



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: 11

SAYI / ISSUE : 3

YIL / YEAR : 2021

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

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



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: 11 Sayı/Issue: 3 Yıl/Year: 2021
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*
ISSN 2146-538X



Sahibi / Owner

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK

Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim 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

Doç. Dr. Serhat DAĞ

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Prof. Dr. Mehmet MERDAN

Prof. Dr. Salim Serkan NAS

Prof. Dr. Necati ÇELİK

Prof. Dr. Bahri BAYRAM

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

Doç. Dr. Enver AKARYALI

Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Doç. Dr. Fatih DÖNER

Doç. Dr. Melih OKCU

Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU

Doç. Dr. İbrahim TURAN

Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR

Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL

Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER

Öğr. Gör. Salih TÜRK

Dergi Sekreteryası / Secretary

Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU

Arş. Gör. İlker ERKAN

Arş. Gör. H. İbrahim YÜKSEK

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed

Yayın Tarihi / Publication Date

15 / 07 / 2021

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



Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

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

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet DUMAN Gülnur ÇELİK KIZILKAN	k. mertebeden periyodik katsayılı $x(n+k)=A(n)x(n)$ sistemi için yeni Schur kararlılık parametresi ve Schur kararlılık parametreleri arasındaki ilişkiler <i>New Schur stability parameter for k-th order system with periodic coefficients $x(n+k)=A(n)x(n)$ and relations between Schur stability parameters</i>	637
Burçin YALÇIN Merve GÜNEŞ İbrahim Hakkı CİĞERCİ Bülent KAYA	Demir (III) oksit (Fe₂O₃) nanopartiküllerinin genotoksitesinin Drosophila hemositlerinde KOMET yöntemi ile araştırılması <i>Investigation of genotoxicity of iron (III) oxide (Fe₂O₃) nanoparticles in Drosophila hemocytes by COMET method</i>	643
Mehmet Ali ÖZASLAN	5G aday frekans bandında 4-Portlu MIMO antenin geliştirilmesi <i>Development of 4-Port MIMO antenna in the 5G candidate frequency band</i>	653
Kadir BEKAR Ufuk ÇİFCİ Arif ÖZKAN	Çok boyutlu yazıcılardan baskısı farklı parametrelerle alınan numunelerin malzeme seçiminin deneysel analizi <i>Experimental analysis of material selection of samples printed with different parameters from multidimensional printers</i>	663
Ertekin ÖZTEKİN	Fuzzy inverse logic: part-1. introduction and bases <i>Bulanık ters mantık: kısım-1. giriş ve temeller</i>	675
Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR Gökhan KAPLAN	Farklı çimentolardan üretilen köpük betonlarda atık lastiklerin hafif agrega olarak kullanımı <i>Use of waste tires as lightweight aggregate in foam concrete produced from different cement</i>	692
Hasan EKER Demet DEMİR ŞAHİN	Çörtlerin betonun alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisi <i>The effect of cherts on alkali silica reaction of concrete</i>	704
Hüseyin Suha AKSOY Nichirvan Ramadhan TAHER Halmat Ahmed AWLLA	Shear strength parameters of sand-tire chips mixtures <i>Kum-öğütülmüş araç lastiği karışımlarının kayma mukavemeti parametreleri</i>	713
Fatih DÖNER	Yayla alanlarındaki yapılaşma değişiminin incelenmesi: Gümüşhane örneği <i>Examination of change in summer pasture areas: Gümüşhane case</i>	721
Sercan ÖZTÜRK Cihan YALÇIN Mustafa KUMRAL	Microthermometric characteristics of vein type U-Th enrichment observed in the Fault Zones in Northwest of Arıklı (Çanakkale-Turkey) <i>Arıklı (Çanakkale-Türkiye) kuzeybatısında fay zonlarında gözlenen damar tipi U-Th zenginleşmesinin mikrotermometrik özellikleri</i>	729
Nergis KAYA	Evaluation of cytotoxic effect of ferrous gluconate on Allium cepa root tip <i>Ferro glukonatin sitotoksik etkisinin Allium cepa kök ucunda değerlendirilmesi</i>	744
Mehmet KÖKÜM	Landslides and lateral spreading triggered by the 24 January 2020 Sivrice earthquake (East Anatolian Fault) <i>24 Ocak 2020 Sivrice depreminin (Doğu Anadolu Fayı) tetiklediği heyelan ve yanal yayılmalar</i>	751
Nazmiye YILMAZ	The generating matrices of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials <i>İki değişkenli Balans ve Lucas-Balans polinomlarının üreteç matrisleri</i>	761
Ertekin ÖZTEKİN	Fuzzy inverse logic: part-2. validation and evaluation of the method <i>Bulanık ters mantık: kısım-2. yöntemin doğrulanması ve değerlendirilmesi</i>	768
Melike YALILI KILIÇ İlker KILIÇ Sümeyye ADALI	Kentsel yerleşim alanlarında çevresel gürültünün belirlenmesi: Bursa Dikkaldırım Mahallesi örneği <i>Determination of environmental noise in urban settlements: Bursa Dikkaldırım Neighborhood example</i>	792

