilimler görülmüştür. Kış

mevsimi ile birlikte yıllık toplam yağış değerlerinde de genel olarak eğilime rastlanmamıştır.

Önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalarda tam olarak bir uyum gözlenmemiştir. Bunun nedeninin farklı aralıkta verilerle inceleme yapıldığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışma sonucunda Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi verileri farklı sınıf için analiz yapabiliyor olması ve sözel bilgiler vermesi açısından önemli sonuçlar ortaya çıkmasını sağlamış, bu şekilde kuraklık ve taşkın gibi iklimle ilgili hadiseler hususunda fikir sahibi olma imkânı sunmuştur.

## Kaynaklar

- Acar, R. ve Şenocak, S., 2007. Türkiye'deki Kısa Süreli Yağışların Trend Analizi. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildirileri, 11-13 Nisan, İstanbul, Türkiye, s.335-349.
- Akçay, F., 2018. Doğu Karadeniz Havzası Aylık ve Yıllık Ortalama Akımlarının Eğilim (Trend) Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 111s.
- Alashan, S., Toprak Z.F. ve Şen, Z., 2015. İklim Değişikliğinin Murat Nehri Su Gücü Potansiyeline Etkisi, 4. Su Yapıları Sempozyumu Bildirileri, 19-20 Kasım, Antalya, Türkiye, s.331-340.
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data, Journal of Climate, 6(6), 661-675.
- Ay, M. ve Kisi, O., 2015. Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. Theoretical and Applied Climatology, 120(3-4), 617-629.
- Buishand, T.A., 1981. The Analysis of Homogeneity of Long-Term Rainfall Records in the Netherlands, KNMI Scientific Report, WR 81-7, KNMI, De Bilt, Netherlands.
- Çanlı, Ö., 2015. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 51s.
- Çeribaşı, G. ve Doğan, E., 2015. Karadeniz ve Sakarya Havzalarında yıllık ortalama yağışların trend analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 7(1), 1-7.
- Dabanlı, İ., 2017. Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 133s.
- Dabanlı, I., Sen, Z., Yelegen, M.O., Sisman, E., Selek, B. ve Guclu, Y., 2016. Trend assessment by the Innovative-Şen Method. Water Resources Management, 14, 5193-5203.
- Demirci, E. ve Cuhadaroglu, B., 2000. Statistical analysis of wind circulation and air pollution in urban Trabzon. Energy and Buildings, 31(1), 49-53.
- Doğan, E., Çeribaşı, G. ve Akkaya, U., 2016. Barajların nehir akımı rejimine olan etkilerinin trend analizi yöntemi ile araştırılması: Sakarya Nehri örneği. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1), 50-55.
- DSİ, Devlet Su İşleri (2018, 12 Nisan). Toprak ve Su Kaynakları, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>
- IPCC, 2013. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Karagül, R., 1999. Trabzon-Söğütödere havzasında farklı arazi kullanım şekilleri altındaki toprakların bazı özellikleri ve erozyon eğilimlerinin araştırılması. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 53-68.
- Karstarlı, Ç., Kömürcü, M.İ., Akpınar, A., Uzlu, E., Kankal, M. ve Önsoy, H., 2011. Doğu Karadeniz Havzasındaki Hidroelektrik Potansiyelin Analizi. 2. Su Yapıları Sempozyumu Bildirileri, 16-18 Eylül, Diyarbakır, s.129-138.
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods: Charless Griffin, London, 135p.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. The Econometric Society, 13(3), 245-259.
- MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2018a, 12 Mayıs). İklim verileri bülteni, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/2017iklimVerileriHaberBulteni.pdf>.
- MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2018b, 12 Mayıs). İllere ait mevsim normalleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>.
- Nacar S., Bayram A. ve Satılmış U., 2016. Temporal Variation of Organic and Inorganic Carbon Transport from the Southeastern Black Sea (Trabzon Province) Rivers, ICENS 2016, 24-28 May, Sarajova, Bosna Hersek, Book of Proceedings, Chapter 7, pp. 1843-1847.
- Özfidaner, M., Şapolyo, D. ve Topaloğlu, F., 2016. İç Anadolu Bölgesi Yağış Verilerinin Gidiş

- Analizi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, TRAGİD özel sayı, 161-168.
- Polat, P. ve Sunkar, M., 2017. Rize'nin iklim özellikleri ve Rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 27(1), 1-24.
- Saplıoğlu, K. ve Çoban, E., 2013. Karadeniz Bölgesi Yağış Serilerinin Trend Analizi, VII. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildirileri, 26-27 Eylül, Isparta, Türkiye, s.500-512.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. Journal of American Statistical Association, 39, 1379-1389.
- Şen, Z., 2012. Innovative trend analysis methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046.
- Türkeş, M., 2002. Küresel ısınma rekor kırıyor. Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, 370, 20-21.
- Von Neumann, J., 1941. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance, Annals of Mathematical Statistics, 12(4), 367-395.
- Von Storch, H. ve Navarra, A., 1995. Analysis of Climate Variability: Springer, NewYork, 334p.
- Yıldırım A., 2015. Trend Analizi Yöntemleri: Orta Fırat Havzası Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 85s.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. ve Cavadias, G., 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes, 16, 1807-1829.
- Yukse, O., Kankal, M. ve Ucuncu, O., 2013. Assessment of big floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 185, 797-814.

## Yeşil Bina Tasarımında Su ve Enerji Yönetimi Üzerine Uygulama Örneği

### Example of Application on Water and Energy Management in Green Building Design

Elif GEÇER<sup>1,a</sup>, İlknur ŞENTÜRK<sup>\*2,b</sup>, Hanife BÜYÜKGÜNGÖR<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 06010, Ankara

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 31.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 15.11.2018

#### Öz

Su kaynaklarının hızla tükenmesi, küresel ısınma, şehirlerde giderek artan hava kirliliği ve doğal kaynaklarımızın gün geçtikçe daha da tükenmesi hızla gelişen yapı ve inşaat sektöründe çevre dostu ekolojik binaların tasarlanmasını gündeme getirmiştir. Zaman içinde çevre dostu bina yapımına ilgi giderek artarken, yeşil bina olarak tanımlanan yeni yapılar ortaya çıkmıştır. Yeşil, ekolojik, iklim ve çevre dostu, sıfır karbon salınımlı, yüksek performanslı gibi değişik etiketler taşıyan binalar hızla gündemimize girmektedir. Bu çalışmada, Samsun iline bağlı Karabahçe köyünde bulunan bir konutun gayrimenkul sektöründeki çevreci gelişmeler ile birlikte sürdürülebilirlik kavramı temel alınarak yeşil bina kavramına uygun olarak tasarlanması için gerekli adımlar incelenmiştir. Seçilen konut üzerinde yeşil bina gerekliliklerini sağlayacak şekilde incelemeler yapılmış ve konutta yapılması gereken düzenlemeler ortaya konulmuştur. Konutta su yönetimi ön plana çıkarılarak suyun daha verimli kullanılabilmesi ve enerji verimliliği için yapılabilecek uygulamalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Çevre dostu, Sürdürülebilirlik, Yeşil bina

#### Abstract

Rapid consumption of water resources, global warming, increasing air pollution in cities and day-to-day depletion of natural resources necessitate the construction of environment-friendly and ecological buildings in rapidly developing construction sector. While the attention to the construction of environmental-friendly buildings is increasing, the new structures that are named as green-buildings come up. Buildings that are labeled as green, ecological, climate and environment-friendly, zero-carbon emission, high-performance etc. become a main issue in terms of the environment. In this study, the essential steps are researched for designing a residence in Karabahçe Village of Samsun Province in accordance with green-building concept, sustainability and environmental progress in real estate sector. The examination is made on the selected residence within the scope of green-building criteria and the necessary arrangements to be made on residence, are revealed. In addition, some suggestions are made about water management, more efficient usage of water and energy efficiency in the selected residence.

**Keywords:** Eco-friendly, Sustainability, Green Building

\*b İlknur ŞENTÜRK; ilkknur.senturk@gmail.com; Tel: (0346) 219 10 10; orcid.org/0000-0002-8217-2281

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-9902-7614

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-1201-6862

## 1. Giriş

Günümüzde yapı sektörü doğadan elde edilen hammaddenin %50'sini, küresel enerjinin %40'ını ve suyun %16'sını tüketirken oluşan atıkların da %50'sinden sorumludur (Sev, 2009). Enerji ve doğal kaynakların tüketiminde büyük paya sahip olan binalar, kentlerdeki hava ve su kalitesini de etkileyerek iklim değişikliğine neden olmaktadır (Vyas vd., 2014). Şehirlerdeki hava kirliliğinin %23'ü, sera gazı üretiminin %50'si, su kirliliğinin %40'ı ve katı atığın %40'ı binaların sebep olduğu çevre sorunlarıdır (Dixon, 2010). Binalardan kaynaklı çevresel ve sosyal sorunların çözümünde ilkeleri, stratejileri ve yöntemleri belirleyerek konuya sistematik bir yaklaşım getiren "sürdürülebilir mimarlık" kavramı öne çıkmıştır. Sürdürülebilir mimarlık; ihtiyaç duyulan binaların yapım, kullanım ve yıkım süreçlerinde doğaya verilen zararın en aza indirildiği, ekolojik dengenin gözetildiği, malzemenin, suyun ve enerjinin etkin olarak kullanıldığı faaliyetler bütünü olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir binalarla, kullanıcıların sağlığı ve konforu korunurken, yapım ve kullanım aşamalarında doğal kaynakların varlığının ve geleceğinin tehlikeye atılmaması ve yıkımından sonra da diğer binalar için kaynak oluşturması ya da doğaya zarar vermeyecek şekilde atık oluşturması hedeflenmektedir (Gür, 2007; Yılmaz vd., 2016). Bu hedefi karşılamak için tasarlanan yeşil binalar doğal kaynakların etkin kullanıldığı, gelişim gösteren "sürdürülebilir, çevre dostu, ekolojik, akıllı" yapılar olarak tanımlanmaktadır (Özmehmet, 2008). Yapıların çevreye olumsuz etkilerinin somut olarak belirlenebilmesi için yeşil bina değerlendirme sistemleri ve sertifika programları oluşturulmuştur (Erten, 2011).

İlk olarak 1990 yılında, binalara ilişkin değişik çevresel konuları eş zamanlı olarak değerlendirmek üzere BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method-Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Yöntemi) sistemi ortaya konmuş, bu tarihten itibaren çok sayıda yeşil bina değerlendirme sistemi geliştirilmiştir. 10 başlık altında toplanan değerlendirme konuları arasında enerji, yönetim, sağlık ve konfor başlıkları yer almaktadır (Tuna, 2013). 2010 yılında Türkiye için yerel "Yeşil Bina Sertifika Sistemi" oluşturulmaya başlanmıştır ve 2013 yılında SEEB-TR (Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar) yayımlanmıştır. "SEEB-TR pek çok üniversiteden akademisyenler ile sivil toplum kuruluşları tarafından aylarca süren çalışma ile BREEAM

(İngiltere), LEED (ABD), CASBEE (Japonya) ve DGNB (Almanya) sertifikasyon sistemlerinin incelenmesi sonucunda Türkiye koşullarına en uygun yeşil bina sertifikasyon sistemi olarak oluşturulmuştur (URL-1, 2018).

Kullanılan malzemelerle ve iç hava kalitesiyle sağlıklı, artan yeşil alan kullanımından kaynaklı düşük CO<sub>2</sub> emisyonuyla ve inşaat aktivitelerinde çevre kirliliğinin düşük seviyede tutulmasıyla çevreye saygılı, enerji tasarrufu sağlanarak işletme maliyetlerinin düşürülmesiyle ekonomik olan yüksek performanslı binaları tanımlayan LEED (Leadership in energy and environmental design) yeşil bina derecelendirme sistemi, gönüllü bir standart olup US Green Building Council- ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından verilmektedir. Söz konusu derecelendirme değişik puanlama ağırlığına sahip aşağıda sıralanmış olan 6 kategoride yapılmaktadır (Yaman, 2009):

1. Sürdürülebilir alanlar
2. Su verimliliği
3. Enerji ve atmosfer
4. Malzemeler ve kaynaklar
5. İç mekan kalitesi
6. Tasarımda yenilikler

Yeşil binaların sahip olduğu başlıca avantajlar aşağıda verilmiştir (Erdede vd., 2014):

- Binalardan kaynaklı karbondioksit salınımını azaltması,
- İnşaat aşamasında çevre tahribatını en aza indirmesi,
- İşletme masraflarının azalması,
- Yenilenebilir enerjinin kullanımını ve geliştirilmesini sağlaması,
- Hafriyat ile ortaya çıkan atık malzemenin değerlendirilmesi,
- Yeşil çatı uygulaması ile yağmur sularının biriktirilip kullanılması,
- Doğal ışıktan yararlanma ve enerji tasarrufu sağlaması,
- İzolasyon sistemleri ile ısıtma soğutma maliyetlerinin azaltılması,
- Binanın değerini artırması,
- Kullanıcılara daha sağlıklı ve verimli ortamın sunulması,
- Kentsel yaşam alanlarına değer katması.

Oldukça önemli avantajlara sahip olan yeşil binaların tüm dünyada yaygınlaştırılması için çalışmalar devam etmektedir. Günümüzün en önemli problemlerinden birisi her geçen gün artan su ve enerji tüketimi, var olan kaynakların bilinçsizce kullanılması, su kaynaklarının giderek azalması ve hızla gelişen inşaat sektörünün bu



sorunları daha da artırmasıdır. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak böyle bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, bir binanın yeşil bina tanımına kavuşabilmesi için yapılması gereken çalışmaları seçilen bir konut üzerinden basit, anlaşılır bir şekilde bu konu ile ilgilenen kişilere aktarabilmektir. Ayrıca binalarda yapılacak küçük ve düşük maliyetli değişiklikler ile su ve enerji kullanımında verimlilik sağlanabileceği anlatılmaya çalışılmıştır. Mevcut bir konutun su ve enerji tüketiminde yapılabilecek tasarruflar ile konutun “Yeşil Bina” konseptine adapte edilebilmesi için ilk adımların atılabileceği gösterilmiştir. Çalışma iki bölüm halinde düzenlenerek konut için su ve enerji tüketim alanları belirlenmiş mevcut durumdaki tüketim

alanları belirlenerek yeşil bina kavramına uygun hale getirilmesi için yapılabilecek düzenlemeler hakkında Çevre Mühendisliği bakış açısıyla önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Analitik Yöntemler

Bu çalışmada bir binanın ‘Yeşil’ sıfatını taşıyabilmesi için gerekli özellikler belirlenmiş ve gerçekleştirilebilecek uygulamalar incelenmiştir. Seçilen konut Samsun ili Çarşamba ilçesine 18 km uzaklıkta bulunan Karabahçe köyündedir. Şekil 1’de köyün konumu ve seçilen konut verilmiştir. Köyün nüfusu 750 civarındadır. Gerek denize gerekse anayola olan yakınlığı köyü daha işlevsel kılmaktadır. Köyün gelişimine bir diğer katkı sağlayan durum ise havaalanına yakınlığıdır.



Şekil 1. (a) Karabahçe Köyü'nün konumu, (b) Seçilen konuta ait görseller



Konutta 2 kişi yaşamaktadır. Ancak yaz aylarında bu sayı 4 olabilmektedir. Konut 120 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir. Konut duvarları tuğla malzeme üzerine sıva kaplama ile yapılmıştır. Pencereleer ısı yalıtımlı pimapen ve çatı kiremit kaplamadır.

Tablo 1’de konutun mevcut durumu özetlenmiştir. Konutun çevre dostu bir yapıya dönüştürülmesi planlanmıştır ve bu amaç doğrultusunda değişmesi gereken sistemler veya eklenen bölümler ise Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Konutun mevcut durumu

<b>Bahçe sulama</b>	Seçilen konut yaklaşık olarak 3200 m <sup>2</sup> arazi içerisinde yer almaktadır. Bu arazinin yaklaşık 900 m <sup>2</sup> ’lik kısmında sebze yetiştiriciliği yapılmakta ve yazın daha fazla olmak üzere sulama ihtiyacı duyulmaktadır. Bu sulama ihtiyacı konutun bahçesinden sondaj ile çıkarılan yeraltı suyundan karşılanmaktadır.
<b>İçme suyu ve konut içerisinde kullanılan su</b>	Konut içerisinde içme, temizlik, duş vb. için ihtiyaç duyulan su şebekeden sağlanmaktadır. Harcanan su miktarı aylık 15-20 m <sup>3</sup> (Ortalama 17 m <sup>3</sup> ) arasında değişmektedir.
<b>Sıcak su ihtiyacı</b>	Mutfakta ve duşta ihtiyaç duyulan sıcak su elektrikli şofbenler yardımıyla sağlanmaktadır.
<b>Elektrik tüketimi</b>	Aydınlanma ve evdeki elektrikli eşyaların kullanımı için gereken elektrik şebekeden sağlanmaktadır. Aylık harcanan enerji 230-300 kWh arasında değişmektedir.
<b>Isınma</b>	Kışın ısınma amacıyla fosil yakıtlar (odun, kömür, vb.) kullanılmaktadır. Yıllık ortalama 1 ton kömür ve 250 kg odun ısınma amaçlı tüketilmektedir.

**Tablo 2.** Konutun yeşil binaya dönüştürülmesi için yapılması gerekenler

<b>Öneri</b>	<b>Kullanım amacı</b>
Yağmur suyu toplama kanalları	Çatıdan yağmur suyunun toplanması ve filtreden geçirilip sulamada kullanılması
Gri su geri kazanım sistemi	Toplanan gri suyun basit arıtmadan sonra tuvalet rezervuarlarında ve temizlikte kullanılması
Damla sulama sistemi	Bahçe işlerinde sudan tasarruf edilmesi amacıyla damla sulama sistemi kullanılması
Giydirme cephe	Yazın sıcak havanın, kışın soğuk havanın etkisinin azaltılması için yalıtım sistemi tasarlanması
Elektrikli yer döşeme	Isınmada kullanılan fosil yakıtlardan vazgeçilerek elektrikli ısıtma sisteminin kullanılması
Güneş kolektörü	Güneş kolektörü ile binaya sıcak su temini
Doğal havalandırma	Doğal havalandırma sistemi ile bina içi hava kalitesinin üst seviyede tutulmasının sağlanması
Fotoselli armatürler	Sudan tasarruf etmek amacıyla armatürlerin fotoselli olanları ile değiştirilmesi. Banyo, lavabo, mutfak ve rezervuarlarda ısı ve debi ayarlı armatürler kullanılması durumunda yılda %67’lere varan oranlarda su tasarrufu sağlanabilmektedir.
Reflekte edilmemiş çift cam	Zehirlilik oranı düşük malzemeler kullanılarak çift cam sistemiyle enerji tasarrufu sağlanması
Gün ışığından faydalanma	Konutun karanlıkta kalan bölümlerinin enerji harcanmadan gün ışığı ile aydınlatılması

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Su Kullanımı

Suyun dünya üzerinde en yaygın kullanımı %70 oranla tarım sektöründedir. Çalışmada seçilen konut tarım alanında bulunmaktadır. Gerek

sulama için gerekse ev içinde kullanılan suyun kaynak yönetiminin yapılması yeşil bina olma yolundaki aşamaların en önemlilerindedir. Konut içerisinde su tasarrufu sağlayabilmek küçük bir adım olarak görülse de teknolojik açıdan gelişmiş elemanların kullanılması konutun toplam enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır.

### 3.1.1 İçme Suyu Kullanımı

Konut içerisinde içme suyu ihtiyacı şebekeden sağlanmaktadır ve aylık ortalama su tüketimi 17 m<sup>3</sup>'dür. Bu miktarın bir kısmı içme suyu olarak bir kısmı ise temizlik, çamaşır vb. işlemler için kullanılmaktadır. Bunun yanında konutun bahçesinden sondaj ile çıkarılan yeraltı suyu bahçe sulamada kullanılmaktadır. Yeraltı

kaynaklarının kullanımı mali açıdan insanlar için cazip görülebilir fakat bu kaynakların da tükenebileceği göz ardı edilmemeli ve devamlılığı için kullanımına dikkat edilmelidir. Bahçeden çıkarılan sondaj suyunun içme suyu olarak kullanılmasının uygunluğunu test etmek amacıyla kaynaktan alınan su analiz edilmiş ve analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Yeraltı suyunun özellikleri

Parametre	İçme suyundaki değer	TSE 266'ya göre istenen değer
pH (25°C)	7.27	6.5-9.5
EC (25°C)	1244 µS/cm	<2500 µS/cm
ÇO (35°C)	6.16 mg/l	>7 mg/l
KOI (mg/l)	36 mg/l	0
AKM (mg/l)	6 mg/l	≤1 mg/l

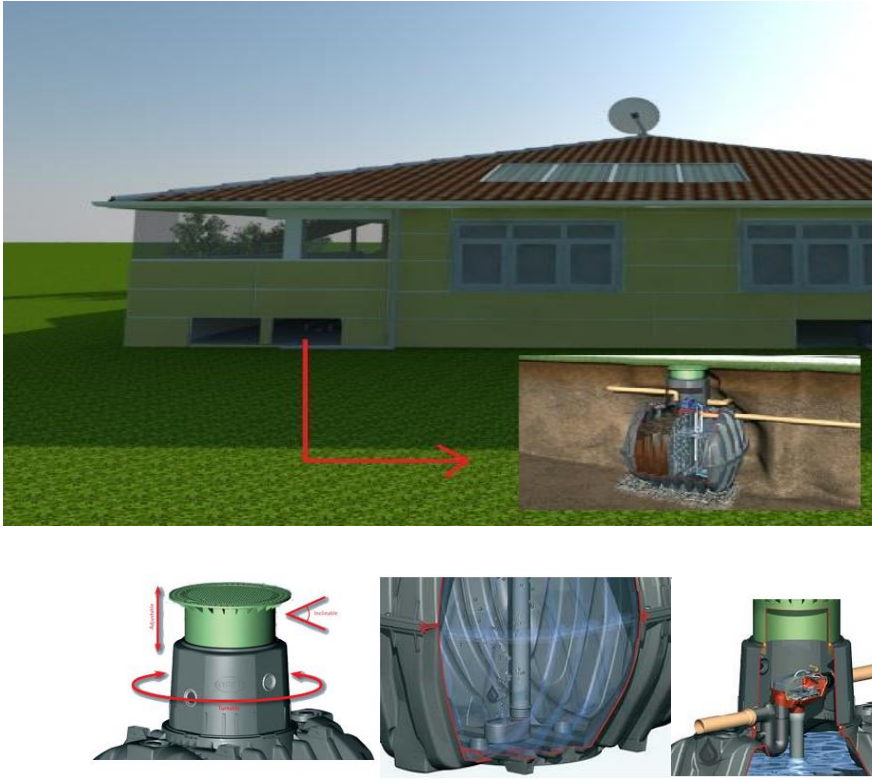
Suyun pH değeri 7.27 olarak ölçülmüştür. TSE 266'ya göre olması gereken değer 6.5-9.5 arasında olduğu için pH değeri içme suyu açısından uygundur. İletkenlik, çözülmüş iyonların bir fonksiyonudur. Bu sebeple iletkenlik izleyici parametredir. İçme suyunda iletkenlik artışı, suyun kirlendiğinin veya deniz suyu karıştığına bir göstergesidir. Ölçülen iletkenlik değeri TSE 266 açısından uygundur.

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), evsel ve endüstriyel atık suların organik kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Sondaj suyuna yapılan analizler sonunda içme suyunda sıfır olması gereken KOI değerinin 36 mg/l çıktığı görülmektedir. Suda kirlilik göstergesi olan bu değer sondaj suyunun içme suyu olarak kullanılmasını engellemektedir. Benzer şekilde TSE 266'ya göre askıda katı madde miktarının kabul edilebilir üst sınır değeri 1 mg/l'dir ve analiz sonuçları bunun üstünde çıkmıştır. Suda askıda katı madde (AKM) bulunması tat ve koku problemi oluşturabilir. AKM estetik açıdan da önemli bir parametredir. Ayrıca AKM içeriği yüksek sulara, içeriğinin bilinmemesi nedeniyle kuşkuyla yaklaşılmalıdır. Çünkü yüksek AKM değeri; evsel endüstriyel atıklardan, bitki tozlarından, yağışlardan vb. dolayı oluşabilir. Analiz sonucunda içme suyunda bulunmaması gereken KOI ve AKM değerlerine rastlandığı için bu suyun içme suyu olarak kullanılamayacağı kesindir. Yapılan analiz ve değerlendirmelere göre içme suyu temini yeraltı

suyundan sağlanamayacağından konutta şebeke suyu kullanımına devam edilecektir.