Doğan ÇİLOĞLU	Düşük Reynolds sayılı alveolar akışta partikül boyutunun aerosol dinamikleri üzerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi <i>Numerical analysis of the particle size effect on aerosol dynamics in low Reynolds number alveolar flow</i>	805
Eda KELEŞ GÜNER Fatih İÇER Agah Oktay ÖZDEMİR Bülent ÇAĞLAR	Farklı ışık kaynakları altında kristal viyole boyar maddesinin kaolin-BiFeO₃ nanokompozit üzerinde fotobozunması <i>Photodegradation of crystal violet dyestuff on kaolinite-BiFeO₃ nanocomposite under different light irradiations</i>	815
Okan Mert KATİPOĞLU Reşat ACAR	Standartlaştırılmış yağış indeksi hesabında kullanılan dağılım fonksiyonu etkisinin ve kuraklık karakteristiklerinin araştırılması <i>Investigation of the effect of the distribution function used in the calculation of the standardized precipitation index and the drought characteristics</i>	828
Oğuz Kağan KÖKSAL	Determination of the homogeneity of the Ag-Au bimetallic alloy thin films by means of a micro beam X-Ray fluorescence setup with using elemental composition <i>Ag-Au bimetalik alaşımın ince filmlerin mikro-X ışını flüoresans sistemi ile homojenliğinin belirlenmesi</i>	863
Nazire Göksu SOYDAN OKSAL	Dairesel başlıklı savak akımının sayısal analizi <i>Numerical analysis of cylindrical weir flow</i>	870
Emre AYDINÇAKIR Hande GÜNGÖR Cem YÜCEL Özgür BİLİCİ Emel ABDİOĞLU YAZAR	Eosen yaşlı Kışlaköy volkanitlerinin petrografisi, mineral kimyası ve kristallenme koşulları, Erzurum, KD Türkiye <i>Petrography, mineral chemistry and cristallization conditions of eocene aged Kışlaköy volcanics, Erzurum, NE Turkey</i>	882
Mehmet Ali ŞEVİK Nuran CANSIZ	The impact of turnip mosaic virus on physiological and morphological parameters of kale plants <i>Turnip mosaic virus'un yaprak lahanası bitkilerinin fizyolojik ve morfolojik parametrelerine etkisi</i>	919
Şükran EFE Murat ÇOLAK	Emme manifoldu malzeme seçiminde bilgisayar destekli yazılım kullanılması <i>Using computer-aided software for intake manifold material selection</i>	925
Hilal KILINÇ	Isolation and characterization of secondary metabolites from apolar fraction of Scabiosa sicula and evaluation of their antioxidant activities <i>Scabiosa sicula'nın apolar fraksiyonundan ikincil metabolitlerin izolasyonu ve karakterizasyonu ve antioksidant aktivitelerinin değerlendirilmesi</i>	934
Melike YALILI KILIÇ Tarık DÖNMEZ Sümeyye ADALI	Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği <i>Change of carbon footprint due to fuel consumption: Çanakkale case study</i>	943
Nurbanu GÜZEY	Türkiye'deki COVID-19 yayılımının SIR temelli modellenmesinde RSS yöntemi ile parametre kestirimi <i>Unknown SIR parameters' estimation of COVID-19 spread in Turkey by using RSS method</i>	956
Hamid CEYLAN	A bioinformatics approach for exploring and identification of potential target genes of miR-130a-3p in doxorubicin-associated cardiotoxicity <i>Doksorubisin ile ilişkili kardiyotoksitede miR-130a-3p'nin potansiyel hedef genlerinin araştırılması ve tanımlanması için biyoformatik bir yaklaşım</i>	964
Murat YEŞİL Mesut GÜZEL	Ordu ili Asarkaya Kent Ormanı ve Yoroz Kent Ormanı ile Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyonel potansiyel yönünden karşılaştırılması <i>Comparison of Asarkaya Urban Forest and Yoroz Urban Forest with Çınarsuyu Nature Park and Ulugöl Nature Park (Ordu province) in terms of recreational potential</i>	975
Hüseyin KARAKAYA Murat YILMAZTEKİN	Elektrostatik ekstrüzyon tekniği ile kapsüllenmiş bazı aroma maddelerinde sıcaklığın depolama stabilitesi üzerine etkisi <i>Effect of temperature on storage stability of some flavor compounds encapsulated by electrostatic extrusion technique</i>	988
Şenol GÜRSOY Ayşegül YILMAZ	Investigation comparatively of different external central steel braced frame behaviours with ductility level high and limited <i>Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı farklı dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve davranışlarının karşılaştırmalı incelenmesi</i>	999

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU Zülfü GÜROCAK	Hazar Gölü'ndeki (Elazığ/Doğu Türkiye) çökellerin mühendislik özelliklerine ve sualtı kütle hareketlerine genel bir bakış <i>An overview engineering properties of sediments and submarine mass movements in the Hazar Lake (Elazığ/Eastern Turkey)</i>	1015
Elif E. ÖZVAN Hasan ÇETİN Ali ÖZVAN İsmail AKKAYA	Van bindirme fayı tampon zonunun il afet risk azaltma planı (İRAP) çerçevesinde değerlendirilmesi <i>Evaluation of the Van thrust fault buffer zone within the framework of the provincial level disaster risk reduction plan (İRAP)</i>	1036

Derleme Makalesi / Review Article

Aytuğ KUMANDAŞ Erman ÇAVDAR Erhan Burak PANCAR Şeref ORUÇ	Reaktif etilen terpolimerlerin bitümün modifikasyonunda kullanımı: Bir literatür araştırması <i>The use of reactive ethylene terpolymers in the modification of bitumen: A literature review</i>	845
--	--	------------

k. mertebeden periyodik katsayılı $x(n+k)=A(n)x(n)$ sistemi için yeni Schur kararlılık parametresi ve Schur kararlılık parametreleri arasındaki ilişkiler

New Schur stability parameter for k-th order system with periodic coefficients $x(n+k)=A(n)x(n)$ and relations between Schur stability parameters

Ahmet DUMAN*^{1,a}, Gülnur ÇELİK KIZILKAN^{1,b}

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik-Bilgisayar Bölümü, 42090, Konya

• Geliş tarihi / Received: 10.03.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 05.04.2021

Öz

Bu çalışmada k . mertebeden $x(n+k) = A(n)x(n)$ periyodik katsayılı lineer fark denklem sisteminin Schur kararlılığının kalitesini gösteren yeni $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresi tanımlandı. $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresi ile yeni $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresi arasındaki eşitsizlikler elde edildi. Elde edilen eşitsizlikler yardımıyla k . mertebeden periyodik katsayılı lineer fark denklemlerinin, $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresine bağlı olarak daha önce verilen sonuçlar $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresi için yeniden ifade edildi. Ayrıca elde edilen sonuçlar bir nümerik örnek ile desteklendi.