### 3.1.2 Yağmur Suyu Yönetimi

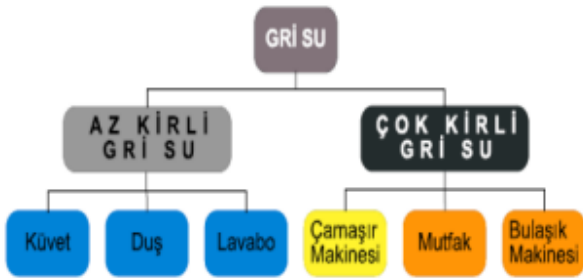
Su sıkıntısının giderek daha fazla hissedildiği tüm dünyada alternatif kaynak arayışının yanında mevcut kaynakların kullanımında da gerekli özenin gösterilmesi sadece kurumlardan değil tüm bireylerden beklenmektedir. Ülkemizde su problemlerinin yaşanmaya başladığı bu günlerde, toplam su tüketiminde büyük bir orana sahip olan bahçe sulamasında, yağmur suyu kullanımının teşvik edilmesi su tüketimini büyük oranda düşürecektir. Bu durum göz önüne alınarak seçtiğimiz konutta bahçe sulamada kullanılmak üzere yağmur suyu toplama sistemi uygun görülmüş ve sulamada günlük kullanılan su miktarından tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir. Konutun bodrum kısmına yerleştirilmesi planlanan yağmur suyu toplama tankı Şekil 2'de görülmektedir. Kullanılacak tankın kapasitesi 2.2 tondur. Konut yanında bulunan ve sebze yetiştiriciliği yapılan 900 m<sup>2</sup>'lik bahçenin sulanmasında sondaj suyu yerine tankta depolanan yağmur suyu alternatif sulama kaynağı olarak kullanılacaktır. Basit bir yağmur suyu deposunda depolanan ve filtrelenen yağmur suyu birçok amaçla kullanılabilir. Bina dışında; bahçe sulamada, araba yıkamada kullanılırken, bina içinde de; temizlikte, balkon akıtma gibi işlemlerde kullanılabilir. Bu sayede sondaj suyu kullanımı azaltılarak yeraltı kaynakları korunmuş olacaktır.



Şekil 2. Yağmur suyu depolama tankı

### 3.1.3. Gri su geri kazanım sistemi

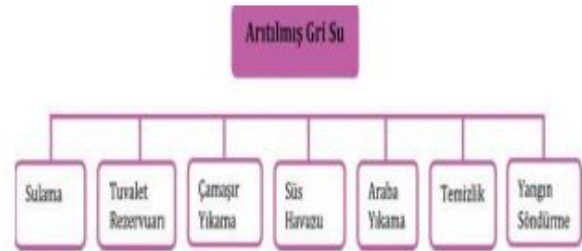
Gri su, evsel atık suyun siyah su içermeyen kısmına, yani duştan, lavabodan, küvetten ve hatta mutfaktan gelen atık suya denir (Şekil 3). Gri sular %75'lik pay ile hacimsel olarak evsel atık suyun en yüksek yüzdesini oluşturur (Karahan, 2011; Kutlu vd., 2017).



Şekil 3. Gri suyun kaynaklarına göre sınıflandırılması (URL-2, 2017)

Gri su geri kazanımı, evsel atık suyun en az kirli olan kısmının, yani duştan, lavabodan, küvetten gelen suyun tekrar kullanılmak üzere arıtılmasıdır. Bazı özel durumlarda çamaşır makinesi ve mutfaktan atılan su da gri suya dahil edilerek geri kazanımı sağlanabilir (Kutlu vd., 2017). Arıtılmış

gri sular ise Şekil 4'de verilen alanlarda kullanılabilir.



Şekil 4. Başlıca arıtılmış gri su kullanım yerleri (URL-2, 2017)

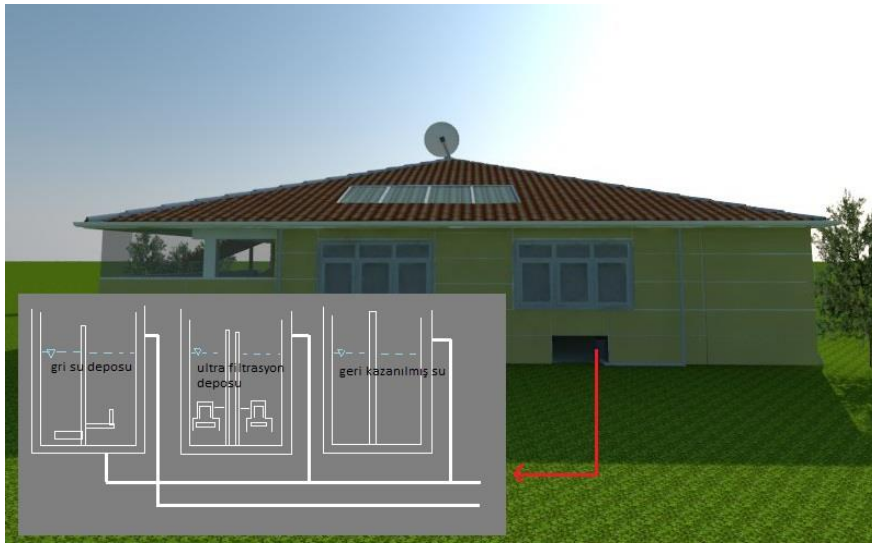
Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama, sanayi, akifer besleme, tuvalet sifon suyu, yeşil alan sulaması vb. amaçlı yeniden kullanımı, dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Bazı ülkelerde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranı %80'lere ulaşmıştır. Bu nedenle konu ülkemiz açısından da büyük önem taşımaktadır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında, kullanım amacının gerektirdiği su kalitesi kriterlerinin (Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği) sağlanması da ayrıca önemlidir (Tanık vd., 2016).

Gri suların arıtılması diğer sistemlerle kıyaslanırsa; daha hızlı ve kısa bir sürede ve daha

az maliyetli bir şekilde arıtılmaktadır. Elde edilen arıtılmış suyun kalitesi ise çok daha hijyenik olmaktadır. Arıtılmış gri suyun kullanım suyu olarak kullanılması su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamasının yanında doğadaki su dengesi üzerinde de pozitif etkileri vardır. Ayrıca, yağmur suyu toplama sistemi ile kıyaslandığında yağmur suyu sisteminin aksine, gri su geri kazanımı mevsime ve yağış değişimine bağlı değildir ve devamlı güvenilir su kaynağıdır (URL-3, 2015).

Konutta kullanılacak gri su geri kazanım sisteminin Şekil 5’de görüldüğü gibi konutun bodrum katına konulması planlanmıştır. Sistem 1-15 bar arasında bir basınçla sızının ultrafiltrasyon

filtrelerine basılmasıyla çalışır. İşletme maliyeti son derece düşük ve ekonomik bir sistemdir. Kirli su deposu, ultrafiltrasyon tankı ve temiz su deposu şeklinde yer alacak sistemde lavabo ve duştan toplanacak az kirletilmiş su, ilk depoya gelerek burada oksijen ile zenginleştirildikten sonra dinlendirilir. İkinci aşama olarak organik maddeler bakteriler tarafından yok edilir ve son olarak ultrafiltrasyon yöntemiyle yeniden kullanıma hazır hale getirilerek temiz su deposunda bekletilir ve ihtiyaç duyulduğunda buradan su temini sağlanır. Arıtılan suyun temizlik işlerinde, çamaşır yıkanmasında, tuvalet rezervuarlarında ve sulamada kullanılması planlanmıştır.



Şekil 5. Gri su geri kazanım tankı

Konut içerisinde aylık  $17 \text{ m}^3$  su tüketilmektedir. Günlük tüketim miktarı  $17 \text{ m}^3 / 30 \text{ gün} = 0.567 \text{ m}^3$  olarak belirlenmiştir. Bu miktarın içerisinde gerçekleşen sızmalar da göz önüne alındığında,  $1 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'lük depolar tasarım için uygun olacaktır.

#### 3.1.4. Damla Sulama Sistemi

Sulamada esas ilke tarla başına kadar getirilmiş suyun, en az kayıpla bütün tarlaya dengeli bir şekilde yayılmasıdır. Bu çalışma kapsamında tarımsal alanların sulanmasında damla sulama sistemi tercih edilmiştir. Sistemin en önemli özelliği, alanın tamamı ıslatılmayıp, sadece bitki sırası boyunca ıslak bir şerit elde edilir ve bitki sıra arasında kuru bir alan kalır. Böylece mevcut sulama suyundan en üst düzeyde yararlanılır. Damla sulama sistemi bitkinin su ihtiyacının düzenli karşılanarak daha fazla verim elde edilmesini sağlarken, sudan büyük ölçüde tasarruf

sağlanmaktadır. Mevcut su kaynaklarını daha tasarruflu bir şekilde kullanmak için bahçe sulamasında damla sulama yapılması tercih edilmiştir. Ayrıca konut için tasarlanan yağmur suyu toplama sistemi de sulama amacıyla devreye girdiğinde yeraltı su kaynağının kullanımı minimum seviyeye çekilmiş olacaktır.

Projedeki arazinin yaklaşık  $900 \text{ m}^2$ 'lik kısmında sebze yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kış aylarında genellikle lahanaya, yaz aylarında ise mısır, fasulye, domates, salatalık, biber gibi sebzeler yetiştirilmektedir. Kışın yağmurların etkisiyle daha az sulamaya ihtiyaç duyulurken yaz aylarında ciddi anlamda sulama yapılmaktadır. Damla sulama sisteminin kaynağı yağmur suyu toplama deposu olarak belirlenmiştir. Bunun yanında yağmur suyunun yeterli olmadığı hallerde sondaj suyunun kullanımına devam edilerek verimde süreklilik sağlanacaktır.

LEED kriterlerine göre sulama suyunda şebeke suyu kullanımının %50 azaltılması durumunda 1 puan, sulama suyunda şebeke suyunun hiç kullanılmaması veya hiç sulama yapılmaması durumunda 2 puan kazanılmaktadır. Kriter, sulamada şebeke suyu yerine yağmur suyu, geri dönüştürülmüş gri su ve atık su kullanımını teşvik etmektedir (Çelik, 2009). Bu sistemler sayesinde çalışma konusu olan konutta kullanılan şebeke suyu %50 den daha fazla azalmıştır ve sulamada şebeke suyu hiçbir şekilde kullanılmamıştır.

Konut içinde ve konut dışında alınacak bu önlemlerin yanı sıra konut içerisinde su tasarrufu sağlayabilmek için, küçük bir adım olarak görülsede, teknolojik açıdan gelişmiş elemanların kullanılması su tasarruf oranında etkili olacaktır. Banyo, lavabo, mutfak ve rezervuarlarda ısı ve debi ayarlı armatürler kullanılması durumunda yılda %67'lere varan oranlarda su tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu tarz armatürler sayesinde daha az su kullanılacağından aynı oranda daha az su geri kazanılacaktır. Böylece hem kurulan geri kazanım sisteminin ömrü uzatılır hem de kaynak kullanımı azaltıldığından yeşil bina kriterleri sağlanır.

### 3.2. Enerji Verimliliği

Bina bütününde enerji etkinliğini optimize etmek için, enerji tüketimi gerektiren tüm alanları içerecek şekilde enerji performans hedefleri tespit edilmeli ve yenilenebilir enerji kullanımına öncelik verilmelidir. Bu amaçla konutta yapılması düşünülen değişiklikler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

#### 3.2.1. Yeşil Çatı

Yeşil çatılar ilave donanım ihtiyacı duyulmadan binanın enerji performansını düzenler, hava kalitesini ve kent ekolojisini iyileştirir, yağmur suyunun yarattığı problemleri ortadan kaldırır. Ekolojik çatı sisteminin en önemli faydalarından biri, atmosfere salınan ve sera etkisi yaratan karbondioksitin bitkiler tarafından tutularak küresel iklim sorununu en aza indirmesidir (Karaosman, 2006).

Çalışma konusu olan konut yaklaşık 110 m<sup>2</sup>'lik çatı alanına sahiptir. Çatıya yerleştirilen 1.5 m\*1.5 m boyutunda pencere ve 1290 mm\*990 mm boyutundaki 2 adet güneş panelinden sonra çatıda 105 m<sup>2</sup>'lik bir alan kalmıştır. Projede normal şartlarda yeşil binanın olmazlarından biri olan yeşil çatı sisteminin kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Çünkü konut etrafındaki yaklaşık

3000 m<sup>2</sup>'lik alan tamamen bitkilerle kaplı olduğundan ayrıca bir yeşil çatı yapılmasına gerek yoktur. Tasarladığımız yağmur suyu toplama kanalları da yeşil çatının özelliklerinden biri olan su tasarrufunu gerçekleştirmektedir.

Yeşil çatının bir diğer avantajı da ses tutucu özelliğe sahip olmasıdır. Konutun şehrin dışında sakin bir bölgede yer alması ve etrafının yeşilliklerle çevrili olması yeşil çatı ihtiyacının olmadığını bir diğer göstergesidir.

#### 3.2.2. Dış cephe özellikleri

Son zamanlarda her türlü yapıda dış cephe kaplama giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sayede binaların duvarları dış ortamın olumsuz şartlarına karşı korunurken sağlayacağı ısı yalıtımına bağlı olarak yakıt tüketimini azaltacağı için çevrenin korunmasına katkı sağlar. Konutun 'yeşil bina' kavramına uygun olması için dış kaplamada kullanılacak yalıtım malzemelerinin en az %80 oranında çevreye duyarlı kaynaklardan elde edilmiş olması gerekir (URL-4, 2018). Projede kullanılacak yalıtım malzemelerinin çevre üzerinde olumsuz etkisi bulunmayacak şekilde seçilmesi planlanmıştır.

#### 3.2.3 Gün Işığından Yararlanma

Aydınlatma, normal bir binanın toplam enerji tüketiminin ortalama %25-%40'ından sorumludur. Bu nedenle güneş ışığının aydınlatma ve ısıtma özelliklerinden daha fazla yararlanılan binalar sayesinde enerji tasarrufu belirgin şekilde artabilmektedir (Sargül, 2014).

Üzerinde çalışılan bu konutta yeterli miktarda pencere olduğundan gün ışığından yüksek seviyelerde faydalanılmaktadır. Fakat konutta hol kısmında pencere bulunmadığından bu bölge gün içerisinde sürekli karanlık kalmakta ve gün ışığından yararlanabilecek saatlerde enerji tüketimine neden olmaktadır. Enerjiden tasarruf etmek amacıyla çatıya cam bölmeler yapılması uygun olacaktır. Şekil 6'da konut için tasarlanan çatıdaki açılıp kapanabilen cam ve panjur sistemi birlikte gösterilmiştir.

Bu sistemin 1.5 m-1.5 m boyutlarında iki bölmeli olarak tasarlanması uygun görülmüştür. Gün ışığının isteğe bağlı olarak konuta girişini kontrol edebilmek için cam bölmelerin üzerine açılıp kapanabilen panjur sistemi yerleştirilmesi uygun olacaktır. Ayrıca, bu sistemde saydamlık kadar gelen güneş ışığının kırılarak gelmesi de önemlidir. Bundan dolayı projede ısı ve güneş



kontrol camlarının kullanılması uygun görülmüştür. Bu tür camlarda yazın içeri giren güneş ısı %40 oranında, kışın ise sıcaklığın içeriden dışarıya çıkması %50 oranında

engellenecektir. Bu sayede konutun tamamen karanlıkta kalan orta bölümünde güneş ışığından faydalanılarak aydınlanma sağlanacak ve enerji tasarrufu gerçekleşecektir.



Şekil 6. Konutun çatısına yapılması planlanan cam ve panjur sistemi

### 3.2.4 Güneş Enerjisi

Son yıllarda üzerinde en çok çalışılan enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi yenilenebilir ve temiz enerji kaynağıdır. Kolay bir tasarıma sahip olduğundan hemen hemen her alanda kullanımı rahattır. Ayrıca uzun ömürlü bir çözümdür. Seçilen konutun sıcak su ihtiyacı elektrikli şofbenler yardımıyla sağlanmaktadır. İlave olarak su kesintilerinde zor durumda kalmamak için bir su deposu kullanılmaktadır. Fakat deponun yapıldığı malzeme ve sistemi, suyu sıcak tutmaya değil sadece biriktirmeye odaklı olduğundan istenilen verim elde edilememektedir. Hem elektrikli şofbenlerin kaldırılarak elektrikten tasarruf sağlanması hem de daha verimli ve rahat kaynak kullanımının sağlanabilmesi için konutun çatısına düzlemsel güneş kollektörü koyulması uygun olacaktır. Kollektör sayısı ve boyutunu belirlemek için gerekli hesaplamalar örnek çalışmadan yararlanılarak aşağıdaki şekilde yapılmıştır (URL-5, 2018):

$m$ : 2 (Kullanıcı sayısı, kişi)

$V_b$ : 100 litre / kişi.gün (Kullanıcı başına günlük sıcak su ihtiyacı)

$T_{su}$ : 45°C (Tüketilen kullanım sıcak suyunun referans değeri)

$T_{şehir}$ : 11.8°C (Şebeke suyunun ortalama sıcaklık değeri, Nisan ayı için)

$R$ : 3.537 kcal / m<sup>2</sup>.gün (Yatay yüzeye gelen güneş ışınımı, Nisan ayı için)

$F$ : 1.03 (Kollektör montaj eğim açısına göre düzeltme faktörü, 30 derece için)

$S$ : 1.88 m<sup>2</sup> / kollektör (Kollektör ışın emici net yüzeyi)

$e$ : 1.05 (Enerji kayıplara karşı emniyet faktörü)

$C$ : Suyun ısınma ısısı (kcal/kg°C), 1 alınabilir.

$n_k$ : 0.70 (Kollektör ortalama verim değeri)

$Q_i$ : Günlük toplam enerji ihtiyacı (kcal/gün)

$$Q_i = m \times V_b \times C \times (T_{su} - T_{şehir}) \times e \quad (1)$$

$$Q_i = 2 \times 100 \times (45 - 11.8) \times 1.05 = 6972 \text{ kcal/gün}$$

1 kW= 860 kcal/saat olduğuna göre enerji ihtiyacı ~338 Wh dir.

$Q_k$ : Kollektör tarafından tüketilen faydalı enerji

$$Q_k = R \times F \times S \times n_k \quad (2)$$

$$Q_k = 3.537 \times 1.03 \times 1.88 \times 0.70 = 4794 \text{ kcal/gün.kollektör}$$

$K$ : İhtiyaç duyulan kollektör miktarı (adet)

$$K = Q_i / Q_k \quad (3)$$

$$K = 6.972 / 4.794 = 1.454 \text{ adet güneş kollektörü}$$

Hesaplamalar sonucunda 2 adet güneş kollektörünün kullanılmasının yeterli olacağı görülmüştür. Bir panelin boyu 1290 mm, eni de 990 mm'dir. Kullanılacak kollektörlerin çalışma



şekli şu şekildedir; düzlemsel kollektörler, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular gibi ana elemanlar, pompa ve kontrol edici yardımcı elemanlardan oluşmaktadır. Kullanılan sistemler açık ve kapalı olacak şekilde tasarlanabilir. Maliyeti daha az ve daha yüksek verime sahip olduğu için açık sistem tercih edilmiştir. Açık sistemde kollektörde dolanan su ile evin kullanım suyu aynıdır. Bu durumun kapalı sisteme göre dezavantajı suyun donma ihtimali olmasıdır. Proje konusu olan konutun konumundan dolayı donma riski olmadığından açık sistem tercih edilebilir. Bu sayede verim üst seviyede tutulurken, maliyet en az düzeyde olacaktır.

### 3.2.5 Rüzgâr Enerjisi

Son yıllarda petrol, kömür gibi fosil yakıtların rezervi tükenme sinyalleri vermeye başlamıştır. Bu yakıt türleri sadece azalmakla kalmayıp tüketildiği ortamda çevreye zarar vermektedir. Bu durum insanları temiz enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi korurken ülke gelişimine de katkı sağlamaktadır. Bilindiği üzere rüzgâr enerjisi yenilenebilir, temiz, sonsuz ve çevre dostu olduğundan dünyada kullanımı en çok artan kaynaklardan biri haline gelmiştir.

Çalışma konusu konutun bulunduğu bölgede rüzgâr hızı değerleri, enerji elde etmek için yeterli değildir. Ayrıca rüzgâr türbini yerleştireceğimiz alanda türbinin 14 m yakınında ağaç bulunmaması gerekmektedir. Konutun etrafında sık ağaçlandırma yapılmıştır ve 14 m'lik mesafe sağlanamaz durumdadır. Bundan dolayı konuta gerekli enerjiyi sağlamak için başka alternatiflere ihtiyaç vardır.

### 3.2.6. Isınma sistemi

İnsanların temel biyolojik ihtiyaçlarından birisi de ısınmadır. Ülkemizde de olduğu gibi çoğu ülkede bu ihtiyaç fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Sınırlı olan bu kaynakların rezervleri azaldıkça fiyatı artacağı gibi kullanımı arttıkça da çevre daha fazla zarar görecektir. Bunlar yerine rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak hem doğa hem de ekonomik açıdan zorunlu hale gelmiştir.

İncelenen konut kış aylarında odun ve kömür yakılarak ısıtılmaktadır. Yeşil bina özelliğine sahip olabilmesi için bu tür yakıtlardan tamamen

vazgeçilmesi gerekir. Bu durum göz önünde bulundurularak ısınmada öncelikle rüzgar enerjisi değerlendirilmiştir. Fakat uygun şartlar olmadığından güneş enerjisinin kullanılması uygun görülmüştür.

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi, en kolay kurulabilen enerji üretim aracı olduğu gibi en uzun ömürlü, hemen hemen hiç işletme maliyeti olmayan, pratik ve seyyar olması sebebi ile kullanım kolaylığı sunan enerji üretim şeklidir. Isınma için gerekli elektrik enerjisi, fotovoltaiik paneller yani güneş panellerinden sağlanabilir. Sistem için gerekli ekipman; güneş panelleri, çevirici, akü ve akü şarj regülatöründen oluşmaktadır. Fotovoltaiik panellerden üretilen elektrik enerjisi konutun ısınmasında kullanılırken bunun yanında aydınlatmada ve elektrikli aletlerde de kullanılarak şebekeden sağlanan elektrik ihtiyacı ortadan kalkacaktır.

Konutun oda büyüklükleri göz önüne alındığında her oda için bir adet elektrik konvektörü kullanılması yeterli olacaktır. Bu konvektörlerin çalışma prensibi doğal konveksiyon ile gerçekleştiğinden ısıtıcıdan uzaklaştıkça sıcaklık azalmayacaktır odanın her yerinde sıcaklık eşit dağılmış olacaktır. Bir diğer avantaj ise; konutun şuan sadece tek odasında bulunan soba sadece o odayı ısıtmaktadır, odaların hepsine birer konvektör yerleştirildiğinde bu sorun ortadan kalkacaktır. Hem daha verimli ısınma sağlanmış olacak hem de fosil yakıtlardan vazgeçilerek çevreye verilen zarar önlenmiş olacaktır. Eklenecek konvektörler sayesinde mevcut duruma kıyasla %10.5-35 arasında daha iyi performans sağlanacak ve LEED kriterlerine göre 1-8 arasında puan kazanılabilecektir.

### 3.2.7. İç Mekân ve Yaşam Kalitesi

İnsan yaşamının yaklaşık %90'ının iç ortamlarda geçtiği düşünülürse insan sağlığı açısından bu ortamlardaki hava kalitesinin üst düzeylerde olması gerektiği mantıklı bir yaklaşımdır. İyi bir iç hava kalitesi için etkin bir havalandırma sistemi gerekmektedir.

Yeşil bina olmak için uygunluğunu denetlediğimiz konutta herhangi bir havalandırma sistemi bulunmamaktadır. Yapılması düşünülen sistemin yeşil bina özelliğini desteklemesi gerekmektedir. Yapılarda doğal havalandırma, açıklıklardan rüzgâr veya basınç farkı dolayısı ile oluşur. Açık pencerelerden, kapılardan veya doğal olarak havalandırma sağlamak için açılan bölgelerden sağlanan hava akımı ile iç ortamda uygun sıcaklık

seviyesi sağlanabilir ve iç ortamdaki kirleticiler ortamdaki uzaklaştırılabilir. Doğal havalandırma, bir yapının enerji kullanılmadan havalandırıldığı çevre dostu bir yöntem olup sürdürülebilir kalkınma için de oldukça önemlidir.

Konutun bulunduğu bölgede şehir merkezlerine göre çok daha az olan karbon salınımı ve bol yeşil alan hava kalitesini üst seviyelere çıkarmaktadır. Bundan dolayı mekanik havalandırmaya gerek duyulmamış, doğal havalandırmanın yeterli olacağı belirtilmiştir. Doğal havalandırma için ise aydınlanma için tasarlanan çatıdaki cam bölmeler yeterli olduğundan ayrı bir açıklık yaratma ihtiyacı duyulmamıştır.

#### 4. Sonuç

Çalışma kapsamında incelenen konutun yeşil bina özelliklerine sahip olabilmesi için yapılması gerekenler su yönetimi, enerji verimliliği, iç mekan ve yaşam kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Ele alınan konut tümüyle incelenerek suyun daha verimli kullanımı ve enerji verimliliğinin sağlanması için yapılması gerekenler su ve enerji verimliliği ölçeğinde ortaya konulmuştur. Çalışma konut üzerine ilaveler ve yenilemeler şeklinde tasarlanmıştır.

Örnek bina üzerinde yapılan incelemeler ve LEED standartları doğrultusunda, Türkiye’de bireysel olarak yeşil bina tasarımında gerçekleştirilebilecek adımlara dikkat çekilmiş ve bunun gerekliliğiyle ilgili tartışma platformu oluşturulmak istenmiştir. Ayrıca geri dönüşümlü malzeme kullanılması, atıkların değerlendirilmesi ve yerli ürünlerin kullanımına dikkat edilmesi de yeşil binaya dönüşüm aşamasında katkı sağlayacaktır.

Çalışma bütünüyle değerlendirildiğinde doğal kaynakların korunumu temeline dayanmaktadır. Bu duruma dikkat çekmek ve bireysel olarak da tükenmekte olan kaynaklarımızın korunmasına katkı sağlamak amacıyla yeniden tasarlanan konut bu alandaki hedefine ulaşmıştır.

#### Kaynaklar

Çelik, E., 2009. Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye’de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 97s.

Dixon, W., 2010. The impacts of Construction and the Built Environment, Briefing Notes: Letchworth, UK, Willmott-Dixon Group, 3p.

Erdede, S.B., Erdede, B. ve Bektaş, S., 2014. Sürdürülebilir Yeşil Binalar ve Sertifika Sistemlerinin Değerlendirilmesi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul, 8s.

Erten, D., 2011. Yeşil Binalar, Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları-V, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 36s.

Gür, N.V., 2007. Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 179s.

Karahan, A., 2011. Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s.1155-1164.

Karaosman, S.K., 2006. Yeşil Çatılar ve Sürdürülebilir Bina Değerlendirme Sistemleri. <http://catider.org.tr/pdf/sempozyum/Bil11.pdf>.

Kutlu, S., Şentürk, İ. ve Büyükgüngör, H., 2017. Alanya İlçesinde Seçilen Pilot Bölge İçin Gri Su Potansiyelinin Belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 17 (025403), 580-589, doi: 10.5578/fmbd.58637.

Özmehmet, E., 2008. Dünyada ve Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi. 3 (12), 1853-1876.

Sarıgül, T., 2014. Dünyadaki Su Güneşten Yaşlı. Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, s. 38-41.

Sev, A., 2009. Sürdürülebilir Mimarlık: Yem Yayın, İstanbul, 224s.

Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G., 2016. Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı), ISBN: 978-605-9186-14-8, Ankara, 131s.

Tuna, R., 2013. Bina sertifika sistemleri, Ege Mimarlık, s. 20-23.

URL-1, <http://www.haberler.com/yesil-bina-sertifikasyon-sistemi-seeb-tr-tanitildi-5518226-haberi/>. 16 Mart 2018.

URL-2, [https://www.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Final\\_R\\_aporu.pdf](https://www.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Final_R_aporu.pdf). 2 Şubat 2017.

URL-3, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Gri\\_su](https://tr.wikipedia.org/wiki/Gri_su). 4 Nisan 2015.

URL-4, [http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/Yesi1\\_VBol\\_LEED.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/Yesi1_VBol_LEED.pdf). 8 Şubat 2018.

URL-5, <http://www.tesisat.org/gunes-enerjisi-kollektor-hesabi-ve-tesisat-baglantilari.html>. 6 Şubat 2018.

Vyas, S., Ahmed, S. ve Parashar, A., 2014. BEE (Bureau of Energy Efficiency) and green buildings. *International Journal of Research*, 1, 23-32.

Yaman, C., 2009. Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs 2009, İstanbul, s.1091-1101.

Yılmaz, M., Yıldız, S. ve Gültekin, A.B., 2016. Yıkıcı Yeniliklerin Belirlenmesi: Sürdürülebilir İnşaat Sektöründe Tehditler ve Fırsatlar. *Balıkesir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 18 (2), 25-36.

## Uninorms Having An Identity and An Annihilator on Bounded Lattices

### *Sınırlı Kafesler Üzerinde Bir Birime ve Bir Sıfırlayana Sahip Uninormlar*

Gül Deniz ÇAYLI\*

*Department of Mathematics, Faculty of Science, Karadeniz Technical University, 61080, Trabzon*

• Geliş tarihi / Received: 23.06.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 06.11.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 19.11.2018

#### Abstract

Uninorms defined on bounded lattices are an important generalization of triangular norms and triangular conorms and these operators allow the identity to be any point in a bounded lattice. In this study, uninorms on bounded lattices are studied. It is proposed a method to characterize uninorms on bounded lattices having an identity and an annihilator on bounded lattices and some basic properties of such uninorms are investigated. Moreover, an example is provided to illustrate the feasibility of the proposed method.

**Keywords:** Identity, Annihilator, Bounded lattice, Uninorm

#### Öz

*Sınırlı kafesler üzerinde tanımlanan uninormlar, üçgensel normların ve üçgensel konormların önemli bir genelleştirmesidir ve bu operatörler, birimin sınırlı kafesin herhangi bir noktasında olmasına olanak sağlarlar. Bu çalışmada, sınırlı kafesler üzerinde uninormlar konusu üzerine çalışılmıştır. Sınırlı kafesler üzerinde bir birime ve sıfırlayana sahip uninormları karakterize etmek için bir metot önerildi ve bu şekildeki uninormların bazı temel özellikleri araştırıldı. Ayrıca, önerilen metotun uygulanabilirliğini göstermek için bir örnek verildi.*

**Anahtar kelimeler:** Birim, Sıfırlayan, Sınırlı Kafes, Uninorm

\* Gül Deniz ÇAYLI; guldeniz.cayli@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 25 66; orcid.org/0000-0002-7918-9752

## 1. Introduction

The concept of uninorm appeared in (Yager and Rybalov, 1996) and comprehensively discussed in (Fodor et al., 1997) as a particular sort of aggregation operators which is a generalization of the concepts of triangular norm and triangular conorm. Uninorms on real unit interval with the identity which is any point in  $[0,1]$  such that uninorms having an identity 0 are known as triangular conorms and uninorms having an identity 1 are known as triangular norms. Uninorms are attractive due to their structure as a particular union of triangular norms and triangular conorms that was demonstrated beneficial in numerous areas like aggregation, expert systems, multicriteria decision support, neural networks, fuzzy logic and fuzzy system modeling (Tsadiras and Margaritis, 1998; De Baets and Fodor, 1999; Yager, 2001; Yager, 2003; Yager and Kreinovich, 2003; Beliakov et al., 2007; Gabbay and Metcalfe, 2007). Along with this several application areas, these operators were also discussed from the merely theoretical aspect. By this means, one of the aspect is the characterizations of uninorms having an identity (Drewniak and Drygaś, 2002; Grabisch et al., 2009; Mesiarová-Zemanková, 2015; Drygaś et al., 2017).

In (Karaçal and Mesiar, 2015), two methods in order to show that a uninorm via the presence of triangular norms and triangular conorms in a bounded lattice always exist were proposed. Via the proposed methods, the least uninorm and the greatest uninorm having an identity was obtained. In (Çaylı et al., 2016), several additional methods to characterize uninorms having an identity in a bounded lattice were introduced. Furthermore, a uninorm on some bounded lattices which an identity  $g$  is incomparable with an annihilator  $k$  need not always exist was proved. The uninorms on bounded lattices were also discussed by several researchers in other studies (Bodjanova and Kalina, 2014; Çaylı and Karaçal, 2017; Aşıcı, 2018; Çaylı and Drygaś, 2018).

In this paper, uninorms on bounded lattices are discussed. By taking a bounded lattice  $L$ , the possible values of uninorms having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  from  $L$  are investigated as well as an examination of their basic characteristics are provided. Based on these characteristics, it is showed that there need not always be existence a uninorm on  $L$  having an identity  $e$  and an annihilator  $k$  once  $k$  and  $e$  are comparable with each other (it was proposed the case of  $k$  and  $e$  are incomparable with each other in (Çaylı et al.,

2016). Also, a method for constructing uninorms having an identity  $e$  and an annihilator  $k$  on  $L$  such that  $k$  is incomparable with  $e$  is introduced under an additional assumption that all elements in  $L$  different from  $e$  are comparable with  $k$ .

This paper comprises of three parts. After some basic results concerning bounded lattices and uninorms on them, in Section 3, some properties of monotone operations on a bounded lattice  $L$  are examined for an annihilator  $k$  and an identity  $e$ , where  $e, k \neq 0, 1$ . The presence of uninorms on  $L$  which an identity  $e$  is incomparable with an annihilator  $k$  is investigated. Moreover, a construction method yielding uninorms on bounded lattices having an annihilator and an identity such that these elements are incomparable each other is proposed under an additional constraint. Moreover, an illustrative example is added to clearly understand our method. Finally, some conclusions are given.

## 2. Preliminaries

In this part, some main results dealing with bounded lattices and uninorms, triangular norms, triangular conorms defined on them are given.

A lattice  $(L, \leq)$  is bounded once  $L$  has the top element and bottom element represented, respectively, 1 and 0, namely, there are two elements 1, 0, where  $0 \leq a \leq 1$  for all  $a \in L$ .

Throughout this paper,  $L$  always represents any given general bounded lattice with the top element 1 and bottom element 0 unless otherwise stated.

**Definition 2.1.** (Birkhoff, 1967) Let  $p, q \in L$ . If  $p$  and  $q$  are incomparable, this is denoted by  $p \parallel q$ . The set of elements the fact that are incomparable with  $k \in L$  is denoted by  $I_k$ . So,  $I_k = \{p \in L \mid p \parallel k\}$ . In the similar way, the set of elements the fact that are incomparable with  $e \in L$  is denoted by  $I_e$ . So,  $I_e = \{p \in L \mid p \parallel e\}$ .

**Definition 2.2.** (Birkhoff, 1967) Let  $p, q \in L$  and  $p \leq q$ . In that case, it is defined a subinterval  $[p, q]$  in  $L$  as below:

$$[p, q] = \{a \in L : p \leq a \leq q\}.$$

In the same way, it is defined  $]p, q[ = \{a \in L : p < a < q\}$ ,  $[p, q[ = \{a \in L : p \leq a < q\}$  and  $]p, q] = \{a \in L : p < a \leq q\}$ .

**Definition 2.3.** (Çaylı et al., 2016) Define a function  $F: L^2 \rightarrow L$ .

i) A fixed element  $e \in L$  is called an identity (sometimes called neutral element) of  $F$  provided that  $F(p, e) = F(e, p) = p$  for all  $p \in L$ .

ii) A fixed element  $k \in L$  is called an annihilator (sometimes called absorbing element or zero element) of  $F$  provided that  $F(p, k) = F(k, p) = k$  for all  $p \in L$ .

**Definition 2.4.** (Karacal and Mesiar, 2015; Çaylı et al., 2016) If an operation  $U$  on  $L$  having an identity is associative, commutative, monotone, then it is called a uninorm on  $L$  (briefly uninorm, where  $L$  is fixed).

Denote the set of all uninorms having an identity  $e$  in  $L$  by  $\mathcal{P}(e)$ .

**Definition 2.5.** (Karacal and Mesiar, 2015; Çaylı et al., 2016) If an operation  $T$  on  $L$  having an identity  $1$  is associative, commutative, monotone, then it is called a triangular norm (t-norm, briefly) on  $L$ .

**Definition 2.6.** (Aşıcı and Karaçal, 2016; Aşıcı, 2017; Çaylı, 2018a,b) If an operation  $S$  on  $L$  having an identity  $0$  is associative, commutative, monotone, then it is called a triangular conorm (t-conorm, briefly) on  $L$ .

**Example 2.7.** The least triangular norm  $T_W$  and the greatest triangular norm  $T_\wedge$  on  $L$  are defined as, respectively:

$$T_W(p, q) = \begin{cases} q & \text{if } p = 1, \\ p & \text{if } q = 1, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$T_\wedge(p, q) = \inf\{p, q\}.$$

The least triangular conorm  $S_\vee$  and the greatest triangular conorm  $S_W$  on  $L$  are defined as, respectively:

$$S_\vee(p, q) = \sup\{p, q\}.$$

$$S_W(p, q) = \begin{cases} q & \text{if } p = 0, \\ p & \text{if } q = 0, \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The undermentioned sets is represented by  $D_k$  and  $D_e$ , respectively: for  $k, e \in L \setminus \{0, 1\}$

$$D_k = [0, k] \times [k, 1] \cup [k, 1] \times [0, k]$$

and

$$D_e = [0, e] \times [e, 1] \cup [e, 1] \times [0, e].$$

Denote the set of all uninorms on  $L$  by  $\mathcal{P}$  and define the order on  $\mathcal{P}$  in the undermentioned: For the uninorms  $U_1, U_2 \in \mathcal{P}$

$$U_1 \leq U_2 \Leftrightarrow U_1(a, b) \leq U_2(a, b) \text{ for all } a, b \in L.$$

It is obvious that  $\mathcal{P}$  is a partially ordered set which has the top element and bottom element, respectively,  $S_W$  and  $T_W$ .

In the same way, it can be clearly seen that each  $\mathcal{P}(e)$  is a partially ordered set, too.

**Proposition 2.8.** (Karacal and Mesiar, 2015) Given a uninorm  $U: L^2 \rightarrow L$  for an identity  $e \in L$  such that  $e \neq 0, 1$ . In that case, it is obtained that

- i) The restriction of  $U$  on  $[0, e]$  is a triangular norm.
- ii) The restriction of  $U$  on  $[e, 1]$  is a triangular conorm.

**Proposition 2.9.** (Karacal and Mesiar, 2015) Given a uninorm  $U: L^2 \rightarrow L$  for an identity  $e \in L$  such that  $e \neq 0, 1$ . In that case, it is obtained the undermentioned properties:

- i)  $\inf\{p, q\} \leq U(p, q) \leq \sup\{p, q\}$  for all  $(p, q) \in D_e$ .
- ii)  $U(p, q) \leq p$  for all  $p \in L$  and  $q \in [0, e]$ .
- iii)  $U(p, q) \leq q$  for all  $p \in [0, e]$  and  $q \in L$ .
- iv)  $p \leq U(p, q)$  for all  $p \in L$  and  $q \in [e, 1]$ .
- v)  $q \leq U(p, q)$  for all  $p \in [e, 1]$  and  $q \in L$ .

### 3. Uninorms having an annihilator $k$ and an identity $e$

In this part, taking a bounded lattice  $L$ , some properties of monotone operations on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  are researched. Furthermore, a construction method for uninorms on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$  is proposed where  $e \neq 0, 1, k \parallel e$  and all elements in  $L$  different from  $e$  are comparable with  $k$ .

The next Proposition 3.1 and Proposition 3.2 can be found in (Drygaś, 2004; Karaçal and Mesiar, 2015).



**Proposition 3.1.** Consider the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \leq e$ . If  $F$  is a monotone operation on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ , in that case, it is obtained the undermentioned properties:

- i)  $k \leq F(p, q) \leq \inf\{p, q\}$  for all  $(p, q) \in [k, e]^2$ .
- ii)  $p \leq F(p, q) \leq q$  for all  $(p, q) \in [k, e] \times [e, 1]$ .
- iii)  $q \leq F(p, q) \leq p$  for all  $(p, q) \in [e, 1] \times [k, e]$ .
- iv)  $k \leq F(p, q) \leq q$  for all  $(p, q) \in [k, e] \times L$ .
- v)  $k \leq F(p, q) \leq p$  for all  $(p, q) \in L \times [k, e]$ .
- vi)  $q \leq F(p, q)$  for all  $(p, q) \in [e, 1] \times L$ .
- vii)  $p \leq F(p, q)$  for all  $(p, q) \in L \times [e, 1]$ .

**Proposition 3.2.** Consider the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $e \leq k$ . If  $F$  is a monotone operation on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ , in that case it is obtained the undermentioned properties:

- i)  $p \leq F(p, q) \leq q$  for all  $(p, q) \in [0, e] \times [e, k]$ .
- ii)  $q \leq F(p, q) \leq p$  for all  $(p, q) \in [e, k] \times [0, e]$ .
- iii)  $\sup\{p, q\} \leq F(p, q) \leq k$  for all  $(p, q) \in [e, k]^2$ .
- iv)  $F(p, q) \leq q$  for all  $(p, q) \in [0, e] \times L$ .
- v)  $F(p, q) \leq p$  for all  $(p, q) \in L \times [0, e]$ .
- vi)  $q \leq F(p, q) \leq k$  for all  $(p, q) \in [e, k] \times L$ .
- vii)  $p \leq F(p, q) \leq k$  for all  $(p, q) \in L \times [e, k]$ .

**Proposition 3.3.** Given the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \leq e$ . If there is an element  $m$  in  $L$  which  $m \in [0, k[$ , in that case there is no monotone operation on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ .

**Proof.** Given an element  $m$  in  $L$  such that  $m \in [0, k[$ . Suppose that there is a monotone operation  $F$  on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ . Since  $k \leq e$  and the fact that  $k$  is an annihilator, it is obtained  $k = F(m, k) \leq F(m, e) \leq F(k, e) = k$ . So,  $F(m, e) = k$ . Due to the fact that  $e$  is an identity, then  $F(m, e) = m$ . Therefore, it is obtained  $k = m$ . This is a

contradiction. Therefore, there is no monotone operation  $F$  on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  once there is an element  $m$  in  $L$  which  $m \in [0, k[$ .

**Proposition 3.4.** Given the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $e \leq k$ . If there is an element  $m$  in  $L$  which  $m \in ]k, 1]$ , in that case there is no monotone operation on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ .

It is clearly proved in the same way to Proposition 3.3.

**Remark 3.5.** Consider the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$ .

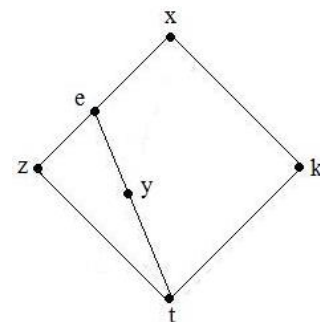
i) If  $k \leq e$  and there is an element  $l$  in  $L$  which  $l \in [0, k[$ , there does not exist any uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$  due to Proposition 3.3..

ii) If  $e \leq k$  and there is an element  $l$  in  $L$  which  $l \in ]k, 1]$ , there does not exist any uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$  due to Proposition 3.4..

iii) If  $e \in I_k$ , it can be seen that there does not exist any uninorm on  $L$  which contains the sublattices that are isomorphic to the sublattices depicted in (Çaylı et al., 2016) having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$ .

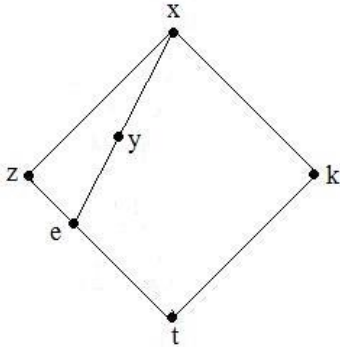
Let us introduce these sublattices that is given in Theorem 3.6 and Theorem 3.7 proposed by (Çaylı et al., 2016).

**Theorem 3.6.** (Çaylı et al., 2016) If  $L$  comprises a sublattice which is isomorphic to the sublattice depicted with the given order in Figure 1, in the present case, there does not exist any uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$ .



**Figure 1.** The lattice  $L$

**Theorem 3.7.** (Çaylı et al., 2016) If  $L$  comprises a sublattice which is isomorphic to the sublattice depicted with the given order in Figure 2 in the present case, there does not exist any uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$ .



**Figure 2.** The lattice  $L$

**Remark 3.8.** Consider the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ . Note that there are some elements different from  $e$  which are incomparable with the annihilator  $k$  in bounded lattices depicted by Figure 1 and Figure 2. A natural question occurs: If all elements in  $L$  different from  $e$  is comparable with  $k$ , is there always a uninorm  $U$  on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ ?

It can be seen that the below theorem provides a positive answer to the above question.

**Theorem 3.9.** Take the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ . If all elements in  $L$  different from  $e$  are comparable with  $k$ , in the present case, the undermentioned function  $U_l : L^2 \rightarrow L$

$$U_l(p, q) = \begin{cases} \inf\{p, q\} & \text{if } p, q \in [0, k[ \\ \sup\{p, q\} & \text{if } p, q \in ]k, 1] \\ k & \text{if } p, q \in D_k \\ p & \text{if } p \in L \text{ and } q = e \\ q & \text{if } p = e \text{ and } q \in L \end{cases} \quad (1)$$

is a uninorm on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ .

**Proof.** i) Monotonicity: It is demonstrated the fact that if  $p \leq q$  then  $U_l(p, t) \leq U_l(q, t)$  for all  $t \in L$ . If  $t = e$ , in that case it is obtained  $U_l(p, t) = U_l(p, e) = p \leq q = U_l(q, e) = U_l(q, t)$  for all  $p, q \in L$ .

If  $t = k$ , in that case it is obtained  $U_l(p, t) = U_l(p, k) = k = U_l(q, k) = U_l(q, t)$  for all  $p, q \in L$ .

So, it is examined other all possible cases.

- Case 1.. Let  $p < k$ . In the present case,
  - Case 1.1..  $q < k$ ,
    - Case 1.1.1..  $t < k$ ,  
 $U_l(p, t) = \inf\{p, t\} \leq \inf\{q, t\} = U_l(q, t)$
    - Case 1.1.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = k = U_l(q, t)$
  - Case 1.2..  $q > k$ ,
    - Case 1.2.1..  $t < k$   
 $U_l(p, t) = \inf\{p, t\} \leq k = U_l(q, t)$
    - Case 1.2.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = k \leq \sup\{q, t\} = U_l(q, t)$
  - Case 1.3..  $q = e$ ,
    - Case 1.3.1..  $t < k$   
 $U_l(p, t) = \inf\{p, t\} \leq t = U_l(q, t)$
    - Case 1.3.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = k \leq t = U_l(q, t)$
  - Case 1.4..  $q = k$ 
    - Case 1.4.1..  $t < k$ ,  
 $U_l(p, t) = \inf\{p, t\} \leq k = U_l(q, t)$
    - Case 1.4.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = k = U_l(q, t)$

- Case 2.. Let  $p > k$ . In the present case,  $q > k$ .
  - Case 2.1..  $t < k$ ,  
 $U_l(p, t) = k = U_l(q, t)$
  - Case 2.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = \sup\{p, t\} \leq \sup\{q, t\} = U_l(q, t)$

- Case 3.. Let  $t = e$ . In the present case,
  - Case 3.1..  $q > k$ ,
    - Case 3.1.1..  $t < k$ ,  
 $U_l(p, t) = t \leq k = U_l(q, t)$
    - Case 3.1.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = t \leq \sup\{q, t\} = U_l(q, t)$
  - Case 3.2..  $q = e$ , then for all  $t \in L$ , it is obtained  
 $U_l(p, t) = U_l(e, t) = t = U_l(e, t) = U_l(q, t)$

- Case 4.. Let  $t = k$ . In the present case,
  - Case 4.1..  $q > k$ ,
    - Case 4.1.1..  $t < k$ ,  
 $U_l(p, t) = k = U_l(q, t)$
    - Case 4.1.2..  $t > k$ ,  
 $U_l(p, t) = k \leq \sup\{q, t\} = U_l(q, t)$
  - Case 4.2..  $q = k$ , then it is obtained  $t \in L$ .  
 $U_l(p, t) = U_l(k, t) = k = U_l(k, t) = U_l(q, t)$

ii) Associativity: For all  $p, q, t \in L$ , it is proved  $U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(U_l(p, q), t)$ . If the at least one of the elements  $p, q, t$  is equal to  $k$ , then it is obtained  $U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(U_l(p, q), t)$ . If the at least one of the elements  $p, q, t$  is equal to  $e$ , then it is obtained  $U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(U_l(p, q), t)$ .