Anahtar kelimeler: Bozunum sistemleri, Fark denklemleri, Hassasiyet, Periyodik katsayılar, Schur kararlılık

Abstract

In this study, a new parameter $\bar{\omega}_2(A, T)$ which indicates the quality of Schur stability of k -th order linear difference equation system with periodic coefficients $x(n+k)=A(n)x(n)$ has been defined. Inequalities between parameter $\bar{\omega}_1(A, T)$ and new parameter $\bar{\omega}_2(A, T)$ have been obtained. With the help of obtained inequalities, the previously given results for k -th order linear difference equations with periodic coefficients which depends on the parameter $\bar{\omega}_1(A, T)$ have been re-expressed for $\bar{\omega}_2(A, T)$. In addition, the obtained results have been supported by a numerical example.

Keywords: Perturbation systems, Difference equations, Sensitivity, Periodic coefficients, Schur stability

*a Ahmet DUMAN; aduman@erbakan.edu.tr, Tel: (0332) 323 82 44, orcid.org/0000-0002-4022-5285

^b orcid.org/0000-0003-1538-082X

1. Giriş

$A(n) = A(n + T) \in \mathbb{C}^{N \times N}$ periyodik matris ve $x(n) \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ olmak üzere

$$x(n + k) = A(n)x(n), x(s) = x_s \quad (s = 0, 1, 2, \dots, k - 1) \tag{1}$$

k . mertebeden Cauchy problemini ele alalım. (1) sisteminin çözümü

$n = ukT + v, 0 \leq v \leq kT - 1, 0 \leq s \leq k - 1$ ve $v = rk + s$ olmak üzere

$$x(n) = X_s(r)(X_s(T))^u x_s$$

olarak elde edilmiştir (Çelik Kızıllan ve Duman, 2020). Bu çözüme dayanarak, k . mertebeden periyodik katsayılı (1) sisteminin Schur kararlılığı, $\mathcal{X} = \{X_s(T) | s = 0, 1, 2, \dots, k - 1\}$ matris ailesindeki her bir matrisin Schur kararlı olmasına denktir (Çelik Kızıllan ve Duman, 2020).

Benzer olarak Lyapunov teoremine göre “(1) sisteminin (\mathcal{X} matris ailesindeki her bir matrisin) Schur kararlı olması için gerek ve yeter şart $s = 0, 1, 2, \dots, k - 1$ için $X_s(T)$ matrisinin $X_s^*(T)F_s X_s(T) - F_s + I = 0$ Lyapunov fark matris denkleminin (LFMD) $F_s = \sum_{j=0}^{\infty} (X_s^*(T))^j (X_s(T))^j = F_s^* > 0$ tek çözümüne sahip olmasıdır” (Çelik Kızıllan ve Duman, 2020).

Çelik Kızıllan ve Duman (2020) tarafından (1) sisteminin Schur kararlılığının kalitesini gösteren kararlılık parametresi;

$$\bar{\omega}_1(A, T) = \max_{0 \leq s \leq k-1} \|F_s\|,$$

şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre; $\bar{\omega}_1(A, T) < \infty$ oluyorsa sistem Schur kararlıdır. Aksi takdirde sistem Schur kararsızdır ve bu durumda $\bar{\omega}_1(A, T) = \infty$ olduğu kabul edilir.

2. Ana sonuçlar

2.1. Semboller

Çalışma için gerekli olan bazı gösterimler aşağıda tanımlanmıştır.