So, it is examined the case that not the elements  $p, q, t$  is equal to  $k$  and  $e$ .

Case 1.. Let  $p < k$ . In the present case,

Case 1.1..  $q < k$ ,

Case 1.1.1..  $t < k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, \inf\{q, t\}) = \inf\{p, q, t\} \\ = U_l(\inf\{p, q\}, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 1.1.2..  $t > k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, k) = k = U_l(\inf\{p, q\}, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 1.2..  $q > k$ ,

Case 1.2.1..  $t < k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, k) = k = U_l(k, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 1.2.2..  $t > k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, \sup\{q, t\}) = k = U_l(k, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 2.. Let  $p > k$ . In the present case,

Case 2.1..  $q < k$

Case 2.1.1..  $t < k$

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, \inf\{q, t\}) = k = U_l(k, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 2.1.2..  $t > k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, k) = k = U_l(k, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 2.2..  $q > k$ ,

Case 2.2.1..  $t < k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, k) = k = U_l(\sup\{p, q\}, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

Case 2.2.2..  $t > k$ ,

$$U_l(p, U_l(q, t)) = U_l(p, \sup\{q, t\}) = \sup\{p, q, t\} \\ = U_l(\sup\{p, q\}, t) \\ = U_l(U_l(p, q), t)$$

It is clear to prove that the commutativity holds,  $k$  is an annihilator and  $e$  is an identity of  $U_l$ . So,  $U_l$  is a uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$ .

**Corollary 3.10.** Take the elements  $e, k \in L$  such that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ . Let all elements in  $L$  different from  $e$  be comparable with  $k$ .

i) If  $k$  is a coatom of  $L$ , from Theorem 3.9 it is obtained the uninorm  $U_l$  is as below

$$U_l(p, q) = \begin{cases} \inf\{p, q\} & \text{if } p, q \in [0, k[ \\ 1 & \text{if } p, q \in ]k, 1] \\ k & \text{if } p, q \in [0, k] \times \{k, 1\} \cup \{k, 1\} \times [0, k] \\ p & \text{if } p \in L \text{ and } q = e \\ q & \text{if } p = e \text{ and } q \in L \end{cases}$$

ii) If  $k$  is a atom of  $L$ , from Theorem 3.9 it is obtained the uninorm  $U_l$  is as below

$$U_l(p, q) = \begin{cases} 0 & \text{if } p, q \in [0, k[ \\ \sup\{p, q\} & \text{if } p, q \in ]k, 1] \\ k & \text{if } p, q \in [k, 1] \times \{0, k\} \cup \{0, k\} \times [k, 1] \\ p & \text{if } p \in L \text{ and } q = e \\ q & \text{if } p = e \text{ and } q \in L \end{cases}$$

**Example 3.11.** Take a lattice  $L = \{0, p, q, r, k, e, m, t, 1\}$  with Hasse diagram shown in Figure 3 and consider a function  $U: L^2 \rightarrow L$  as Table 1. Then  $U$  is a uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  in  $L$  via Theorem 3.9.

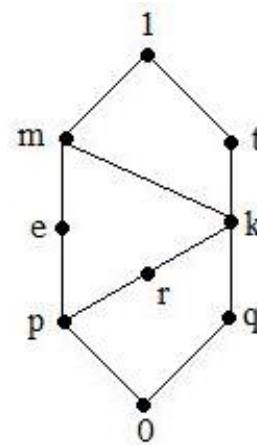


Figure 3. The lattice  $L$

Table 2. The uninorm  $U$  on  $L$

$U$	0	p	q	r	e	k	m	t	1
0	0	0	0	0	0	k	k	k	k
p	0	p	0	p	p	k	k	k	k
q	0	0	q	0	q	k	k	k	k
r	0	p	0	r	r	k	k	k	k
e	0	p	q	r	e	k	m	t	1
k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
m	k	k	k	k	m	k	m	1	1
t	k	k	k	k	t	k	1	t	1
1	k	k	k	k	1	k	1	1	1

**Remark 3.12.** Consider the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ . It is known that there need not always exist a uninorm on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  due to the fact that Theorem 3.6 and Theorem 3.7, if it is chosen the special elements in  $L$  that are different from  $e$  and incomparable with  $k$ . For this reason, it is introduced in Theorem 3.9 a method for constructing uninorms on  $L$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$ , under a constraint that all

elements in  $L$  different from  $e$  are comparable with  $k$ . In the present case, another elemental question occurs: once there exist some elements in  $L$  different from  $e$  that are incomparable with  $k$ , is there a uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$ . It is provided a positive example approving to the above hypothesis.

Let us first research the possible values of  $\mathcal{P}(e)$  having the indicated an annihilator  $k$  which  $e \in I_k$  for some special conditions.

**Proposition 3.13.** Take the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  and  $l, d \in L$  which  $l \in [0, e[$ ,  $l \in [0, k[$ ,  $d \in ]e, 1]$ ,  $d \in I_k$  and  $\inf\{d, k\} = l$ . In this case, it is obtained  $U(l, d) = l$  and  $U(d, d) < k$  or  $U(d, d) \in I_k$ .

**Proof.** Due to the monotonicity of  $U$  and that  $e$  is an identity, it is obtained  $l = U(l, e) \leq U(l, d) \leq U(e, d) = d$ . Moreover, since  $k$  is an annihilator, it holds  $U(l, d) \leq U(k, d) = k$ . So, it is obtained  $l \leq U(l, d) \leq \inf\{d, k\} = l$ , i.e.  $U(l, d) = l$ . Due to the associativity of  $U$ , it is obtained  $l = U(l, d) = U(U(l, d), d) = U(l, U(d, d))$ . Suppose that  $U(d, d) \geq k$ . Then it is obtained a contradiction that  $l \geq k$ . So, it is  $U(d, d) < k$  or  $U(d, d) \in I_k$ .

**Proposition 3.14.** Take the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  and  $l, d, r \in L$  which  $l \in [0, e[$ ,  $l \in [0, k[$ ,  $d \in ]e, 1]$ ,  $d \in I_k$ ,  $\inf\{d, k\} = l$ ,  $r > e$ ,  $r \in I_k$  and  $\inf\{r, k\} = l$ . In the present case, it is obtained  $U(d, r) < k$  or  $U(d, r) \in I_k$ .

**Proof.** From Proposition 3.14, it is  $l = U(l, d)$  and  $l = U(l, r)$ . By the associativity of  $U$ , it is obtained  $l = U(l, r) = U(U(l, d), r) = U(l, U(d, r))$ . Suppose that  $U(d, r) \geq k$ . Then it is obtained a contradiction that  $l \geq k$ . So, it is  $U(d, r) < k$  or  $U(d, r) \in I_k$ .

**Proposition 3.15.** Take the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  and  $l, d, r \in L$  which  $r \in [0, e[$ ,  $r \in [0, k[$ ,  $l \in ]e, 1]$ ,  $l \in I_k$ ,  $\inf\{l, k\} = r$  and  $d < k$ . In this case it is obtained  $U(l, d) < k$  or  $U(l, d) \in I_k$ .

**Proof.** From Proposition 3.14, the monotonicity of  $U$  and that  $e$  is an identity, it is obtained  $U(U(r, l), d) = U(r, d) \leq U(e, d) = d$ . Suppose

that  $U(l, d) \geq k$ . Then it holds  $U(r, U(l, d)) \geq k$ . By using the associativity of  $U$ , it is obtained  $k \leq d$ . This is a contradiction. Therefore, it is obtained either  $U(l, d) < k$  or  $U(l, d) \in I_k$ .

**Proposition 3.16.** Take the elements  $e, k \in L$  that  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$ . In the present case, it is obtained  $U(0, r) \leq \inf\{r, k\}$  and  $U(1, r) \geq \sup\{r, k\}$  for all  $r \in L$ .

**Proof.** Due to the monotonicity of  $U$  and  $e$  is an identity and  $k$  is an annihilator, it is obtained  $U(0, r) \leq U(e, r) = r$  and  $U(0, r) \leq U(k, r) = k$ . So,  $U(0, r) \leq \inf\{r, k\}$ . Similarly, it is obtain that  $U(1, r) \geq \sup\{r, k\}$ .

**Proposition 3.17.** Take the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  and  $l, d \in L$  which  $l \in [0, e[$ ,  $d \in I_e$ ,  $\sup\{l, k\} = 1$  and  $\sup\{d, k\} = 1$ . In this case, it is obtained  $U(l, d) \neq 0$ .

**Proof.** Suppose that  $U(l, d) = 0$ . By Proposition 3.16, it is obtained  $U(1, l) = 1$  and  $U(1, d) = 1$ . Then it is had  $U(U(1, d), l) = U(1, l) = 1$ . Moreover, it is obtained  $U(1, U(l, d)) = U(1, 0) = k$  by using the commutativity of  $U$ . This is a contradiction with the associativity of  $U$ . So,  $U(l, d) \neq 0$ .

**Proposition 3.18.** Take the elements  $e, k \in L$  which  $e, k \neq 0, 1$  and  $k \in I_e$ , a uninorm  $U$  having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  and  $l, d \in L$  which  $l \in ]e, 1]$ ,  $d \in I_e$ ,  $\inf\{l, k\} = 0$  and  $\inf\{d, k\} = 0$ . In this case, it is obtained  $U(l, d) \neq 1$ .

It can be demonstrated as dual of Proposition 3.17.

By using Proposition 3.14-3.17 and considering a bounded lattice  $L$  with Hasse diagram shown in Figure 4 in the undermentioned example, it can be defined a uninorm  $U$  on  $L$  for an annihilator  $k$  and an identity  $e$ , although there exist the elements in  $L$  which are different from  $e$  and incomparable with  $k$ .

**Example 3.19.** Take a lattice  $L = \{0, x, t, y, k, e, 1\}$  with Hasse diagram shown in Figure 4 and consider a function  $U: L^2 \rightarrow L$  as Table 2. However, there are some elements  $y, t, x \in L$  that are incomparable with  $k$ ,  $U$  is a

uninorm with an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$ .

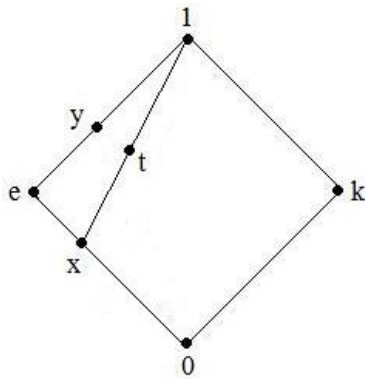


Figure 4. The lattice  $L$

Table 2. The uninorm  $U$  on  $L$

$U$	0	$x$	$e$	$t$	$k$	$y$	1
0	0	0	0	0	$k$	0	$k$
$x$	0	$x$	$x$	$t$	$k$	$x$	1
$e$	0	$x$	$e$	$t$	$k$	$y$	1
$t$	0	$t$	$t$	$t$	$k$	$t$	1
$k$	$k$	$k$	$k$	$k$	$k$	$k$	$k$
$y$	0	$x$	$y$	$t$	$k$	$y$	1
1	$k$	1	1	1	$k$	1	1

4. Concluding remarks

In this study, the structure of uninorms on bounded lattices having an annihilator and an identity is discussed. It has been also investigated some properties of monotone operations on  $L$  that have an annihilator and an identity. As by-product, it has been shown that it needs not exist a uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$  once  $k \leq e$  or  $e \leq k$ . In (Çaylı et al., 2016) considering any bounded lattice  $L$ , it was presented the results that there need not always exist a uninorm  $U \in \mathcal{P}(e)$  for an annihilator  $k$  once  $k \in I_e$  in Theorem 3.6 and Theorem 3.7. Note that it has been showed there need not be a uninorm  $U \in \mathcal{P}(e)$  having an annihilator in Theorem 3.6 and Theorem 3.7 in the case of that it is chosen the special elements in  $L$  are incomparable with an annihilator  $k$ . For this reason, it has been introduced a method to characterize uninorms having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on  $L$ , where  $e, k \neq 0, 1, k \in I_e$  and all elements in  $L$  different from  $e$  is comparable with  $k$ . Moreover, it has been exemplified that a uninorm having an annihilator  $k$  and an identity  $e$  on a bounded lattice  $L$  can exist while there exist

the elements in  $L$  different from  $e$  are incomparable with  $k$ . As a future study, one can consider whether it is possible to characterize a uninorm  $U \in \mathcal{P}(e)$  with an annihilator  $k$  under which additional constraints on  $L$  and/or the elements in  $L$  different from  $e$  once there exist the elements in  $L$  different from  $e$  which is incomparable with  $k$ .

References

Aşıcı, E. and Karaçal, F., 2016. Incomparability with respect to the triangular order. *Kybernetika*, 52, 15-27.

Aşıcı, E., 2017. An order induced by nullnorms and its properties. *Fuzzy Sets and Systems*, 325, 35-46.

Aşıcı, E., 2018. Some remarks on an order induced by uninorms, in: Kacprzyk, J., Szmidt, E., Zadrozny, S., Atanassov, K.T. and Krawczak, M. (Eds), *Advances in Fuzzy Logic and Technology, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham, 641, 69-77.

Beliakov, G., Pradera, A. and Calvo, T., 2007. *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*: Berlin, Springer, 374 p.

Birkhoff, G., 1967. *Lattice Theory*: Providence, RI, American Mathematical Society Colloquium Publishing, 418 p.

Bodjanova, S. and Kalina, M., 2014. Construction of uninorms on bounded lattices. *IEEE 12<sup>th</sup> International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, SISY 2014*, 11-13 September 2014, Subotica, Serbia, pp. 61-66.

Çaylı, G.D. and Drygaś, P., 2018. Some properties of idempotent uninorms on a special class of bounded lattices. *Information Sciences*, 422, 352-363.

Çaylı, G.D. and Karaçal, F., 2017. Construction of uninorms on bounded lattices. *Kybernetika*, 53, 394-417.

Çaylı, G.D., 2018a. On a new class of t-norms and t-conorms on bounded lattices. *Fuzzy Sets and Systems*, 332, 129-143.

Çaylı, G.D., 2018b. Uninorms that are neither conjunctive nor disjunctive on bounded lattices, in: Medina, J., et al. (Eds), *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Communications in Computer and Information Science*, Springer, Cham, 853, 310-318.

Çaylı, G.D., Karaçal, F. and Mesiar, R., 2016. On a new class of uninorms on bounded lattices. *Information Sciences*, 367-368, 221-231.

- De Baets, B. and Fodor, J., 1999. Van Melle's combining function in MYCIN is a representable uninorm: an alternative proof. *Fuzzy Sets and Systems*, 104, 133-136.
- Drewniak, J. and Drygaś, P., 2002. On a class of uninorms. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10, 5-10.
- Drygaś, P., 2004. Isotonic operations with zero element in bounded lattices, in: Atanassov, K. (Eds), *Soft Computing Foundations and Theoretical Aspect*, EXIT Warszawa, p. 181-190.
- Drygaś, P., Qin, F. and Rak, E., 2017. Left and right distributivity equations for semi-t-operators and uninorms. *Fuzzy Sets and Systems*, 325, 21-34.
- Fodor, J., Yager, R.R. and Rybalov, A., 1997. Structure of uninorms. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 5, 411-427.
- Gabbay, D. and Metcalfe, G., 2007. Fuzzy logics based on  $[0, 1)$ -continuous uninorms. *Archive for Mathematical Logic*, 46, 425-449.
- Grabisch, M., Marichal, J.L., Mesiar, R. and Pap, E., 2009. *Aggregation Functions*: Cambridge, Cambridge University Press, 482p.
- Karaçal, F. and Mesiar, R., 2015. Uninorms on bounded lattices. *Fuzzy Sets and Systems*, 261, 33-43.
- Mesiarová-Zemanková, A., 2015. Multi-polar t-conorms and uninorms. *Information Sciences*, 301, 227-240.
- Tsadiras, A.K. and Margaritis, R.G., 1998. The MYCIN certainty factor handling function as uninorm operator and its use as a threshold function in artificial neurons. *Fuzzy Sets and Systems*, 93, 263-274.
- Yager, R.R. and Kreinovich, V., 2003. Universal approximation theorem for uninorm-based fuzzy systems modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 140, 331-339.
- Yager, R.R. and Rybalov, A., 1996. Uninorms aggregation operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 80, 111-120.
- Yager, R.R., 2001. Uninorms in fuzzy systems modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 122 (1), 167-175.
- Yager, R.R., 2003. Defending against strategic manipulation in uninorm-based multi-agent decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 140, 331-339.



## Eskişehir’de (biyo)İklime Duyarlı Kentsel Tasarım Örneği

### A (bio)Climate Sensitive Urban Design Example in The City of Eskişehir

Süleyman TOY<sup>1,a</sup>, Dilara Büşra KAYIP<sup>1,b</sup>, Savaş ÇAĞLAK<sup>\*2,c</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>2</sup>19 Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 55220, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 14.10.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.11.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 04.12.2018

#### Öz

Kentler, başlangıçta doğal halinde olan yüzeyleri kaplı yüzeylere dönüştürerek; iklimin değişmesine, yeşil alanların tahribine, hava kirliliğine ve bunlara bağlı olarak sel vb. afetlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu çalışma kentleşme olgusunu ülkemizde erken yıllarda (1930) yaşayan Eskişehir kentinde, kentleşmenin doğal ortam üzerindeki tahribatını ve iklim değişikliğine etkisini minimize etmek ve sürdürülebilir kentleşme tasarımları ortaya koymak için yapılmıştır. Çalışmada kent merkezi (Eskişehir Bölge Meteoroloji İstasyonu) ve yakın çevresindeki (Anadolu Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu ve Havaalanı Meteoroloji İstasyonu) meteoroloji istasyonlarının verileri, Büyükşehir Belediyesinin paftaları kullanılmıştır. Ayrıca sahada arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Biyoklimatik konfor değerleri Rayman yazılımı aracılığıyla hesaplanmış Pet indeksine göre değerlendirilmiştir. Sahaya ait analiz ve haritaların yapımında Arcgis 10.1 sürümü kullanılmıştır. Çalışmada iklim, termal konfor ve hava kalitesi analizleri yapılmış ve haritalanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kentsel ısı adaları, yoğun hava kirliliği ve rüzgâr hızının çok yavaşladığı sahalarda tespit edilmiştir. Bu olumsuzluklara yoğun ve yüksek binalık alanlar, aşırı asfalt ve betonlaşma, trafik yoğunluğu, yeşil alanların yok edilmesi gibi antropojenik faktörlerin sebep olduğu görülmüştür. Sürdürülebilir ekolojik bir kentleşme için tasarım önerileri geliştirilmiş ve kentsel planlamalar yapılmıştır. Yapılan tasarımlar ve alınan kararların sadece bugünün sorunlarına çözüm olacağı düşünülmemekte aynı zamanda iklim elemanlarındaki değişimi yavaşlatmaya hatta durdurmaya dönük sonuçlara ulaşılacağı da düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Biyoklimatik Konfor, Kent İklimi, Kentsel Tasarım, Şehir Planlama

#### Abstract

Cities are transforming the surfaces that are initially natural into coated surfaces, resulting in climate change, destruction of green areas, air pollution, and floods, etc.,. This study was carried out in order to minimize the impact of urbanization on the natural environment and the impact of climate change on the urban environment of Eskişehir, which has experienced in Turkey in the early years (1930). In the study, meteorological station data of the city center (Eskişehir Regional Meteorology Station) and its vicinity (Anadolu University Meteorology Station and Airport Meteorology Station) and the map of Metropolitan Municipality were used. Field studies were also carried out on the field. Bioclimatic comfort values were calculated by Rayman software and evaluated according to Pet index. Arcgis 10.1 version was used in the analysis and maps of the field. The climate, thermal comfort and air quality analyzes were made and mapped in the study. According to the results, urban heat islands, excessive air pollution and areas where the wind speed is very slow have been determined. It was observed that these problems were caused by anthropogenic factors such as dense and high-rise areas, excessive asphalt and concretization, traffic density, and destruction of green areas. Design proposals for sustainable ecological urbanization were developed and urban planning was made. It is not only thought that the designs and decisions made will be a solution to the problems of today, but it will also cause the results to slow down or even stop the change in climate elements.

**Keywords:** Bioclimatic Comfort, Urban Climate, Urban Design, City Planning

Not: Bu çalışma 28 - 30- Haziran 2018 tarihleri arasında Eskişehir’de düzenlenen “Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu”nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

\*c Savaş ÇAĞLAK; savas\_caglak@hotmail.com; Tel: (0541) 559 90 24; orcid.org/0000-0002-9051-7710

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-3679-280X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-3014-7214

## 1. Giriş

Kentler, başlangıçta doğal halinde olan yüzeyleri kaplı yüzeylere dönüştürerek fazladan güneş radyasyonu tutulması ve ısı artışına, fosil yakıt kullanan motorlu araç trafiği, endüstri ve evsel ısınmadan ortaya çıkan fazla ısı (ya da atık ısı) ve hava kalitesinin bozulması (partikül madde ve sera gazları artışı) nedeniyle iklim elemanları üzerinde olumsuz yönde etkiler oluşturmaktadır (Çiçek, 2005; Yüksel ve Yılmaz, 2008; Çalışkan ve Türkoğlu, 2015; Toy ve Demircan, 2018). Bu gibi faktörler tablo 1’de açıklanmıştır.

**Tablo 1.** Kentsel ısınma

Sonuç	Isı üretimi	Isı tutumu
Sebepler	Motorlu Araç Trafiki	Yüzey değişimi
	Endüstri	Kötü hava kalitesi (fosil yakıt yanması)
	İç mekân ısıtması	

Toplam etkisi kentsel ısı adası olarak tanımlanan bu etkiler dünya üzerinde kentli nüfus arttıkça da giderek yoğunlaşacaktır. Kentler her ne kadar sosyal, ekonomik ve kültürel ilerlemeye ortamlar oluştursalar da son dönemde baş döndüren hızda şahit olunan gelişmelerin çevreye verdikleri tahribatlar da oldukça geniş çaplı ve büyüktür. Kentler insanların gerçekleştirdiği çeşitli faaliyetler nedeniyle çevrelerinden oldukça farklı iklim özelliklerine sahiptirler (Karaca vd., 1995; Kadioğlu, 1997; Kutiel ve Türkeş, 2005). Özellikle son yıllarda sayısı ve niteliği artan çalışmaların sonuçları göstermektedir ki kentler çevrelerine göre daha sıcak (yakıcı), daha az nemli (kuru) ve daha rüzgârsızdır (boğucu) (Türkoğlu vd., 2012; Balık ve Yüksel, 2014; Bulgan ve Yılmaz, 2017). Bu nedenle, özellikle ekonomik kalkınma kaygısıyla kentsel planlama ve tasarım ilkelerini göz ardı ederek çeşitli faaliyetler gerçekleştirmeye çalışan gelişmekte olan ülkelerde, kentsel mekânlar daha az yaşanabilir haldedir (Toy ve Yılmaz, 2009). Fiziksel olarak saçılan – yayılan ve nüfus olarak şişen kentlerde insanlar kaplı/geçirimsiz yüzeylerin aşırılığı nedeniyle şiddetli ısınmaya (güneş radyasyonunun etkisiyle), bu ısınmayla beraber şiddeti her geçen gün artan uç hava olaylarına (aşırı yağışlar, şiddetli rüzgârlar vs.), yağışların yüzey akışına hızlı geçmesi (toprağın emmesinin önlenmesi) nedeniyle şiddetli sellere ve özellikle yaz aylarında dış mekânda yakıcı – boğucu etkilere (sıcak çarpması gibi) maruz kalmaktadır (Kadioğlu, 2007). Şiddeti ve yaşanma

sıklığı her geçen gün artan bu tür olayların insanlık üzerinde ekonomik (para kaybı) ve sosyal (can kaybı) etkileri de artmaktadır (Nastos ve Matzarakis, 2011). Bu tür olayların önüne geçilmesi ve küresel çapta gelişen iklim dalgalanmalarının etkisinin azaltılması ise ancak uygun kentsel planlama ve tasarım ilkelerinin benimsenmesi ile mümkün olmaktadır.

İnsan biyoklimatik konforu, insanın içinde bulunduğu ortamın havasından rahatsız olmama durumudur (Toy, 2010). Bu konforun bozulması başta sağlık sorunları, aşırı enerji kullanımı ve iş veriminde azalma gibi sonuçlar doğurmaktadır. Buna ilave olarak dengesi değişen iklim elemanlarının doğrudan etkilerinin de maliyetleri oldukça ağır olmaktadır. Kentleşmenin etkilerini azaltmak için planlamacıların kullanabileceği kent iklim elemanlarıyla ilgili mekânsal bilgi içeren araçlar; kent iklim haritaları, kentsel termal konfor haritaları, kentsel hava kirliliği haritaları ve kent iklim elemanları modelleme ve simülasyon haritaları olarak belirlenmiştir. Bu araçlar ile kent iklimine ilişkin elde edilen mekânsal veriler sayesinde kent içerisinde iklimsel olarak sorunlu alanlar (ısı adası yoğunluğu yüksek olan alanlar, havalandırma açısından kısıtlı bölgeler vb.)daha kolay belirlenebilmekte ya da bu tür alanların oluşumu engellenebilmektedir (Yılmaz, 2013; Balık ve Yüksel, 2014).

Çalışmada İç Anadolu Bölgesinde önemli yolların kavşak noktasında bulunan ve kentleşme faaliyetlerini ülkemizde erken yıllarda (1930) yaşayan Eskişehir kentinde kent iklim elemanlarının ve biyoklimatik konfor değerlerinin yıl boyunca durumu ortaya konulmuştur.

Eskişehir kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan üç meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. İstasyonlardan alınan veriler Rayman yazılımı aracılığıyla PET (Physiological Equivalent Temperature) indeksine göre hesaplanmış ve CBS yazılımlarından biri olan ArcGIS 10.1 sürümü ile haritalanmıştır. Alansal dağılımı yapılarak kent merkezinde boğucu – yakıcı alanlar belirlenmiş, ilave olarak sıcaklık ve rüzgârın da alansal dağılımları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Kentleşme ve neden olduğu iklim değişikliği insanlığın günümüze kadar karşılaştığı en ciddi problemlerinden biridir. İnsan hayatının ve varlığının sürdürülebilirliğine tehdit olarak duran bu olgunun tamamen yok edilmesi veya etkisinin en düşük seviyelere çekilmesi hem genel atmosferik dolaşımın dengesinin bozulmasını önleyecek hem de alt ölçeklerde insan yaşamının daha rahat ve hayati tehlikeden uzak olmasına

neden olacaktır. Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine 2004, Kyoto Protokolü'ne ise 2009 yılında taraf olmuştur. Bütün bu gelişmelerin ışığında 2010 yılında Türkiye Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi hazırlanarak Yüksek Planlama Kurulu tarafından onaylanmıştır. Bu belgenin hayata geçirilmesi amacıyla, 2009–2011 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Türkiye Ofisi aracılığıyla Türkiye'nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi uygulanmış ve sonuçta Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı hazırlanmıştır (İDEP, 2010).

İklim değişikliği gelişen ve değişen dünyanın en önemli sorunu haline gelmiştir. Sorunun çözüm aşamasında birçok sektör ve disiplin bu konu üzerinde çalışmalara başlamıştır. Bu aşamada planlama disiplinine düşen görevlerin arasında da kentlerin fiziksel yapılarında bulunan ve iklim değişikliğine etkileyen etmenleri ortadan kaldırmaya, uyum sağlamaya yönelik çalışmalar düzenlenmektedir.

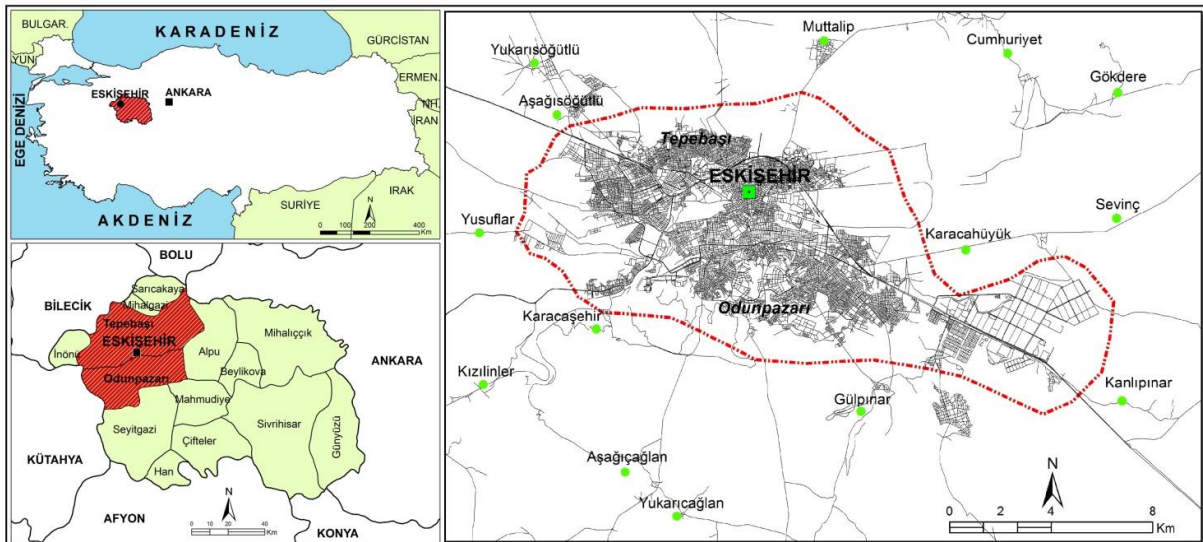
Çalışma kapsamında Eskişehir kent merkezinin de iklim değişikliklerinden etkilenebilecek durumda olduğu ve kentin belli kısımlarında ısı adası etkisi oluşumu gözlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, iklim elemanlarının kentsel ortamda mümkün olan en düşük seviyede etkilendiği bir kentsel planlama ve

tasarım ilkeleri setini Eskişehir kent merkezi özelinde ele alarak önerilerde bulunulmuştur.

Toplam etkisi kentsel ısı adası olarak tanımlanan bu etkiler dünya üzerinde kentli nüfus arttıkça da giderek yoğunlaşacaktır. Kentler her ne kadar sosyal, ekonomik ve kültürel ilerlemeye ortamlar oluştursalar da son dönemde baş döndüren hızda şahit olunan gelişmelerin çevreye verdikleri tahribatlar da oldukça geniş çaplı ve büyüktür. Kentler insanların gerçekleştirdiği çeşitli faaliyetler nedeniyle çevrelerinden oldukça farklı iklim özelliklerine sahiptirler (Karaca vd., 1995; Kadioğlu, 1997; Kutiel ve Türkeş, 2005). Özellikle son yıllarda sayısı ve niteliği artan çalışmaların sonuçları göstermektedir.

## 2. Materyaller ve Yöntemler

Eskişehir, İç Anadolu Bölgesinin Yukarı Sakarya bölümünde 39° 49' K - 39° 43' K enlemleri ile 30° 24' D - 30° 43' D boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Tepebaşı ve Odunpazarı merkez ilçelerinin birleşmesiyle Büyükşehir statüsü kazanmış, şeker fabrikaları, uçak fabrikası, otomotiv fabrikası gibi birçok sanayi kolu gelişmiş ve üniversitelerin açılmasıyla birlikte üniversite şehri statüsü de kazanmıştır. Eskişehir önemli bir yol ağı kavşak noktasında bulunmasından dolayı hızlı bir sanayileşme yaşamış ve çevresinden önemli oranda göç almıştır.



Şekil 1. Eskişehir lokasyon haritası

Çalışmada, Eskişehir Büyükşehir Belediyesinin hazırlanmış olduğu 1/ 2500, 1/ 5000 ve 1/ 1000 ölçekli hâlihazır altlık temel pafta olarak

kullanılmıştır. Eskişehir kentinin ekonomik, fiziksel ve sosyal özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla; coğrafi konumu, tarihçesi, demografik

ve sosyal altyapısı, ekonomik yapısı, ulaşım ve teknik altyapısı, jeomorfolojik ve iklimsel özellikleri irdelenmiştir. Ekim 2017 ve Mart 2018’de Eskişehir ilinde saha araştırması yapılmış, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, Eskişehir Devlet Su İşleri, Ticaret ve Sanayi Odası ve Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı, her bir mahalle için muhtarlıklar ziyaret edilmiştir.

İklim verileri, Eskişehir Bölge, Anadolu Üniversitesi ve Eskişehir Havalimanı meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. Kullanılan meteorolojik veriler, sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı, bulutluluk değerleridir.

İnsanların atmosferik koşullara karşı vermiş oldukları tepkiyi somut bir şekilde açıklayabilmek için termal konfor indeksleri geliştirilmiştir. Sayıları bir hayli fazla olan bu indekslerin bazıları sadece meteorolojik parametreleri ele almaktadır (Toy, 2010). Bu çalışmada birçok etkeni bir arada hesaplayan dünyaca yaygın olarak kullanılan PET (Physiological Equivalent Temperature) indeksi kullanılmıştır. Pet indeksi meteorolojik parametreler ve insana ait değerleri de bir arada hesaplamaya dâhil ettiği için tercih edilmiştir.

PET indeksi temelde Münih Bireysel Enerji Denge Modeline (MEMI) (VDI, 1998) ve Gagge’nin iki nolu modeline (Gagge vd., 1971) dayanmaktadır. Açık alanlardaki meteorolojik koşullar insan ısı dengesi göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. 80W’lık bir iş yapan, kıyafetlerinin ısı direnci 0,9 clo olan, 35 yaşında, 175 cm uzunluğunda 75 kg ağırlığında bir erkeğin açık havada karşılaştığı koşullar, tipik bir kapalı mekânda karşılaştığı hava durumuna vücut ısı dengesinin vereceği tepkiye eşitlenmiştir. Açık hava koşullarının, kapalı alanlardaki tepkilere eşitlenmesiyle somut bir konfor dizini ortaya çıkmaktadır. Tipik kapalı mekân olarak kastedilen alanda referans alınan iklimsel varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Ortalama radyan sıcaklık, hava sıcaklığına eşittir ( $T_{mrt} = T_a$ ).
- Havanın hareket (rüzgâr) hızı 0,1 m/s’dir.
- Su buharı basıncı 12 hPa’dır ( $T_a = 20^\circ$  ve nispi nem %50 civarında olduğundaki su buharı basıncı) (Höppe, 1999; Toy, 2010; Çalışkan vd., 2015).

Sahaya ait haritaların yapımında ArcGIS yazılımının 10.1 sürümü kullanılmıştır. Rayman yazılımı aracılığıyla elde edilen PET değerleri, noktasal bazda değerler olduğu için ArcGIS

yazılımının noktasal bazda analiz yapan yöntemlerinden biri olan co-kriging yöntemiyle yüzeye enterpole edilmiştir.

**Tablo 2.** Pet indeksi konfor aralıkları (Matzarakis and Mayer, 1996)

PET (°C)	İnsanın sıcaklık hissi	Termal stres seviyesi
<4	Çok soğuk	Aşırı soğuk stresi
4,1–8,0	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
8,1–13,0	Serin	Orta soğuk stresi
13,1–18,0	Hafif serin	Hafif soğuk stresi
18,1–23,0	Konforlu	Termal stres yok
23,1–29,0	Hafif ılık	Hafif sıcaklık stresi
29,1–35,0	Ilık	Orta sıcaklık stresi
35,1–41,0	Sıcak	Güçlü sıcaklık stresi
>41,0	Çok sıcak	Aşırı sıcaklık stresi

Co-kriging, sıradan kriginge göre ek avantajlar sunar. İlgili birincil veya örnek değişkeni ile çapraz ilişkili bir ikincil değişken (ortak değişken) kullanımını içerir. İkincil değişken genellikle daha sık ve düzenli olarak örneklenir, böylece her iki değişkeni de kullanarak bilinmeyen noktaların tahmin edilmesini sağlar (Yalçın, 2005). Yüzeye enterpole edilirken yükselti ve arazi kullanım yoğunluğu dikkate alınmıştır. Hesaplanan PET değerlerinin, yükselti ve arazi kullanım parametreleriyle çoklu çizgisel regresyon analizi yapılmıştır.

Her ay için günlük ortalama PET değeri analiz edilmiş, CBS yardımıyla alansal dağılımları yapılmıştır. Biyoklimatik konfor şartları üzerinde enlem, boylam, yükselti, denizellik, bitki örtüsü vb. doğal faktörler etkili olduğu gibi şehirsal arazi kullanımı ve antropojen faktörler de etki etmektedir.

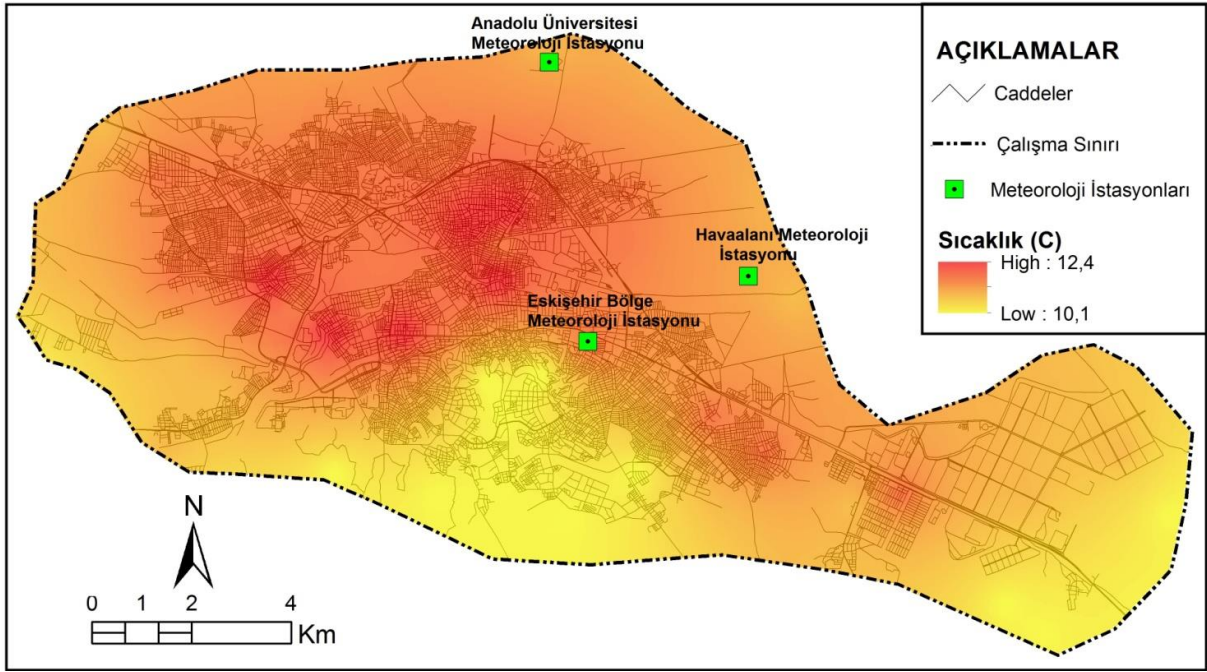
### 3. Bulgular

#### 3.1 Sıcaklık

Eskişehir kent merkezi ve yakın çevresindeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen verilerle yıllık ortalama sıcaklık haritası oluşturulmuştur. Kent merkezinde sıcaklık 10.1°C ile 12.4°C arasında dağılım göstermektedir. Yerleşmenin yoğun olduğu alanların, çevrelerine göre daha sıcak olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanında kent içerisinde aşırı yoğun binalık alanlarda kentsel ısı adası ortaya çıkmıştır (Şekil 2).

Yapılan arazi çalışmaları ile bu alanlarda yeşil alanların yeterli olmadığı, caddelerin rüzgâr yönüne uygun olmadığı aşırı yoğun ve yüksek binalarla çevrili olduğu görülmüştür.





Şekil 2. Eskişehir kentinin yıllık ortalama sıcaklık haritası

### 3.2. Rüzgâr Yönü ve Hızı

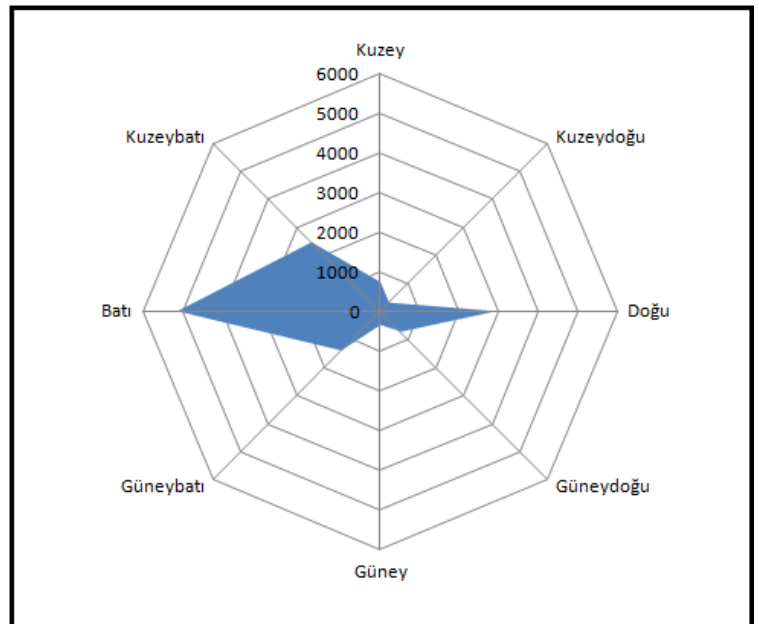
Eskişehir kent merkezinde hâkim rüzgâr sektörü batıdır. Yıl içerisinde tüm yönlerden esen toplam 14027 adet rüzgârdan 8993'ü batı sektörü meydana getiren kuzeybatı (2461), batı (5129) ve

güneybatıdan (1403) esmektedir. Yönler içerisinde en fazla batı yönünde rüzgârlar esmektedir. Batı yönünden sonra ise en fazla doğu (2921) yönünden rüzgârlar esmektedir (Şekil 3, Tablo 2).

Tablo 2. Eskişehir kent merkezinin rüzgâr yönü ve esme sayıları

Yönler	Kuzey	Kuzeydoğu	Doğu	Güneydoğu	Güney	Güneybatı	Batı	Kuzeybatı
Rüzgâr Esme Sayısı	731	305	2921	730	347	1403	5129	2461

Şekil 3. Eskişehir kent merkezinin rüzgârgülü grafiği





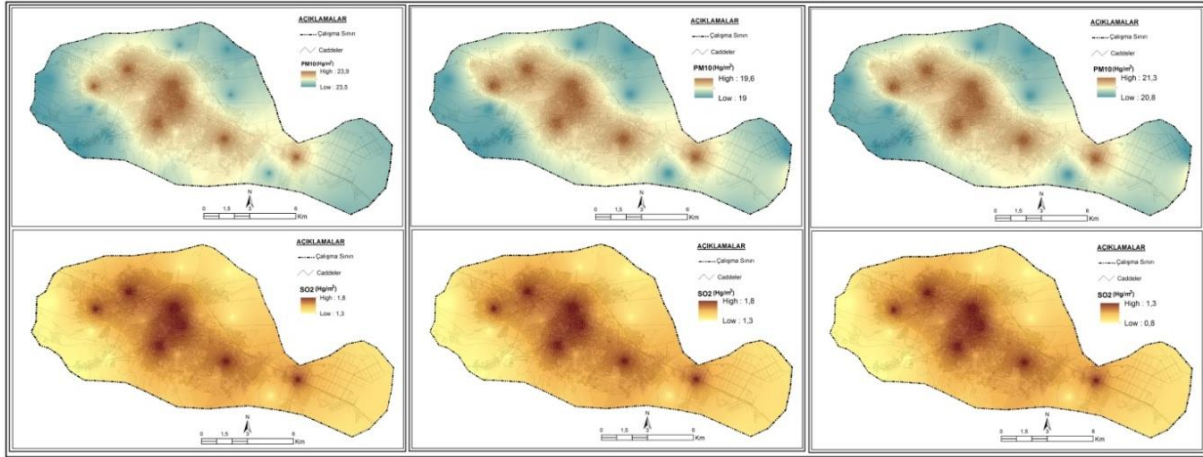


Yaz dönemi için haziran, temmuz ve ağustos ayları incelenmiştir. Yaz dönemi içerisinde partikül madde miktarı (PM10) (haziran; 23.9 - 23.5, temmuz; 19.6 -19, ağustos; 21.3- 20.8  $hg/m^3$ ) en fazla haziran ayında görülmüş olup, alansal dağılıfta ise kent merkezinin rüzgar hızının düştüğü, yoğun kentsel alanda görülmüştür. Kükürt dioksit miktarı haziran ve temmuz aylarında aynı miktarda ( $1.8 hg/m^3 - 1.3 hg/m^3$ ), ağustos ayında ise  $1.3 hg/m^3$  ile  $0.8 hg/m^3$  arasında olduğu belirlenmiştir. Alansal dağılımda

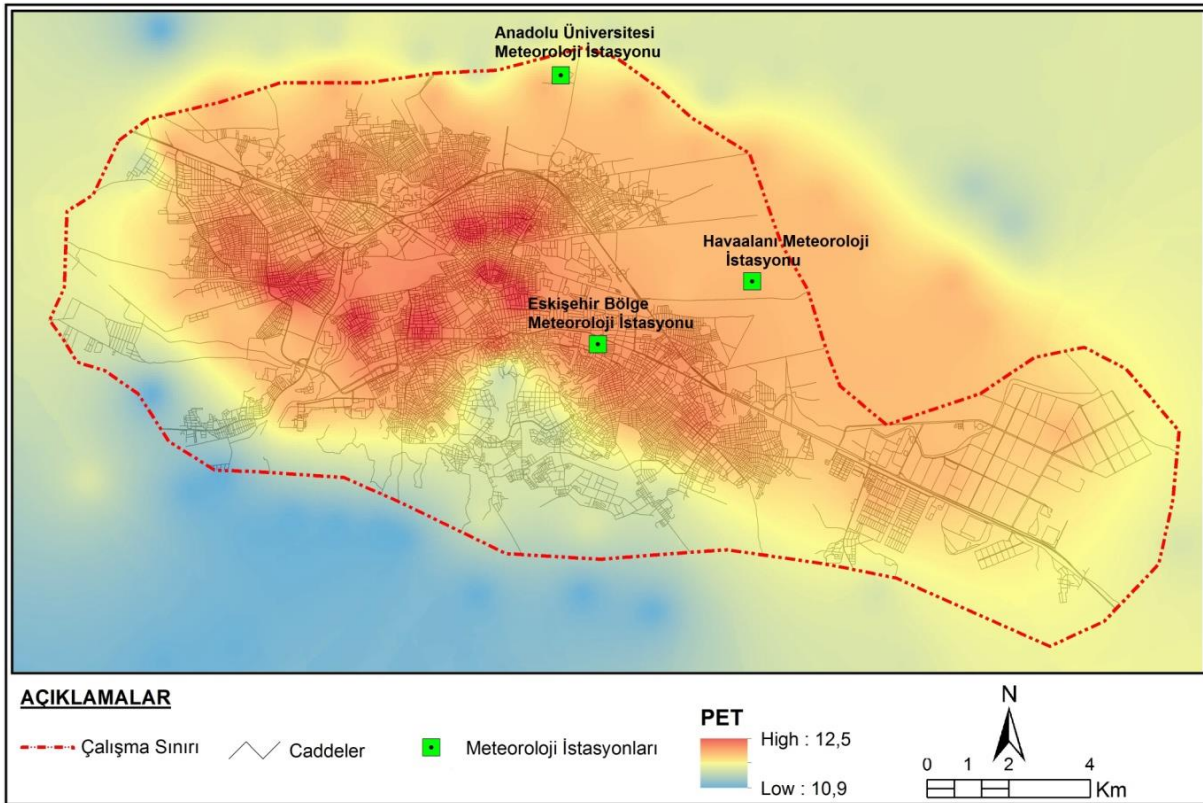
ise yine partikül madde miktarının yoğun görüldüğü alanlarda ortaya çıkmıştır (Şekil 6).

### 3.4. Biyoklimatik Durumu

Karasal iklim özellikleri görülen Eskişehir’de biyoklimatik konfor şartlarının yıllık ortalaması incelenmiştir. Yıllık ortalama konfor aralığı  $10.9^{\circ}C$  ile  $12.5^{\circ}C$  arasında ortaya çıkmıştır. Bu değerler Pet indeksine göre ‘‘Serin’’ stresi olarak algılanmaktadır.