- $\alpha = \max_{0 \leq j \leq k-1} \|\sum_{m=0}^{T-1} X_j^*(m)X_j(m)\|,$
- $\beta_s = \max_{1 \leq i \leq T} \|Q_s(T, i)\| (1 + (T - 1) \max_{1 \leq i \leq T-1} \|Q_s(i, 0)\|)$
- $\gamma_s = (T - 1) \max_{1 \leq i \leq T} \|Q_s(T, i)\|$
- $\mu_s = \max_{1 \leq i \leq T} \|Q_s(T, i)\| \times \begin{cases} \max_{0 \leq i \leq T-2} \|A(ik + s)\|; & \max_{0 \leq i \leq T-2} \|A(ik + s)\| \leq 1 \\ (\max_{0 \leq i \leq T-2} \|A(ik + s)\|)^{T-2}; & \max_{0 \leq i \leq T-2} \|A(ik + s)\| > 1 \end{cases}$
- $Q_s(p, r) = \prod_{i=r}^{p-1} A(ik + s),$
- $\Psi_s(p, r) = \prod_{i=r}^{p-1} B(ik + s),$
- $\Delta_1^s = \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}} - \|X_s(T)\|,$
- $\Delta_2^s = \max_{0 \leq i \leq T-1} \|B(ik + s)\| \left(\beta_s + \gamma_s \max_{1 \leq i \leq T-1} \|\Psi_s(i, 0)\| + \mu_s \sum_{r=2}^{T-1} \left[\sum_{l=1}^{r-1} \frac{r!}{l!(r-l)!} (\max_{0 \leq i \leq r-1} \|B(ik + s)\|)^l \right] \right),$
- $\Delta_3^s = \frac{\max_{1 \leq i, j \leq T} \|Q_s(j, i)\| (1 + (T-1) \max_{1 \leq i \leq T-1} \|X_s(i)\|)}{1 - (T-1) \max_{1 \leq i, j \leq T} \|Q_s(j, i)\| \max_{1 \leq i \leq T-1} \|B(ik + s)\|} \max_{1 \leq i \leq T-1} \|B(ik + s)\|,$
- $\Delta_4^s = \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{1}{\bar{\omega}_2(A, T)}} - \|X_s(T)\|,$
- $\Delta_2^{s,*} = \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{\omega^* - \bar{\omega}_2(A, T)}{\omega^* \bar{\omega}_2(A, T)}} - \|X_s(T)\|.$

2.2. Yeni Schur kararlılık parametresi

k. mertebeden (1) sisteminin Schur kararlılığının kalitesini gösteren ikinci bir kararlılık parametresini aşağıdaki şekilde tanımlayalım.

Tanım 1.1. $\{D_s\}_{s=0}^{k-1} = \{\sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m)\}_{s=0}^{k-1}$ olsun. $s = 0,1,2, \dots, k-1$ için $X_s^*(T)\Phi_s X_s(T) - \Phi_s + D_s = 0$ LFMD' nin çözümü $\Phi_s = \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j D_s X_s(T)^j = \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(j)X_s(j)$, $\Phi_s = \Phi_s^* > 0$ matris serisi olmak üzere; (1) sisteminin Schur kararlılığının kalitesini gösteren yeni kararlılık parametresi $\bar{\omega}_2(A, T) = \max_{0 \leq s \leq k-1} \|\Phi_s\|$ şeklinde tanımlanır.

Buna göre (1) sistemi; $\bar{\omega}_2(A, T) < \infty$ ise Schur kararlı; aksi halde Schur kararsızdır ve $\bar{\omega}_2(A, T) = \infty$ şeklinde gösterilir.

Ayrıca $\omega^* > 1$ pratik Schur kararlılık parametresi olmak üzere $\bar{\omega}_i(A, T) \leq \omega^*$ ($i = 1,2$) eşitsizliği sağlanıyorsa (1) sistemine pratik Schur kararlı ya da kısaca ω^* - Schur kararlı, aksi halde ω^* - Schur kararsız sistem denir.

2.3. $\bar{\omega}_1(A, T)$ ve $\bar{\omega}_2(A, T)$ kararlılık parametreleri arasındaki ilişkiler

$\bar{\omega}_1(A, T)$ ve $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametreleri arasındaki bazı eşitsizlikler aşağıda verilmiştir.