Şekil 6. Eskişehir kentinde yaz dönemi hava kirliliği haritası



Şekil 7. Eskişehir kenti ve yakın çevresinin yıllık ortalama biyoklimatik konfor haritası

Kent merkezi çevresine daha yüksek değerlere sahip olup, kent içerisinde konfor adaları tespit edilmiştir (Şekil 7). Konfor adalarının görüldüğü sahalar sıcaklık adaları (Şekil 2), rüzgâr hızının düşük olduğu alanlar (Şekil 4) ve hava kirliliğinin yoğun olduğu alanlarla (Şekil 5, Şekil 6) paralellik göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan analizler sonucunda kent içerisinde yeşil alanların az, trafik yoğunluğunun fazla, bina yoğunluğunun ve yüksekliğinin fazla olduğu alanlarda kentleşmeye bağlı doğal ortam

şartlarının bozulduğu ortaya çıkmıştır. Planlama karar ve ilkelerine dikkat edilmeden hızlı bir şekilde kentleşme ve beraberinde asfalt, beton yüzeylerle kaplı sahalar, sanayileşme, çarpık kentleşme gibi faktörler Eskişehir kentinin iklim özelliklerini değiştirmiştir. İklim ile birlikte kentin doğal ortamı insan yaşamı için çekilmez ortam oluşturmuştur. Çalışmada bu olumsuzlukları minimize etmek için Eskişehir kentinde doğal ortamı koruyucu ve iklim değişikliğini önleyici tedbirler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan mekânsal planlar, plan kararları ve tasarımlar aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Eskişehir kentsel planlama haritası

Şekil 8'e göre kent içerisinde yaya odaklı merkezler ön plana çıkarılmıştır. Toplu ulaşım sistemi kentin her bölgesine hizmet verecek şekilde etkin kullanımlı olarak tasarlanmıştır. Kentin her bölgesinde bulunduğu alana canlılık katacak odaklar belirlenmiştir. Bu odaklar; yaşam kalitesini artırıcı, kente nefes aldırın yeşil alanlar ve ekolojik koridorlar olarak düşünülmüştür. Batı eksenindeki gelişmenin tarım alanlarını yok etmemesi için alternatif olarak güney ve güneybatı ekseninde gelişme odağı belirlenmiştir. Mevcut ticari alanlar korunacak fakat yükünü ve merkezin kullanım yoğunluğunu azaltıcı odaklar belirlenmiştir. Küçük sanayi sitesi alanlarında üretimin devam etmesi fakat fonksiyon değişikliği önerilmiştir. Üretim alanlarına ek olarak AR-GE alanları kurulması, organize sanayi bölgesinde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve üniversite ile Ar-Ge merkezleri arasında koordine sağlanması önerilmektedir.

Buna göre bu çalışma;

1. İklim ve biyoiklim bilgisinin kentsel planlama ve tasarım yaklaşımlarında ne denli kullanılabileceği ile ilgili iyi bir örnek teşkil etmektedir.
2. Bu çalışma ile Eskişehir kent merkezi ve yakın çevresinin biyoklimatik konfor koşulları ve iklim elemanlarının mekânsal dağılımı da tespit edilmiştir.
3. Bu şartlar altında kentin biyoiklim yönünden olumsuz özelliklere sahip olduğu ve planlama ilkeleri doğrultusunda tedbir alınması gerektiği belirlenmiştir.
4. Yapılan tasarımlar ve alınan kararların sadece bugünün sorunlarına çözüm olacağı düşünülmemekte aynı zamanda iklim elemanlarındaki değişimi yavaşlatmaya hatta durdurmaya dönük sonuçlar elde edileceği de düşünülmektedir.

5. Bu çalışmanın temel seviyede gerçekleştirildiği düşünüldüğünde;

a-) Mekânsal planlama ve tasarımdan sorumlu yerel ve merkezi idarelerin çok geç kalınmış olsa da bundan sonraki çalışmalarında en detay biçimde iklim ve biyoiklim şartlarını ele almaları,

b-) Planlama, mimarlık ve peyzaj mimarlığı eğitimi veren okulların muhakkak yeni meslek mensuplarına temel iklim ve biyoiklim bilgisi ve kullanım alanları ile ilgili bilgi vererek mezun etmeleri hayati önem taşımaktadır.

### Kaynaklar

Balık, H. ve Yüksel, Ü.D., 2014. Planlama Sürecine İklim Verilerinin Entegrasyonu. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 7 (2), 01-06.

Bulgan, E. ve Yılmaz, S., 2017. Farklı Kent Dokularının Yaz Aylarında Biyoklimatik Konfora Etkisi: Erzurum Örneği. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (4), 235- 242.

Çalışkan O., ve Türkoğlu N., 2015. Ankara da Termal Konfor Koşulların Eğilimi ve Şehirleşmenin Termal Konfor Koşulları Üzerine Etkisi. Coğrafî Bilimler Dergisi, 12 (2),119-131.

Çiçek, İ., 2005. Ankara'da Şehir ve Kırsal Sıcaklık Farklarındaki Değişiklikler (1970-2002). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,15(2),1-16.

Gagge, A., Stolwijk, A. and Nishi, Y., 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Transactions, 77, 247-57.

Höppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43, 71-75.

İDEP, 2010. Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2. Baskı): T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ağustos 2012, Ankara.

Kadıoğlu, M., 1997. Şehirleşmenin Marmara Bölgesindeki Yağışlara Etkisi. Su ve Çevre Sempozyumu'97, 2-5 Haziran 1997, TMMOB JMO Genel Yayın No:46, İstanbul.

Kadıoğlu, M., 2007. İklim Değişiklikleri ve Etkileri: Meteorolojik Afetler. TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık, Ankara, s47-55.

Karaca, M., Tayanç, M. ve Toros, M., 1995. Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara. Atmospheric Environment, 29 (23), 3411-3421.

Kutiel, H., ve Türkeş, M., 2005. New evidence about the role of the North Sea - Caspian Pattern (NCP) on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 87, 501-513.

Matzarakis, A. ve Mayer, H., 1996. Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO newsletter, 18, 7-10.

Nastos, T.P. ve Matzarakis, A., 2011. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. Theoretical and Applied Climatology, 108, 591-599.

Toy, S. 2010. Biyoklimatik Konfor Değerleri Bakımından Doğu Anadolu Bölgesi Rekreatif Alanların İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 218s.

Toy, S. ve Demircan N., 2018. Possible Ways of Mitigating the Effects of Climate Change Using Efficient Urban Planning and Landscape Design Principles in Turkey. Atlas International Referred Journal on Social Sciences, 4 (10), 809-814.

Toy, S. ve Yılmaz, S., 2009. Peyzaj Tasarımında Biyoklimatik Konfor ve Yaşam Mekanları İçin Önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40 (1), 133-139.

Türkoğlu, N., Çalışkan, O., Çiçek, İ. ve Yılmaz, E., 2012. Şehirleşmenin Biyoklimatik Konfor Koşullarına Etkisinin Ankara Ölçeğinde İncelenmesi. Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 9(1), 932- 955.

VDI, 1998. Guideline VDI 3787, Part 2, Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level-Part I, Climate. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd. 1 b.

Yalçın, E., 2005. Co-kriging and its effect on the estimation precision. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 105 (1), 223-228.

Yılmaz, E., 2013. Ankara Şehrinde Isı Adası Oluşumu. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 282s.

Yüksel, Ü.D., ve Yılmaz, O., 2008. Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (4), 937-952.

## Gümüşhane İlinde Yayılış Gösteren Bazı Tıbbi Bitkilerin Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve RP-HPLC-DAD ile Fenolik Bileşenlerinin Belirlenmesi

*Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Phenolics Compounds by RP-HPLC-DAD of Some Medicinal Plants from Gümüşhane (Turkey)*

Kaan KALTALIOĞLU\*<sup>1,a</sup>, Mustafa KARAKÖSE<sup>1,b</sup>, Hüseyin ŞAHİN<sup>1,c</sup>, Ersan BEKTAŞ<sup>1,d</sup>, Kadriye İNAN BEKTAŞ<sup>2,e</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Espiye Meslek Yüksekokulu, 28600, Giresun

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 24.12.2017

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.07.2018

• Kabul tarihi / Accepted: 04.12.2018

### Öz

Bu çalışmada, çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde tıbbi amaç için kullanılan ve Gümüşhane ilinden toplanan *Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus* ve *Lactuca racemosa* bitkilerinin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin analizi ve fenolik bileşenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Fenolik bileşenler diod tarama dedektörlü ters fazlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (RP-HPLC-DAD) analizi ile belirlenmiştir. Bitki özütlerinde belirlenen ana bileşenler, klorojenik ve kafeik asit olurken; miktarları ise sırasıyla 14.08-0.90 ve 12.76-0.35 mg fenolik/g özüt aralığında tespit edilmiştir. Antioksidan aktivite profiline bakıldığında; demir indirgeme antioksidan gücünün (FRAP) 378.04-54.10  $\mu\text{M FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  eşdeğeri/g özüt aralığında, DPPH radikalini %50 oranında süpürmek için gereken konsantrasyonun 483.33-45.64  $\mu\text{g/mL}$  aralığında, total fenolik içeriklerinin (TPC) 82.76-36.30 mg GAE/g özüt aralığında olduğu belirlenmiştir. Antimikrobiyal analiz sonuçlarında ise test edilen mikroorganizmalara karşı bitki özütlerinin düşük seviyede etki gösterdikleri belirlenmiştir. Edinilen sonuçlara göre, bu bitkiler yeni farmasötik ilaçların geliştirilmesine katkıda bulunabilirken; çeşitli hastalıkların tedavisindeki potansiyel kullanımları doz bağımlı bir şekilde klinik çalışmalarda araştırılabilir kanaati ortaya çıkmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal aktivite, Antioksidan aktivite, Fenolik, Gümüşhane, Tıbbi bitkiler

### Abstract

This study was designed to determine antioxidant and antimicrobial properties and phenolic constituents of *Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus* and *Lactuca racemosa* which are collected in Gümüşhane (Turkey) and are used as a traditional complementary therapy for various disorders. RP-HPLC-DAD (reverse phase-high performance liquid chromatography with a diode array detector) was applied for quantitative and qualitative analysis of phenolic compounds. Chlorogenic acid and caffeic acid were found in all samples as the dominant compound ranged from 14.08 to 0.90 and 12.76 to 0.35 mg phenolic/g extract, respectively. The antioxidant activity profile was, ferric reducing antioxidant power (FRAP) ranged from 378.04 to 54.10  $\mu\text{M FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$  extract, the concentration desired for scavenging of DPPH radicals by 50% ranged from 483.33 to 45.64  $\mu\text{g/mL}$ , while total phenolic content (TPC) ranged from 82.76 to 36.30 mg GAE/g extract. According to antimicrobial results, plant extracts showed a weak effect against tested microorganisms. In conclusion, their potential use in treating various diseases in a dose-dependent manner might also be explored in clinical trials and obtained results might contribute to the development of new pharmaceutical drugs.

**Keywords:** Antimicrobial activity, Antioxidant activity, Phenolics, Gümüşhane, Medicinal plants

\*a Kaan KALTALIOĞLU; kaan.kaltalioglu@gmail.com; Tel: (0454) 310 14 30; orcid.org/0000-0002-4995-2657

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0534-3996

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-6018-1494

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-9030-6908

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0002-5909-588X



## 1. Giriş

Bitkiler geçmişten günümüze pek çok hastalığın tedavisinde veya semptomlarının hafifletilmesinde kullanılan doğal kaynaklardır (Maver vd., 2015). Geleneksel tedavi yöntemlerinde folklorik bitkilerin kullanımı gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde daha çok tercih edilmekte ve pazar payı dünya genelinde giderek artmaktadır. Bu tip bitkiler yan etkilerinin nispeten daha az olduğuna inanılması, kolay ulaşılabilir olmaları gibi sebeplerle tercih edilmektedir. (Trivedi, 2006). Bitkilerin gösterdikleri tıbbi etkilerin ise içerdikleri fenolik bileşenler gibi sekonder metabolitler üzerinden gerçekleştiği düşünülmektedir. Flavonoller, izoflavonoidler, tanenler, fenolik asitler gibi fenolik bileşenler antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antitümör, antidiyabet vb. aktiviteler göstererek çeşitli hastalıkların tedavi sürecinde etkin rol oynarlar (Pereira vd., 2009; Chedia vd., 2013; Mahmoudi vd., 2016; Bektas vd., 2018).

Türkiye'nin floristik zenginliği göz önüne alındığında geleneksel tıp büyük önem arz etmekte ve çok sayıda tıbbi bitki bulundurmaktadır (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011). *Hypericum* (*Hypericaceae*) cinsi üyeleri Türkiye, İran, Almanya ve ABD gibi ülkelerde siğil, yara, egzama tedavisinde ve ayrıca ağrı kesici ve antidepresan olarak kullanılan folklorik bitkilerdir. Bu türün çiçekleri, yaprakları, toprak üstü kısımları veya bitkinin tamamı tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır (Greeson vd., 2001; Mazvearani vd., 2007; Korkmaz ve Karakurt, 2015). Türkiye'de yerel olarak "Karahasan çayı" olarak bilinen *H. scabrum* türü ise geleneksel olarak yara ve ülser tedavisinde, iltihap kurutma ve mide rahatsızlıklarında kullanılmaktadır (Korkmaz ve Karakurt, 2015). Eslami vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada *H. scabrum* türünün antihipoksik ve antidepresan etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda bu cinsin üyelerinin zengin fenolik çeşitliliğe ve biyolojik aktiviteye sahip olduğu rapor edilmiştir (Jürgenliemk ve Nahrstedt, 2002; Çirak vd., 2011; Shafaghat, 2011).

*Laser trilobum* (*Apiaceae*) türü Türkiye'de genellikle "kefe kimyonu" olarak adlandırılmakta ve baharat olarak kullanılmaktadır (Doğan vd., 2014). Ayrıca yine Türkiye'de bu türün meyve kısımlarının sindirime yardımcı olmak ve karın ağrısını gidermek için geleneksel olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Bulut vd., 2014). *L. trilobum* türünün antioksidan (Ebrahimzadeh vd., 2010), antimikrobiyal (Parlatan vd., 2009) ve

antihemolitik (Ebrahimzadeh vd., 2010) etki gösterdiği çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir.

*Asteraceae* familyasının üyeleri olan *Turanecio* ve *Lactuca* cinsleri Türkiye'de doğal olarak yetişen bitkilerdir. *Turanecio* yeni tanımlanan bir cins olmakla birlikte daha önceleri *Senecio* cinsinin altında yer almaktaydı (Hamzaoğlu vd., 2011). Türkiye florasına endemik olan ve "turanotu" olarak adlandırılan *T. hypochionaeus* türünün henüz bildirilen geleneksel bir kullanımı bulunmamaktadır. Fakat aynı cinsin başka bir üyesinin (*T. eriospermus*) yaprak kısımlarının Türkiye'de antiinflamatuvar amaçla kullanıldığı Mükemre vd. (2015) yapmış oldukları etnobotanik çalışmada rapor edilmiştir. *Lactuca* cinsi ise Türkiye'de daha çok salata yapımında kullanılmakla birlikte İtalya, Hindistan ve Pakistan gibi ülkelerde yaprak kısımlarının veya bitkinin tamamının kabızlık, bronşit, astım, mide, rahatsızlıklarında kullanıldığı ve analjezik, diüretik, sedatif, hipnotik ve pürgatif özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir (Guarino vd., 2008; Jan vd., 2009; Singh, 2012; Janbaz vd., 2013). Bu cins üyelerinin antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve apigenin, luteolin ve kersetin gibi fenolik bileşenler içerdiği tespit edilmiştir (Terencio vd., 1992; Liu vd., 2007).

Çalışmamızda Türkiye ve çeşitli ülkelerde geleneksel olarak kullanılan ve Gümüşhane ilinden toplanan *Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus*, *Lactuca racemosa* (Sin: *Cicerbita racemosa*) bitkilerinin DPPH, FRAP ve TPC analizleriyle antioksidan kapasitesinin, MIC yöntemiyle antimikrobiyal aktivitesinin ve RP-HPLC-DAD analizi ile fenolik bileşenlerinin saptanması ve bu bitkilerin potansiyel kullanım alanlarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitki Örneklerinin Toplanması ve Teşhisi

Çalışmada kullanılan tüm bitki örnekleri Gümüşhane ilinden toplanmış ve Dr. Mustafa Karaköse tarafından teşhisi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan herbaryum örnekleri Giresun Üniversitesi Espiye Meslek Yüksekokulu Herbaryumunda numaralandırılarak kayıt altına alınmıştır (Tablo 1).

### 2.2. Bitki Özütlelerinin Hazırlanması

Çalışmada tüm bitkilerin toprak üstü kısımları kullanıldı.

**Tablo 1.** Kullanılan bitki örneklerinin toplanma alanları, yerel isimleri ve herbaryum numaraları

Bitki ismi	Yerel isim	Toplanma alanı	Herbaryum Numarası
<i>Hypericum scabrum</i> L.	Karahasan Çayı	Şiran/Gümüşhane, orman açıklıkları, 1700 m.	ESPH 032
<i>Laser trilobum</i> L.	Kefe Kimyonu	Şiran/Gümüşhane, <i>Abies nordmanniana</i> ve <i>Pinus sylvestris</i> ormanı, 1890 m.	ESPH 033
<i>Turanecio hypochionaeus</i> Boiss.	Turanotu	Şiran/Gümüşhane, <i>Abies nordmanniana</i> ormanı, 1850 m.	ESPH 034
<i>Lactuca racemosa</i> Willd.	Çayır Marulu	Şiran/Gümüşhane, <i>Abies nordmanniana</i> ve <i>Pinus sylvestris</i> ormanı, 1810 m.	ESPH 035

Toplanan bitki örneklerinin kullanılacak kısımları ayrılarak oda sıcaklığında sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu. Bitki örneklerinden 5'er gramlık kartuşlar hazırlanarak 100 mL metanol çözücüsü içerisinde 6 saat (veya renk kalmayınca) Soxhlet aparatı ile özütleri çıkarıldı. Elde edilen özütler Whatmann filtre kağıdından geçirildi ve çözümleri döner buharlaştırıcıda uçuruldu. Elde edilen özüt iki kısma ayrıldı. İlk kısım antioksidan ve antimikrobiyal analizlerde kullanılmak üzere saf suda, kalan kısım ise RP-HPLC-DAD analizlerinde kullanılmak üzere metanolde çözüldü. Hazırlanan özütler kullanılabildiği kadar +4 °C'de saklandı.

### 2.3. Fenolik Bileşen Tayini

Fenolik bileşenler RP-HPLC-DAD analizi ile belirlendi. Bu analiz Thermo Scientific Dionex Ultimate™ 3000 (Thermo Scientific, Bremen, Germany) sistemi ile ters faz kolonu kullanılarak (Hypersil™ ODS C18 HPLC (250 mm × 4.6 mm

x 5 µm), Thermo Scientific, USA) ikili çözücü gradient sistemi aracılığıyla gerçekleştirildi (A: 80% asetonitril-saf su; B: 2% asetik asit-saf su, başlangıç şartı 5% B ve 26 dk içerisinde 60% B'ye varacak şekilde). Kolon sıcaklığı 30 °C, mobil faz akış hızı 1.2 mL/dk ve enjeksiyon hacmi 10 µL olarak analiz şartları belirlenmiştir. 12 adet standart fenolik bileşen (gallik asit, protokatekuik asit, *p*-OH benzoik asit, klorojenik asit, vanilik asit, kafeik asit, şiringik asit, *p*-kumarik asit, rutin, rosmarinik asit, benzoik asit, kersetin) 280 nm dalga boyunda gözlemlendi. Kromatogram alanları integrasyon ölçüm yöntemi ve mAU dedeksiyon birimi kullanılarak hesaplandı.

LOD (dedeksiyon limiti) ve LOQ (ölçüm limiti) validasyon değerleri her standart için sırasıyla 3 ve 9 sinyal/gürültü (S/N) seviyesine göre hesaplandı ve alıkonma süreleri (RT) ve relatif standart sapma (RSD) değerleri ile birlikte Tablo 2'de verildi.

**Tablo 2.** Kullanılan fenolik bileşenlerin standart kromatogram değerleri (RT alıkonma süresi, LOD dedeksiyon limiti, LOQ ölçüm limiti, RSD relatif standart sapma)

No	RT(dakika)	Standartlar	R <sup>2</sup>	RSD%(RT)	RSD%(Alan)	LOD (mgL <sup>-1</sup> )	LOQ (mgL <sup>-1</sup> )
1	3.72	Gallik Asit	0.999	0.168	4.315	0.070	0.213
2	6.74	Protokatekuik Asit	0.998	0.291	5.973	0.495	1.499
3	10.13	<i>p</i> -OH Benzoik Asit	0.999	0.290	4.817	0.224	0.680
4	11.46	Klorojenik Asit	0.997	0.239	6.177	0.512	1.550
5	13.49	Vanilik Asit	0.994	0.168	6.794	0.171	0.518
6	13.84	Kafeik Asit	0.999	0.235	6.861	0.058	0.175
7	14.79	Şiringik Asit	0.999	0.082	5.116	0.096	0.290
8	16.41	<i>p</i> -kumarik Asit	0.999	0.061	2.935	0.005	0.014
9	16.63	Rutin	0.999	0.075	2.855	0.311	0.942
10	18.41	Rosmarinik Asit	0.999	0.069	3.388	0.162	0.492
11	18.84	Benzoik Asit	0.999	0.076	2.721	0.550	1.665
12	21.71	Kersetin	0.999	0.087	2.268	0.335	1.014



## 2.4. Antioksidan Aktivitelerin Belirlenmesi

### 2.4.1. Total fenolik içerik (TPC) tayini

Özütlerin total fenolik içerik tayini gallik asidi standart kullanarak Folin-Ciocalteu metoduna göre gerçekleştirildi (Singleton ve Rossi, 1965). İlk olarak, 680 µL saf su, 20 µL özüt ve 400 mL Folin-Ciocalteu reaktifi bir tüpte karıştırıldı ve ardından 10 dk inkübasyona bırakıldı. Sonrasında, 400 µL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (10%) eklendi ve oda sıcaklığında 2 saat inkübe edildi ve spektrofotometre ile 760 nm'de absorbansları okundu. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi. Elde edilen değerler mg GAE/g özüt cinsinden verildi.

### 2.4.2. Demir indirgeme antioksidan güç (FRAP) tayini

FRAP tayini Benzie ve Strain (1996) metoduna göre gerçekleştirildi. FRAP tayini antioksidan kapasitenin belirlenmesi için kullanılan bir metot olup, Fe<sup>3+</sup>-TPTZ kompleksinin antioksidanlar varlığında indirgenerek mavi renkli kompleks Fe<sup>2+</sup>-TPTZ oluşması ve bu kompleksin 593 nm'de maksimum absorbans vermesi esasına dayanmaktadır. 3 mL FRAP reaktifi (TPTZ, FeCl<sub>3</sub> ve asetat tamponu) ve 100 µL özüt veya kör deney tüplerine eklenip karıştırıldı. 4 dakika sonrasında 593 nm'de absorbanslar okundu. Sonuçlar hazırlanan FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O kalibrasyon eğrisi ile kıyaslandı ve µM FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O eşdeğeri /g özüt olarak ifade edildi.

### 2.4.3. 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) tayini

Radikal süpürücü aktivite DPPH radikaline karşı spektrofotometrik olarak 517 nm'de ölçüldü. Kısaca özütlerden elde edilen stok çözeltilerden 50 µL alınarak 5 mL taze olarak hazırlanmış 0.004% (w/v) DPPH çözeltisi ile karıştırıldı. Karışım 30 dk oda sıcaklığında karanlık ortamda inkübe edildi ve absorbans değerleri 517 nm'de ölçüldü. Standart olarak bütillendirilmiş hidroksi tolüen (BHT) kullanıldı ve radikal temizleme aktivitesi %50 azalmaya neden olan inhibitör konsantrasyon (IC<sub>50</sub>: µg/mL) olarak verildi. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi (Cuendel vd., 1997).

### 2.4.4. Antimikrobiyal Aktivite Tayini

Bitki özütlerinin antimikrobiyal aktiviteleri mikrodilüsyon metoduna göre belirlendi ve minimal inhibitör konsantrasyon (MIC) değerleri hesaplandı. *Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* ATCC 6633,

*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Klebsiella pneumonia* ATCC 700603, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Bacillus cereus* RSKK 709, *Acinetobacter baumannii* RSKK 02026, *Enterobacter cloacea* ATCC 13047, *Candida albicans* ATCC 14053 suşları Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümünden temin edildi ve antimikrobiyal aktivite tayini için kullanıldı. Bitki özütlerinde son konsantrasyon 40 mg/mL olacak şekilde saf su ile stok çözeltiler hazırlandı ve 0.45 µm Millipore filtrelerden geçirilerek steril hale getirildi. 96 kuyucuk içeren plakaların her bir kuyucuğuna 100 µL sıvı besiyeri (bakteriler için Mueller Hinton Broth-MHB, maya için Potato Dextrose Broth-PDB) eklendi. 100 µL stok özüt çözeltisi ilk kuyucuğa eklendi ve daha sonra her kuyucuğa birebir seyreltme yöntemiyle 2 kat seyreltilerek seri halinde son konsantrasyonları 20 – 0.039 mg/mL aralığında olacak şekilde devam edildi. Son iki kuyucuk ise sterilizasyon kontrolü ve büyüme kontrolü olarak kullanıldı. Büyüme kontrolü ve tüm test kuyucuklarına 5 µL bakteri süspansiyonu (5x10<sup>5</sup> CFU/kuyucuk) inoküle edildi. Kuyucuklar 18-20 saat boyunca uygun sıcaklıklarda (28, 30 ve 37 °C) inkübasyona bırakıldı. Bakteriyel büyüme 40 µL INT (2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-fenil-tetrazolyum-klorid) boyası eklenerek tespit edildi. Kuyucuklara INT eklenip 30 dakika inkübasyona bırakılarak mikrobiyal büyümenin olup olmadığı gözlemlendi ve mikrobiyal büyümenin olduğu plakalarda renk sarıdan mora dönüştü. MIC değeri büyümenin görülmediği en düşük miktarda özütü içeren konsantrasyon olarak tanımlandı. Ampisilin (500 µg/mL), amikasin (500 µg/mL) ve flukonazol (1500 µg/mL) standart antibakteriyel ve antifungal ajanlar olarak kullanıldı (Güllüce vd., 2003).

## 3. Bulgular

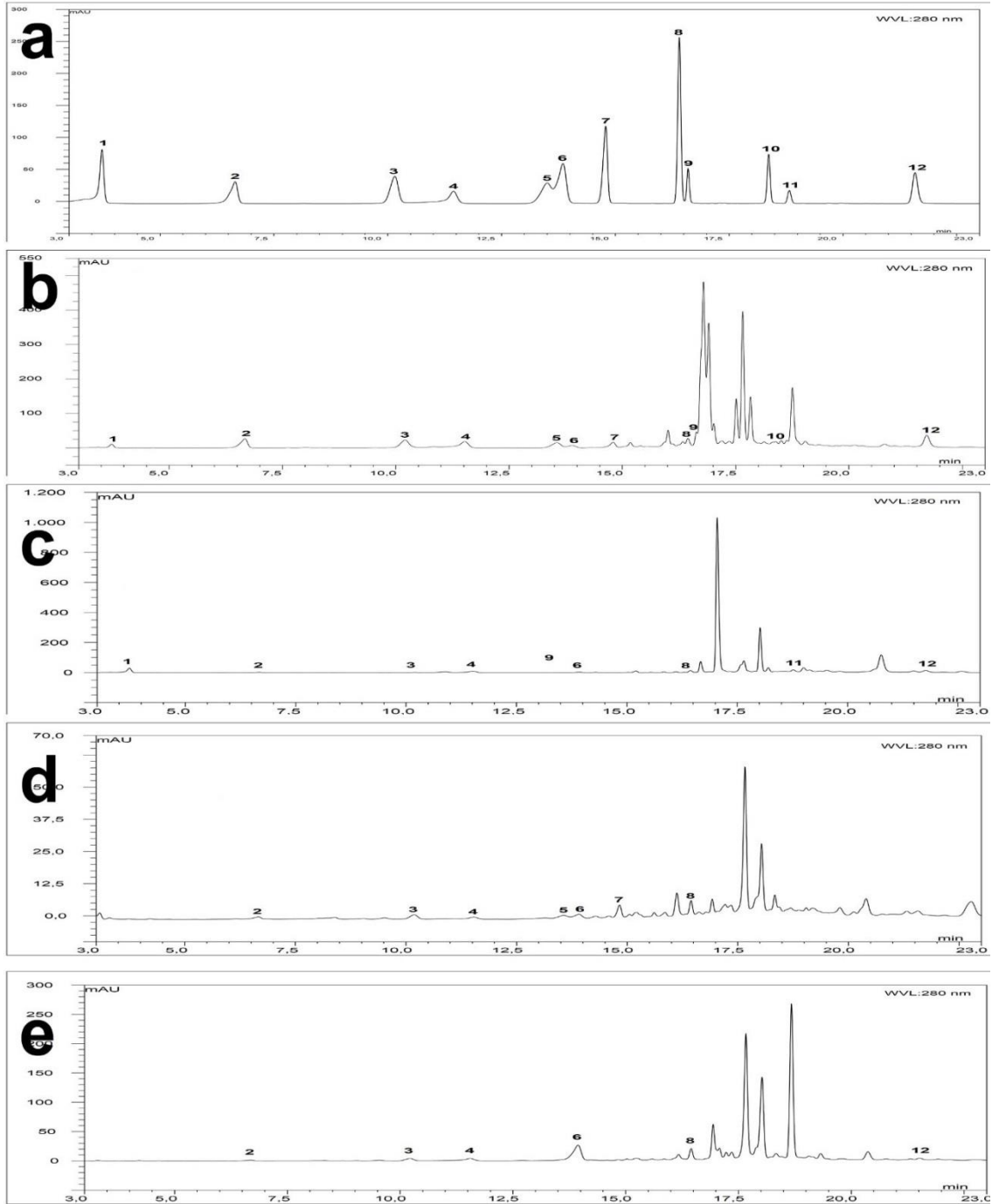
### 3.1. Fenolik Bileşenler

*Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus*, *Lactuca racemosa* bitkilerinin RP-HPLC-DAD analizi ile fenolik bileşenlerinin tespitinde kullanılan 12 adet standart fenolik bileşen için kalibrasyon ve validasyon değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tüm bitki örneklerine ait tespit edilen fenolik bileşenler ve miktarları literatürdeki çalışmalarla kıyaslamasının daha kolay olabileceği düşünülerek mg fenolik/ g özüt ve mg fenolik/ g kuru bitki cinslerinden Tablo 3'de verilmiştir.

Protokatekuik asit, *p*-OH benzoik asit, klorojenik asit, kafeik asit ve *p*-kumarik asit tüm bitki örneklerinde tespit edilirken, rosmarinik asit sadece *Hypericum scabrum* özütünde, benzoik asit ise sadece *Laser trilobum* özütünde belirlenmiştir (Şekil 1).

*Lactuca racemosa* özütünde tespit edilebilen ana bileşen kafeik asit olurken, diğer tüm bitki

özütlerinde ise tespit edilebilen ana bileşen klorojenik asit olmuştur. *Hypericum scabrum* özütünde kullanılan 12 standart bileşenin 11 tanesine ait tanımlanabilen pik tespit edilirken, bu bitki örneğini 9 tanımlanabilen pik ile *Laser trilobum* özütü takip etmektedir. *Lactuca racemosa* özütünde ise sadece 6 tane tanımlanabilen pik belirlenebilmiştir (Tablo 3).



Şekil 1. Bitki özütlerinin RP-HPLC-DAD analizi ile elde edilen kromatogramları (a) standart fenolik bileşenler (b) *Hypericum scabrum* (c) *Laser trilobum* (d) *Turanecio hypochionaeus* (e) *Lactuca racemosa* (1) gallik asit (2) protokatekuik asit (3) *p*-OH benzoik asit (4) klorojenik asit (5) vanilik asit (6) kafeik asit (7) şiringik asit (8) *p*-kumarik asit (9) rutin (10) rosmarinik asit (11) benzoik asit (12) kersetin

En zengin tanımlanabilen fenolik içerik *Hypericum scabrum* özütünde tespit edilmiştir (58.634 mg fenolik/ g özüt). Klorojenik asit (14.084 mg fenolik/ g özüt), vanilik asit (8.838

mg fenolik/ g özüt), protokatekuik asit (8.171 mg fenolik/ g özüt) ve şiringik asit (8.085 mg fenolik/ g özüt) sırasıyla en yüksek miktarda belirlenen fenolik bileşenlerdir.

**Tablo 3.** RP-HPLC-DAD ile analiz edilen bitki örneklerinin fenolik bileşenleri (t.e. tespit edilemedi)

Fenolik Bileşenler	<i>Hypericum scabrum</i>		<i>Laser trilobum</i>		<i>Turanecio hypochionaeus</i>		<i>Lactuca racemosa</i>	
	mg fenolik/ g özüt	mg fenolik/ g kuru bitki	mg fenolik/ g özüt	mg fenolik/ g kuru bitki	mg fenolik/ g özüt	mg fenolik/ g kuru bitki	mg fenolik/ g özüt	mg fenolik/ g kuru bitki
1 Gallik Asit	1.462	0.017	0.260	0.044	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
2 Protokatekuik Asit	8.171	0.097	0.380	0.006	0.346	0.002	0.404	0.002
3 <i>p</i> -OH Benzoik Asit	5.710	0.068	0.298	0.005	0.593	0.004	1.876	0.010
4 Klorojenik Asit	14.084	0.168	5.243	0.090	0.906	0.007	7.813	0.044
5 Vanilik Asit	8.838	0.105	t.e.	t.e.	0.733	0.006	t.e.	t.e.
6 Kafeik Asit	0.930	0.011	0.448	0.008	0.355	0.002	12.760	0.072
7 Şiringik Asit	8.085	0.096	t.e.	t.e.	0.525	0.004	t.e.	t.e.
8 <i>p</i> -kumarik Asit	0.714	0.008	0.314	0.005	0.290	0.002	1.497	0.008
9 Rutin	2.266	0.027	3.843	0.066	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
10 Rosmarinik Asit	0.298	0.003	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
11 Benzoik Asit	t.e.	t.e.	4.090	0.070	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
12 Kersetin	8.076	0.096	1.906	0.032	t.e.	t.e.	1.143	0.006
Toplam	58.634	0.696	16.782	0.326	3.748	0.027	25.493	0.142

### 3.2. Antioksidan Aktivite

Bitki örneklerinin toplam fenolik içeriklerinin  $36.30 \pm 0.21$ – $82.76 \pm 0.37$  mg GAE/g özüt aralığında olduğu belirlenmiştir. En yüksek içerik *Hypericum scabrum* özütünde, en düşük içerik ise *Turanecio hypochionaeus* özütünde ölçülmüştür (Tablo 4).

*Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus*, *Lactuca racemosa* bitkilerinin antioksidan kapasiteleri radikal süpürme (DPPH) ve demir indirgeme güçleri (FRAP) potansiyellerinin ölçülmesi ile değerlendirilmiştir.

DPPH analizi sonucu en yüksek aktivite *Hypericum scabrum* özütünde ( $IC_{50}$ : 45.64  $\mu$ g/mL), en düşük aktivite ise *Turanecio hypochionaeus* özütünde ( $IC_{50}$ : 483.33  $\mu$ g/mL) belirlenmiştir.  $IC_{50}$  değerlerinin düşük olması yüksek antioksidan aktiviteyi göstermektedir. Demir indirgeme güçleri (FRAP) ise  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  eşiti/ g özüt cinsinden Tablo 4’de verilmiştir. *Hypericum scabrum* özütünde tespit edilen  $378.04 \pm 1.25$   $\mu$ M  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  eşdeğeri/g özüt FRAP değeri en yüksek değer olurken, *Turanecio hypochionaeus* özütünde belirlenen  $54.10 \pm 0.84$   $\mu$ M  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  eşdeğeri/g özüt FRAP değeri ise en düşük değer olarak göze çarpmıştır.

**Tablo 4.** Bitki özütlerinin antioksidan aktivite değerleri

	<i>Hypericum scabrum</i>	<i>Laser trilobum</i>	<i>Turanecio hypochionaeus</i>	<i>Lactuca racemosa</i>
TPC (mg GAE/g özüt)	$82.76 \pm 0.37$	$77.17 \pm 1.74$	$36.30 \pm 0.21$	$42.62 \pm 1.04$
FRAP ( $\mu$ M $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ eşdeğeri/g özüt)	$378.04 \pm 1.25$	$306.40 \pm 2.20$	$54.10 \pm 0.84$	$171.02 \pm 1.34$
DPPH ( $IC_{50}$ : $\mu$ g/mL)	45.64	49.24	483.33	125.83

### 3.3. Antimikrobiyal Aktivite

Gümüşhane ilinden toplanan bitki örneklerinin mikrodilüsyon metodu ile belirlenen antimikrobiyal aktiviteleri Tablo 5’de verilmiştir. *Hypericum scabrum* ve *Laser trilobum* özütlerinin test edilen mikroorganizmalardan *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *K. pneumonia*, *P. aeruginosa*, *Y. pseudotuberculosis* ve *E. faecalis* bakterilerine karşı benzer etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. *Turanecio hypochionaeus* özütünde herhangi bir

antimikrobiyal aktiviteye rastlanmazken, *Lactuca racemosa* özütünde ise sadece *E. coli* bakterisine karşı aktivite gözlemlenmiştir. *C. albicans* mayasına karşı ise sadece *Laser trilobum* özütü aktivite göstermiştir. Ancak tespit edilen tüm antimikrobiyal aktivitelerin referans antibiyotiklere kıyasla oldukça zayıf olduğu görülmüştür. *P. aeruginosa*, *A. baumannii* ve *E. cloacea* bakterilerine karşı ise kullanılan bitki özütlerinden hiçbiri aktivite göstermemiştir.

**Tablo 5.** Bitki özütleri ve referans antibiyotiklerin minimum inhibitör konsantrasyonları (MIC değerleri µg/mL özüt)

	<i>Hypericum scabrum</i>	<i>Laser trilobum</i>	<i>Turanecio hypochionaeus</i>	<i>Lactuca racemosa</i>	Ampis-ilin	Amika-sin	Flukonazol
<i>E. coli</i>	4000	4000	-	4000	7.8	0.49	-
<i>B. subtilis</i>	4000	4000	-	-	0.98	0.49	-
<i>S. aureus</i>	2000	4000	-	-	0.49	0.98	-
<i>K. pneumonia</i>	2000	4000	-	-	-	0.49	-
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	0.49	-
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	250	250	-	-	125	31.2	-
<i>E. faecalis</i>	2000	2000	-	-	1.9	62.5	-
<i>B. cereus</i>	4000	-	-	-	-	0.49	-
<i>A. baumannii</i>	-	-	-	-	7.8	0.98	-
<i>E. cloacea</i>	-	-	-	-	-	0.98	-
<i>C. albicans</i>	-	4000	-	-	-	-	1.46

### 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde gıda, kozmetik, sağlık gibi pek çok alanda çeşitli amaçlarla kullanılan bitkiler genellikle göstermiş oldukları biyolojik aktiviteler ve içerdikleri sekonder metabolitler açısından değerlendirilirler (Bektas vd., 2018). Çalışmamızda ise Türkiye ve çeşitli ülkelerde geleneksel olarak kullanılan ve Gümüşhane ilinden toplanan *Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus* ve *Lactuca racemosa* bitkilerinin bazı biyolojik aktiviteleri ve RP-HPLC-DAD analizi ile fenolik bileşenleri saptanmıştır.

Fenolik bileşenler, genel olarak fenolik asitler ve flavonoidler olmak üzere 2 grup altında değerlendirilmektedirler. Çalışmamızda ilk gruba giren gallik asit, protokatekuik asit, *p*-OH benzoik asit, klorojenik asit, vanilik asit, kafeik asit, şiringik asit, *p*-kumarik asit, rosmarinik asit, benzoik asit ve flavonoidler grubuna giren rutin ve kersetin standartları bitki özütlerinde araştırılmıştır. Bulgularımız neticesinde protokatekuik asit, *p*-OH benzoik asit, klorojenik asit, kafeik asit ve *p*-kumarik asidin tüm bitki örneklerinde var olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Hidroksinnamik asit esterlerinden biri olan klorojenik asit *Hypericum scabrum*, *Laser*

*trilobum* ve *Turanecio hypochionaeus* bitkilerinin ana bileşeni olarak belirlenirken, bir diğeri olan kafeik asit ise *Lactuca racemosa* bitkisinde tespit edilmiştir. Klorojenik asit insan diyetinde en bol bulunan polifenollerden biri olmakla birlikte çeşitli çalışmalarda antioksidan ve antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmiştir (Kang ve Lee, 2014). Ayrıca deneysel inflamatuvar hastalıklarda koruyucu etki gösterdiği (Yun vd., 2012; Lee vd., 2013), farklı mide ülseri modellerinde mide koruyucu etki gösterdiği (Shimoyama vd., 2013) ve gastroözofajial reflü hastalığını hafiflettiği (Kang ve Lee, 2014) çeşitli *in vivo* çalışmalarda rapor edilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız bitki örneklerinin daha önceden belirtildiği üzere mide, sindirim ve inflamatuvar rahatsızlıklarda folklorik olarak kullanıldığı göz önüne alındığında, klorojenik asidin bu bitkilerin gösterdiği tıbbi etkilerde önemli bir rolü olduğu düşünülebilir. Ek olarak, tüm bitki örneklerinde tespit edilen kafeik asidin kolit hastalığında antiinflamatuvar etki gösterdiği (Ye vd., 2007), protokatekuik asidin ise yapılan *in vivo* bir çalışmada umut vaat eden derecede antiinflamatuvar ve analjezik aktivite gösterdiği belirtilmiştir (Lende vd., 2011).

Çalışmamızda *Hypericum scabrum* özütünde benzoik asit hariç kullanılan tüm standart fenolik

bileşenler tespit edilmiştir (Şekil 1). *Hypericum scabrum* bitkisinin içerdiği klorojenik asit, rutin ve kersetin (Chen vd., 2013; Gopalakrishnan vd., 2016) fenolikleri nedeniyle yara, ülser vb. vakaların tedavisinde etkili olabileceği düşünülebilir. Çeşitli çalışmalarda ise klorojenik asit, rutin ve kersetin fenoliklerinin yara iyileşmesi sürecini geliştirebileceği rapor edilmiştir (Almeida vd., 2012; Chen vd., 2013; Gopalakrishnan vd., 2016). Ayan vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada *Hypericum scabrum* bitkisinden elde edilen yaprak ve çiçek özütlerinde bizim sonuçlarımızı destekler nitelikte olup klorojenik asit, rutin ve kersetin bulunduğunu bildirmiştir. *Laser trilobum* özütünde ana bileşenler olarak klorojenik asit (5.24 mg/g özüt), benzoik asit (4.09 mg/g özüt) ve rutin (3.84 mg/g özüt) belirlenmiştir. Ebrahimzadeh vd. (2010) *L. trilobum* bitkisi ile yapmış oldukları araştırmada bitkinin içeriğinde gallik asit, rutin ve kersetin bulunduğunu bildirmiştir. Ancak çalışma sadece bu üç fenolik bileşene ait standartlar kullanılarak gerçekleştirilen kantitatif bir çalışma olduğu için oldukça sınırlıdır. Çalışmamızda *Turanecio hypochionaeus* özütünde dedeksiyon limiti dâhilinde tespit edilebilen fenolik içerik diğer bitki özütlerine kıyasla daha düşük bulunmuştur (3.75 mg/g özüt). Klorojenik asit (0.9 mg/g özüt), vanilik asit (0.73 mg/g özüt) ve *p*-OH benzoik asit (0.59 mg/g özüt) ana bileşenler olarak belirlenmiştir. Albayrak vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada *Turanecio* cinsinde genel olarak baskın bileşenlerin klorojenik asit, kafeik asit ve *p*-kumarik asit olduğunu bildirilmiştir. *Lactuca racemosa* özütünde kafeik asit (12.76 mg/g özüt), klorojenik asit (7.81 mg/g özüt) ve *p*-OH benzoik asit (1.87 mg/g özüt) fenolikleri dominant bileşenler olarak çalışmamızda belirlenmiştir. Literatüre bakıldığında *Lactuca racemosa* bitkisinin fenolik bileşenleri üzerine bir çalışma bulunmadığından dolayı elde edilen bulgular ancak aynı cinsin diğer türleri ile kıyaslanabilir. Terencio vd. (1992) yapmış oldukları ince tabaka kromatografisi ve HPLC-DAD analizleri neticesinde *Lactuca viminea* bitkisinin apigenin, luteolin ve kersetin içerdiğini rapor etmiştir.

Bilindiği gibi birçok bitki antioksidan aktivite göstermektedir. Bitkilerin bu özellikleri içerdikleri fenoliklerin radikal süpürme, elektron transferi ve metal iyonu şelasyonu yeteneklerinden kaynaklanmaktadır (Pereira vd., 2009). Oksidatif dengenin bozulması sonucu ortaya çıkan oksidatif stresin gastrointestinal rahatsızlıklar da dahil olmak üzere çok sayıda hastalığın patogeneğinde rol oynadığı düşünülmektedir. Antioksidanlar ise oluşan oksidatif stresin zayıflatılmasında önemli rol

oynamaktadır (Bhattacharyya vd., 2014). DPPH radikali süpürme tayininin hassas, kolay ve ekonomik bir yöntem olduğu düşünülmektedir (Kedare ve Singh, 2011). Çalışmamızda süpürücü aktiviteyi temsil eden IC<sub>50</sub> değerleri 45.64–483.33 µg/mL aralığında tespit edilmiştir. Düşük IC<sub>50</sub> değeri yüksek antioksidan aktiviteye belirtmektedir. Total fenolik içerik tayini antioksidan kapasitenin hızlı bir şekilde gözlemlenebilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Analizlerimiz sonucunda özütlerin toplam fenolik içeriklerinin 36.30–82.76 mg GAE/g özüt aralığında olduğu belirlenmiştir. FRAP tayini ise bitki örneklerinin bir antioksidan aktivite belirteci olan indirgeme yeteneklerini değerlendirmek için yapılmıştır. Tespit edilen FRAP değerlerinin 54.10 ile 378.04 µM FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O eşdeğeri/g özüt aralığında olduğu görülmüştür. Sonuçlara bakıldığında DPPH, FRAP ve total fenolik içerik değerleri arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmektedir. Çalışmamızda *Hypericum scabrum* özütünün gerçekleştirilen tüm antioksidan aktivite analizlerinde en yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4). En düşük aktivite ise *Turanecio hypochionaeus* özütünde belirlenmiştir. Shafaghat (2011) *Hypericum scabrum* bitkisinin çiçek, yaprak, gövde ve tohum kısımlarının önemli derecede DPPH süpürücü etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Sonuçlarımıza benzer şekilde *Laser trilobum* bitkisinin antioksidan aktiviteye sahip olduğu Ebrahimzadeh vd. (2010) tarafından tespit edilmiş ve TPC değeri 75 ± 3 mg GAE/g özüt olarak bildirilmiştir. Bir başka çalışmada ise Gan ve Azrina (2016) DPPH, FRAP ve TPC tayinleri aracılığıyla, Malezya'dan toplanan farklı *Lactuca sativa* (bir başka *Lactuca* türü) varyetelerinin antioksidan özelliklere sahip olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Albayrak vd. (2017) yapmış oldukları biyolojik aktivite çalışmasında çeşitli *Turanecio* türlerinin antioksidan aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde test ettiğimiz tüm özütlerin antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiş olup, *Hypericum scabrum* ve *Laser trilobum* özütlerinin test edilen diğer bitki özütlerine kıyasla daha yüksek aktiviteye sahip olduğu söylenebilir. Özellikle bu iki tür oksidatif stres kaynaklı çeşitli rahatsızlıkların (cilt, sinir, mide gibi) tedavisinde yardımcı olarak kullanılabilir.

*Hypericum scabrum*, *Laser trilobum*, *Turanecio hypochionaeus* ve *Lactuca racemosa* bitkilerinden elde edilen özütler 11 farklı mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal açıdan test edilmiştir. Mikrodilüsyon yöntemi sonucunda elde edilen MIC değerlerine baktığımızda test edilen



mikroorganizmalara karşı en yüksek aktivite olan *Hypericum scabrum* ve *Laser trilobum* özütlerinde olduğu belirlenirken *Turanecio hypochionaeus* özütünden herhangi bir antimikrobiyal aktivite gözlemlenmemiştir (Tablo 5). Ancak tüm belirlenen aktivite referans antibiyotiklere kıyasla oldukça zayıf olduğu görülmüştür. Sonuçlarımızı destekler nitelikte *Hypericum scabrum* bitkisinin hekzan özütünün *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı farklı derecelerde antimikrobiyal aktivite gösterdiği [Shafaghat \(2011\)](#) tarafından rapor edilmiştir. Ayrıca, [Parlatan vd. \(2009\)](#) yapmış oldukları çalışmada *Laser trilobum* meyve özütünün *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumonia* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı antimikrobiyal etki gösterdiğini rapor etmiştir.