Teorem 2.1. $\bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_2(A, T)$ ve $\bar{\omega}_2(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T)$ eşitsizlikleri doğrudur.

İspat. $\{D_s\}_{s=0}^{k-1} = \{\sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m)\}_{s=0}^{k-1}$ olmak üzere
 $\Phi_s = \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j D_s X_s(T)^j = \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j (\sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m)) X_s(T)^j$
 $= \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j (I + X_s^*(1)X_s(1) + \dots + X_s^*(T-1)X_s(T-1)) X_s(T)^j$
 $= \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j X_s(T)^j + \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j (X_s^*(1)X_s(1) + \dots + X_s^*(T-1)X_s(T-1)) X_s(T)^j$
 $= F_s + \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j (X_s^*(1)X_s(1) + \dots + X_s^*(T-1)X_s(T-1)) X_s(T)^j$

ve $s = 0,1,2, \dots, k-1$ için $\|\Phi_s\| \geq \|F_s\|$ olduğundan

$$\bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_2(A, T)$$

olduğu görülür. Ayrıca;

$$\|\Phi_s\| = \left\| \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(j)X_s(j) \right\| = \left\| \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j (\sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m)) X_s(T)^j \right\|$$

$$\leq \left\| \sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m) \right\| \left\| \sum_{j=0}^{\infty} X_s^*(T)^j X_s(T)^j \right\| = \left\| \sum_{m=0}^{T-1} X_s^*(m)X_s(m) \right\| \|F_s\|$$

olduğundan

$$\max_{0 \leq j \leq k-1} \|\Phi_j\| \leq \max_{0 \leq j \leq k-1} \left\| \sum_{m=0}^{T-1} X_j^*(m)X_j(m) \right\| \max_{0 \leq j \leq k-1} \|F_j\|$$

elde edilir. $\alpha = \max_{0 \leq j \leq k-1} \left\| \sum_{m=0}^{T-1} X_j^*(m)X_j(m) \right\|$ olmak üzere

$$\bar{\omega}_2(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T)$$

(2)

olduğu kolayca görülür.

Not 2.1. (2) den $\frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}$ olduğu açıktır.

Sonuç 2.1. Kararlılık parametreleri arasında

$$\frac{1}{\alpha} \bar{\omega}_2(A, T) \leq \bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_2(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T)$$

veya buna denk olarak

$$\frac{1}{\alpha \bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{1}{\bar{\omega}_2(A, T)} \leq \frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}$$

eşitsizlikleri sağlanır.

Teorem 2.2. (1) sistemi için

$$|\bar{\omega}_1(A, T) - \bar{\omega}_2(A, T)| \leq (\alpha - 1) \bar{\omega}_1(A, T)$$

eşitsizliği doğrudur.

İspat. Teorem 2.1. den $\bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_2(A, T)$ ve $\bar{\omega}_2(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T)$ olduğu bilindiğine göre, $\bar{\omega}_2(A, T) - \bar{\omega}_1(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T) - \bar{\omega}_1(A, T) = (\alpha - 1)\bar{\omega}_1(A, T)$

ve

$$\bar{\omega}_1(A, T) - \alpha \bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_1(A, T) - \bar{\omega}_2(A, T) \leq 0$$

olur. Böylece

$$|\bar{\omega}_1(A, T) - \bar{\omega}_2(A, T)| \leq (\alpha - 1)\bar{\omega}_1(A, T)$$

eşitsizliği sağlanır.

2.4. k. Mertebeden periyodik katsayılı $x(n + k) = A(n)x(n)$ lineer fark denklem sisteminin sürekliliği üzerine bazı sonuçlar

Şimdi $n \geq 0, T > 0, A(n) = A(n + T)$ ve $B(n) = B(n + T)$ olmak üzere (1)' in

$$y(n + k) = (A(n) + B(n))y(n), y(s) = y_s \quad (s = 0, 1, 2, \dots, k - 1) \quad (3)$$

bozunum sistemini ele alalım. (3) sisteminin fundamental matrisi $s = 0, 1, 2, \dots, k - 1$ için $Y_s(n) = \prod_{i=0}^{n-1} (A(ik + s) + B(ik + s))$ dir.