Bu bilgiler ışığında *Hypericum scabrum* ve *Laser trilobum* bitkilerinin çalışmamızdaki diğer bitkilere kıyasla daha yüksek antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu söylenebilir. Özellikle incelenen bu iki türün, içerdikleri fenolik bileşenler, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri göz önüne alındığında çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde faydalı olacağı düşünülebilir. Elde edilen sonuçlar bu bitkilerin potansiyel kullanım alanlarının genişletilmesine katkı sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Albayrak, S., Aksoy, A., Yaşar, A., Yurtseven, L. ve Budak, Ü., 2017. Phytochemical ve Biological Activities of five *Turanecio Hamzaoglu* (Asteraceae) Species from Turkey. *Current Enzyme Inhibition*, 13, 49–55.
- Almeida, J. S., Benvegna, D.M., Bouffleur, N., Reckziegel, P., Barcelos, R.C., Coradini, K., de Carvalho, L.M., Bürger, M.E. ve Beck, R.C., 2012. Hydrogels containing rutin intended for cutaneous administration: efficacy in wound healing in rats. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 38, 792–799.
- Ayan, A.K., Radušienė, J., Çirak, C., Ivanauskas, L. ve Janulis, V., 2009. Secondary metabolites of *Hypericum scabrum* ve *Hypericum bupleuroides*. *Pharmaceutical Biology*, 47, 847–853.
- Bektas, E., Kaltalıoğlu, K., Sahin, H., Turkmen, Z. ve Kandemir, A., 2018. Analysis of phenolic compounds, antioxidant and antimicrobial properties of some endemic medicinal plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, 5, 75–86.
- Benzie, I.F. ve 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.
- Bhattacharyya, A., Chattopadhyay, R., Mitra, S. ve Crowe, S.E., 2014. Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastrointestinal mucosal diseases. *Physiological Reviews*, 94, 329–354.
- Bulut, G., Tuzlacı, E., Doğan, A. ve Şenkardeş, İ., 2014. An ethnopharmacological review on the Turkish Apiaceae species. *Journal of Faculty Pharmacy of Istanbul University*, 44, 163–179.
- Chedia, A., Ghazghazi, H., Brahim, H. ve Abderrazak, M., 2013. Secondary Metabolite, antioxidant ve Antibacterial Activities of *Teucrium polium* L Methanolic Extract. *International Journal of Agronomy ve Plant Production*, 4, 1790–1797.
- Chen, W.C., Liou, S.S., Tzeng, T.F., Lee, S.L. ve Liu, I.M., 2013. Effect of Topical Application of Chlorogenic Acid on Excision Wound Healing in Rats. *Planta Medica*, 79, 616–621.
- Cuendel, M., Hostettmann, K. ve Poterat, O., 1997. Iridoid glucosides with free radical scavenging properties from *Fagraea blumei*. *Helvetica Chimica Acta*, 80, 1144–1152.
- Çirak, C., Radušienė, J., Janulis, V., Ivanauskas, L., Çamaş, N. ve Ayan, A.K., 2011. Phenolic constituents of *Hypericum triquetrifolium* Turra (Guttiferae) growing in Turkey: variation among populations ve plant parts. *Turkish Journal of Biology*, 35, 449–456.
- Doğan, A., Bulut, G., Tuzlacı, E. ve Şenkardeş, İ., 2014. A review of edible plants on the Turkish Apiaceae species. *Journal of Faculty Pharmacy of Istanbul University*, 44, 251–262.
- Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.M., Nabavi, S.F., Eslami, B. ve Rahmani, Z., 2010. Antioxidant ve antihemolytic activities of the leaves of *Kefe cumin* (*Laser trilobum* L) Umbelliferae. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 9, 441–449.
- Eslami, B., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., Ebrahimzadeh, M.A. ve Mahmoudi, M., 2011. Pharmacological activities of *Hypericum scabrum* L. *European Review for Medical ve Pharmacological Sciences*, 15, 532–537.
- Faydaoğlu, E. ve Sürücüoğlu, M.S., 2011. Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11, 52–67.



- Gan, Y.Z. ve Azrina, A., 2016. Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. *International Food Research Journal*, 23, 2357–2362.
- Gopalakrishnan, A., Ram, M., Kumawat, S., Tvean, S. ve Kumar, D., 2016. Quercetin accelerated cutaneous wound healing in rats by increasing levels of VEGF ve TGF- $\beta$ 1. *Indian Journal of Experimental Biology*, 54, 187–195.
- Greenson, J. M., Sanford, B. ve Monti, D. A., 2001. St. John's wort (*Hypericum perforatum*): a review of the current pharmacological, toxicological, ve clinical literature. *Psychopharmacology (Berl)*, 153, 402–414.
- Guarino, C., De Simone, L. ve Santoro, S., 2008. Ethnobotanical study of the Sannio area, Campania, Southern Italy. *Ethnobotany Research ve Applications*, 6, 255–317.
- Güllüce, M., Sökmen, M., Daferera, D., Açar, G., Özkan, H., Kartal, N., Polissiou, M., Sökmen, A. ve Şahin, F., 2003. In vitro antibacterial, antifungal, ve antioxidant activities of the essential oil ve methanol extracts of herbal parts ve callus cultures of *Satureja hortensis* L. *Journal of Agricultural ve Food Chemistry*, 51, 3958–3965.
- Hamzaoğlu, E., Budak, Ü. ve Aksoy, A., 2011. A new genus, *Turanecio*, of the Asteraceae (tribe Senecioneae ). *Turkish Journal of Botany*, 35, 479–508.
- Jan, G., Khan, M. ve Jan, F., 2009. Medicinal Value of the Asteraceae of Dir Kohistan Valley, NWFP, Pakistan. *Ethnobotanical Leaflets*, 13, 1205–1215.
- Janbaz, K.H., Latif, M.F., Saqib, F., Imran, I., Zia-Ul-Haq, M. ve De Feo, V., 2013. Pharmacological Effects of *Lactuca serriola* L. in Experimental Model of Gastrointestinal, Respiratory and Vascular Ailments. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1–9.
- Jürgenliemk, G. ve Nahrstedt, A., 2002. Phenolic Compounds from *Hypericum perforatum*. *Planta Medica*, 68, 88–91.
- Kang, J.W. ve Lee, S.M., 2014. Protective effects of chlorogenic acid against experimental reflux esophagitis in rats. *Biomolecules ve Therapeutics*, 22, 420–425.
- Kedare, S.B. ve Singh, R.P., 2011. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 412–422.
- Korkmaz, M. ve Karakurt, E., 2015. An ethnobotanical investigation to determine plants used as folk medicine in Kelkit (Gümüşhane/Turkey) district. *Biological Diversity ve Conservation*, 8, 290–303.
- Lee, C.H., Yoon, S.J. ve Lee, S.M., 2013. Chlorogenic acid attenuates high mobility group box 1 (HMGB1) ve enhances host defense mechanisms in murine sepsis. *Molecular Medicine*, 18, 1437–1448.
- Lende, A.B., Kshirsagar, A.D., Deshpvee, A.D., Muley, M.M., Patil, R.R., Bafna, P.A. ve Naik, S.R., 2011. Anti-inflammatory and analgesic activity of protocatechuic acid in rats ve mice. *Inflammopharmacology*, 19, 255–263.
- Liu, X., Ardo, S., Bunning, M., Parry, J., Zhou, K., Stushnoff, C., Stoniker, F., Yu, L. ve Kendall, P., 2007. Total phenolic content ve DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *LWT - Food Science ve Technology*, 40, 552–557.
- Mahmoudi, S., Khali, M., Benkhaled, A., Benamirouche, K. ve Baiti, I., 2016. Phenolic ve flavonoid contents, antioxidant ve antimicrobial activities of leaf extracts from ten Algerian *Ficus carica* L. varieties. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6, 239–245.
- Maver, T., Maver, U., Stana Kleinschek, K., Smrke, D.M., ve Kreft, S., 2015. A review of herbal medicines in wound healing. *International Journal of Dermatology*, 54, 740–751.
- Mazvearani, M., Yassaghi, S., Rezaei, M., Mansourian, A. ve Ghaemi, E., 2007. Ethnobotany ve Antibacterial Activities of Two Endemic Species of *Hypericum* in North-East of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 354–358.
- Mükemre, M., Behçet, L. ve Çakılıoğlu, U., 2015. Ethnobotanical study on medicinal plants in villages of Çatak (Van-Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 166, 361–374.
- Parlatan, A., Sariçoban, C. ve Özcan, M.M., 2009. Chemical composition ve antimicrobial activity of the extracts of Kefe cumin (*Laser trilobum* L.) fruits from different regions. *International Journal of Food Sciences ve Nutrition*, 60, 606–617.
- Pereira, D.M., Valentão, P., Pereira, J.A. ve Verade, P.B., 2009. Phenolics: From Chemistry to Biology. *Molecules*, 14, 2202–2211.
- Shafaghat, A., 2011. Antioxidant, antimicrobial activities ve fatty acid components of flower, leaf, stem and seed of *Hypericum scabrum*. *Natural Product Communications*, 6, 1739–1742.

- Shimoyama, A.T., Santin, J.R., Machado, I.D., de Oliveira e Silva, A.M., de Melo, I.L., Mancini-Filho, J. and Farsky, S.H., 2013. Antiulcerogenic activity of chlorogenic acid in different models of gastric ulcer. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 386, 5–14.
- Singh, K.N., 2012. Traditional knowledge on ethnobotanical uses of plant biodiversity: a detailed study from the Indian western Himalaya. *Biodiversity Research ve Conservation*, 28, 63–77.
- Singleton, V.L. ve Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Terencio, M.C., Sanz, M.J., Fonseca, M.L., Manes, S. ve Ríos, J.L., 1992. Phenolic Compounds from *Lactuca viminea* L. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 47, 17–20.
- Trivedi, P., 2006. *Medicinal Plants*: New Delhi, Traditional Knowledge, IK International, 258p.
- Ye, Z., Henderson, A., Liu, Z., Lee, K., Lee, S.O. ve Wannemuehler, M.J., 2007. Anti-inflammatory effect of caffeic acid, rutin ve hypoxoside in C<sub>3</sub>H mouse model of colitis. *Faseb Journal*, 21, A361.
- Yun, N., Kang, J.W. ve Lee, S.M., 2012. Protective effects of chlorogenic acid against ischemia/reperfusion injury in rat liver: molecular evidence of its antioxidant ve anti-inflammatory properties. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 23, 1249–1255.

## 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir). Dergi **bilimsel ve hakemli** bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

## 2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili 2018'den itibaren olmak üzere Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda **üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir**.

## 3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili **tüm yazışmalarda** DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi **yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış** makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/gumusfenbil> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "**Gönderi Kontrol Listesi**"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "**Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu**" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "**Etik Kurul İzin Belgesi**"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

## 4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği bölüm editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30, tek bir kaynaktan ise %5 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili bölüm editörüne yönlendirilir.

Bölüm editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için bölüm editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletilir.

Değerlendirme sonucu kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu Form'un imzalanması ile yazarlar, makalenin "GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ" dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## 5. MAKALE TÜRLERİ

**Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:**

**5.1 Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. **Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40'ı aşmamalıdır.**

**5.2 Derlemeler:** Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. **Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır.** Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. **Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur.**

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

## 6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

• **Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları:** A4 formatında, en fazla 15 sayfa olmalıdır. Tüm kenarlardan 2 cm boşluk bırakılmalıdır.

• **Sayfa numaraları:** Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir. Sayfa numarası Times New Roman yazı tipinde ve 11 punto olmalıdır.

• **Satır numaraları:** Satır numaraları makalenin ilk sayfasından itibaren başlayarak ve “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. Özetin gövde metni ise Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, iki yana yaslı, tek satır aralıklı ve girinti olmadan yazılmalıdır. Özet metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Öz başlığı ile özetin gövde metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **İngilizce Öz (Abstract):** Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, **Abstract**, kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu, italik**, tek satır aralıklı ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Abstract gövde metni Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, tek satır aralıklı ve italik olarak yazılmalıdır. Abstract metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Abstract kelimesi ile abstract metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **Anahtar kelimeler / Keywords:** “Anahtar kelimeler” Türkçe özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto ve tek satır aralıklı yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, “Anahtar kelimeler” yazısı **koyu**, verilen diğer kelimeler ise koyu olmadan yazılmalıdır. Her kelimenin ilk harfi büyük ve aralarına virgöl konularak verilmeli ve alfabetik sıralamaya uygun olarak sıralanmalıdır. “Keywords” kelimesi İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto, tek satır aralıklı, italik ve **koyu** yazılmalıdır.

İngilizce anahtar kelimeler (Keywords), Türkçe anahtar kelimelerde verilen sıralama dikkate alınarak yazılmalı, kelimeler koyu olmamalıdır.

• **Ana başlıklar:** Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır (1. Giriş 2. Amaç, Gereç ve Yöntem gibi). **Tüm başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto **koyu** ve her kelimenin ilk harfi büyük yazılmalıdır. Ana başlıklardan önce ve sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. **Alt başlıklar**, ana başlık numarasına uygun olarak numaralandırılmalıdır. **Tüm alt başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto, **koyu** ve **italik** olarak her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır (2.1. Malzeme 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması, gibi). Alt başlıklardan önce ve sonra tek satır boşluk bırakılmalıdır. Başlıkları yazarken otomatik başlık stili, madde işaretleri, çok düzeyli liste gibi biçimler kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.

• **Şekiller, Resimler ve Fotoğraflar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak, net ve okunaklı olmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Şekil no ve adları şeklin altında şeklin sol alt kenarına yaslanarak ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak verilmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra birer satır boşluk bırakılmalıdır. **Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır. Şekil yazılarında (metin içerisinde ve ilgili şekillerin altında) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Tablolar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Tablo no ve adları, tablonun sol üstünde tek satır boşluk ile sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra yine bir satır boşluk bırakılmalıdır. **Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır.** Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 11 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir. **Tablo yazılarında (metin içerisinde ve ilgili tabloda) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Denklemler:** Metin içerisine yazılacak denklemler, Word yazım programındaki denklem editörü veya MathType editörü ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı olarak parantez içerisinde sıra ile numara verilmelidir.

• **Semboller:** Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 11 punto ile **italik** yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül kullanılmalıdır.

• **Kaynaklar:** Kaynaklar tez içerisinde “**soyadı ve tarih sistemine**” göre yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynak eserin yazımının bir satırdan daha uzun olması halinde ikinci satır ve diğer satırlar, **değinilen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır). Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hizasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan ve altı çizili olarak yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

## 1- Metin içerisindeki referanslara atıfta bulunma

1.1. Cümle içerisinde atıf verilen yazar ismine değinildiği durumlarda yıl parantez içerisinde yazılmalıdır.

“Popüler bir çalışmada [Harvey \(1992\)](#) konu ile ilgili olarak .....”

“[David ve Clifford'a \(2003\)](#) göre ...”

“[Matthews ve Jones \(1997\)](#) yapmış oldukları çalışmalarda ...”



1.2. Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. Birden çok atıf verilmiş ise iki atıf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır.

“Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”

“Doğu Pontidler, ‘Kuzey Zon’ ve ‘Güney Zon’ olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

1.3. İki ve daha fazla atıf verilmiş ise sıralama 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 Sayıt, K., 2017. Whole rock geochemistry, Zircon U-Pb and Hf isotope systematics of the Çangaldağ Pluton: Evidences for Middle Jurassic Continental Arc Magmatism in the Central Pontides, Turkey. *Lithos*, doi: 10.1016/j.lithos.2017.06.020.

Hoffman, H.J. ve Masson, M., 1994. Archean stromatolites from Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 106 (baskıda).

## 2.2. Kitaplar:

Hem, J.D., 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters: USGS Professional Paper, 2254, US Gov. Print. Office, 263p.

Postel, S., 2000. Son Vaha, Su Sıkıntısıyla Karşı Karşıya, (çev: F. Şebnem Sözer), TUBİTAK-TEMA VAKFI yayınları, ISBN 975-403-188-6, Ankara, 218s.

Twiss, R.J., ve Moores, E.M., 1992. Structural geology: New York, W.H. Freeman and Company, 532 p.

Burchfiel, B.C., Hodges, K.V. ve Royden, L.H., 1992. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt: Geological Society of America, Special Paper, 269, 41p.

## 2.3. Tezler:

Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.

Tezcan, L., 1993. Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

## 2.4. Raporlar:

Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118.

Baran, I. ve Kasperek, M., 1989. Marine Turtles of Turkey; Status Survey 1988 and Recommendations for Conservation and Management: WWF Report, Heidelberg, 123p.

IAEA, 1992. Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes, Technical Reports Series No.331, IAEA Vienna, 781p.

Akartuna, M., 1953. Çaycuma-Devrek Yenice-Kozcağız Bölgesinin Jeolojisi Hakkında Rapor: MTA Rap. No. 2059 (yayımlanmamış), Ankara.

Altun, İ.E., Şengün, M., Keskin, H., Akçaören, F., Sevin, M., Deveciler, E. ve Akat, M.U., 1990. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

## 2.5. Editörlü Kitaplar:

Zuber, A., 1986. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (Eds.), Elsevier, Amsterdam. pp. 1-59.

Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.

Aydın, M., Demir, O., Özçelik, Y., Terzioğlu, N. ve Satır, M., 1995. A geological revision of Inebolu, Devrekani, Ağlı and Küre areas: new observations in Paleotethys-Neotethys sedimentary successions, in: Eler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.

Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies, in: Henderson, P. (Eds.), Rare earth element geochemistry. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, pp. 63-114.

Hippolyte, J.C., Müller, C., Kaymakçı, N., Sangu, E., 2010. Dating of the Black Sea basin: New Nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey), in: Stephenson, R.A., Kaymakci, N., Sosson, M., et al. (Eds). Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications 340, 113-136.

## **2.6. Bildiriler Kitabı:**

Sualtı Günleri-1999, Türkiye'de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akinoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

## **2.7. Bildiri Özeti:**

Tezcan, L., Gunay, G., Hotzl, H., Reichert, B. ve Solomon, K., 1997. Hydrogeology of the Kirkgozler Springs, Antalya, Turkey. International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Near East Technical University, Nicosia, North Cyprus. p.76.

Bayarı, C.S., Kurttaş, T. ve Tezcan, L., 1998b. Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar ve Üç Boyutlu Yerde Yoğunluk Ölçümleri. MTA Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildirileri, 2-6 Kasım 1998, Ankara, s.104-106.

Gücer, M.A. ve Aslan, Z., 2011. Evaluation of diagenesis and metamorphism relationship by using clay mineral indices in the 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.



- YÜCEL T B., FANDAKLI S., TERZİOĞLU S., YAYLI N.;** *Caltha palustris* L. Bitkisinin Çiçek ve Yaprak Kısımının Uçucu Yağlarının Kimyasal Bileşimi ve Antimikrobiyal Aktiviteleri / *Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil From the Flower and Leaf of Caltha palustris* L.....189-195
- YILDIRIM Ü., ATÇEKEN M.;** *Bir Normal Hemen Hemen Parakontakt Metrik Manifoldun Quasi-Konformal Eğrilik Tensörü Üzerine* / *On the Quasi-Conformal Curvature Tensor of a Normal Almost Paracontact Metric Manifold*.....196-206
- KARAHAN M M F., BOSTANCI B.;** Gergin Elastik Tele Bağlı Kütlelin Doğrusal Olmayan Salınımının Yaklaşık Çözümleri / *Approximate Solutions of Nonlinear Oscillation of a Mass Attached to a Stretched Elastic Wire*.....207-214
- AKKAŞ M., EM AKRA K M., ÇETİN T., BOZ M.;** Gaz Atomizasyon Yöntemi ile AZ31 Mg Tozu Üretiminde Gaz Basıncının Etkisinin Araştırılması / *Investigation of the Effect of Gas Pressure on AZ31 Mg Powder Production by Gas Atomization Method*.....215-221
- BIYIK S.;** Cu25W Kompozit Tozunun Bilyeli Öğütme Yöntemiyle Üretimine Farklı İşlem Kontrol Katkılarının Etkisinin İncelenmesi / *Investigation of the Effect of Different Process Control Agents on the Production of Cu25W Composite Powder via Ball Milling Technique*....222-228
- KIRIŞ E.;** Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Karayemiş Bitkisinin (*Prunus laurocerasus* L.) Meyve ve Toprak Örneklerinin Radyolojik Değerlendirilmesi / *Radiological Evaluation of fruit and soil samples of Cherry Laurel Plant (Prunus laurocerasus L.) Growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey*.....229-238
- GÜLOĞLU N., OSMA E., TÜRKOĞLU E., ELVEREN M.;** *Acetaminophen (Paracetamol) ve Gemfibrozil'in Farklı Buğday Varyetelerinin Mineral Alımı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> İçeriği Üzerine Etkileri* / *Effects of Acetaminophen (Paracetamol) and Gemfibrozil on Mineral Uptake and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Content of Different Wheat Varieties*.....239-246
- KILIÇ M.;** Soğuk Şekil Verilmiş Bükümlü Çeliklerin Tek Eksenli Basınç Davranışı / *The Uniaxial Compressive Behavior of Corrugated Cold Formed Steel Members*.....247-253
- GÜMÜŞ H.;** Nikotinamid İçeren Çinko (II) Kompleksinin Moleküler Özellikleri ve Titreşim Spektrumu / *Molecular Properties and Vibrational Spectra of Zinc (II) Complex with Nicotinamide*.....254-261
- DEŞİK F., USTABAŞ İ.;** Kireçtaşı Kökenli Kıırma Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi / *The Effects of the Ratio of Fine Materials in Limestone Crushed Sand on Consistency and Strength of Concrete*.....262-271
- KAYA A.;** Yamaç Duraylılığı Araştırmalarında 2D ve 3D FEM-SSR Yöntemlerinin Uygulanması: Borçka (Artvin) Yöresinden Örnek Bir Çalışma / *Application of the 2D and 3D FEM-SSR Methods in Slope Stability Investigations: A Case Study from Borçka (Artvin) Region*.....272-283
- DİKİCİ T.;** Nikel-Kobalt (Ni-Co) Alaşımli Kaplamalarda Co Miktarının Mikroyapıya Etkisi / *The Effect of Co Content on The Microstructure of Nickel-Cobalt (Ni-Co) Alloy Coatings*.....284-289
- SERTBAŞ M.;** Birinci Mertebeden Düzgün Katsayılı Maksimal Hiponormal Operatör Genişlemeleri / *Maximal Hyponormal Operator Extensions of First-order with Smooth Coefficients*.....290-294
- KARAAGAC B.;** The B-spline Collocation Approach for Coupled Klein-Gordon Equation / *İkili Klein-Gordon Denklemi İçin B-spline Kollokasyon Yaklaşımı*.....295-300
- İŞCAN İ., ALTUNSOY C., KADAKAL M.;** Some New Inequalities for Lipschitz Functions via a Functional / *Bir Fonksiyonel yardımı ile Lipschitz Fonksiyonları için Bazı Yeni Eşitsizlikler*.....301-306
- KÖKTAN U., DEMİR G., ERTEK M K.;** Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi / *Investigation of The Effect of Changes In Ground Water Level On The Seismic Behaviour of A Cantilever Retaining Wall*.....307-317
- KANKAL M., AKÇAY F.;** Trabzon İli Yağışlarının Eğilim Analizi / *Trend Analyses of Precipitation of Trabzon Province, Northeastern Turkey*.....318-331
- GEÇER E., ŞENTÜRK İ., BÜYÜKGÜNGÖR H.;** Yeşil Bina Tasarımında Su ve Enerji Yönetimi Üzerine Uygulama Örneği / *Example of Application on Water and Energy Management in Green Building Design*.....332-343
- ÇAYLI G D.;** Uninorms Having An Identity and An Annihilator on Bounded Lattices / *Sınırlı Kafesler Üzerinde Bir Birime ve Bir Sıfırlayana Sahip Uninormlar*.....344-352

<b>TOY S., KAYIP D B., ÇAĞLAK S.;</b> Eskişehir’de (biyo)İklim Duyarlı Kentsel Tasarım Örneği / <i>A (bio)Climate Sensitive Urban Design Example inThe City of Eskişehir</i> .....	<b>353-361</b>
<b>KALTALIOĞLU K., KARAKÖSE M., ŞAHİN H., BEKTAŞ E., İNAN BEKTAŞ K.;</b> Gümüşhane İlinde Yayılış Gösteren Bazı Tıbbi Bitkilerin Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve RP-HPLC-DAD ile Fenolik Bileşenlerinin Belirlenmesi / <i>Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Phenolics Compounds by RP-HPLC-DAD of Some Medicinal Plants from Gümüşhane (Turkey)</i> .....	<b>362-372</b>