(3) sisteminin aşıkâr çözümünün Schur kararlılığı için Çelik Kızılkın ve Duman (2020) tarafından $B(n)$ bozunum matrisi üzerine $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresine bağlı bazı şartlar verilmiştir. Şimdi bu sonuçları $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresine göre ifade edelim:

Teorem 2.3. $s = 0, 1, 2, \dots, k - 1$ için (1) in monodromi matrisi $X_s(T)$ ve (3) ün monodromi matrisi $Y_s(T)$ olsun. Bu takdirde

$$\|Y_s(T) - X_s(T)\| < \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}} - \|X_s(T)\| \quad (4)$$

ifadesini sağlayan $B(n)$ bozunum matrisi için (3) sistemi Schur kararlıdır.

İspat. Bu teorem Çelik Kızılkın ve Duman'da (2020)'deki $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresi için verilen Teorem 3.1. in $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresine uyarlanmasıdır. Dolayısıyla, Teorem 3.1. in ispatında $\langle F_s Y_s((p + 1)T)w, Y_s((p + 1)T)w \rangle$ iç çarpımında F_s matrisi yerine Φ_s matrisi alınıp ispat adım adım izlenirse (4) eşitsizliğine ulaşılır.

Fakat Teorem 2.3. deki sonucu elde etmek için Çelik Kızılkın ve Duman'daki (2020)'deki ispat tekniğini adım adım uygulamaya gerek yoktur. (4) eşitsizliğini elde etmek için Sonuç 2.1. de verilen $\frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}$ eşitsizliğini Çelik Kızılkın ve Duman (2020) Teorem 3.1. de kullanmak yeterlidir. Gerçekten,

Çelik Kızılkın ve Duman (2020), Teorem 3.1.' de $s = 0, 1, 2, \dots, k - 1$ için (1) in monodromi matrisi $X_s(T)$ ve (3) ün monodromi matrisi $Y_s(T)$ olmak üzere

$$\|Y_s(T) - X_s(T)\| < \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)}} - \|X_s(T)\|$$

ifadesini sağlayan $B(n)$ bozunum matrisi için (3) sistemi Schur kararlı olduğu ifade edilmiştir.

Sonuç 2.1. den $\frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}$ olduğu bilindiğine göre

$$\|Y_s(T) - X_s(T)\| < \sqrt{\|X_s(T)\|^2 + \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}} - \|X_s(T)\|$$

olduğu açıktır. Böylece Teorem 2.3. ispatlanmış olur.

Teorem 2.4. (1) in Schur kararlı olması durumunda, $B(n)$ bozunum matrisi için

i) $\Delta_1^2 < \Delta_1^s$

ii) $\|B(n)\| < \frac{\Delta_1^s}{\max_{1 \leq i, j \leq T} \|Q(j, i)\| [(1 + (T - 1) (\max_{1 \leq i \leq T-1} \|X_s(i)\| + \Delta_1^s))]}$

şartları sağlanırsa (3) bozunum sistemi Schur kararlıdır.

Teorem 2.5. (1) sistemi Schur kararlı olmak üzere, $B(n)$ bozunum matrisi için

$$\|B(n)\| < \frac{\Delta_4^s}{\max_{1 \leq i, j \leq T} \|Q(j, i)\| [(1 + (T - 1) (\max_{1 \leq i \leq T-1} \|X_s(i)\| + \Delta_4^s))]}$$

şartları sağlanırsa (3) bozunum sistemi Schur kararlıdır. Ayrıca;

$$\bar{\omega}_2(A + B, T) \leq \frac{\bar{\omega}_2(A, T)}{1 - (2 - \|X_s(T)\| + \Delta_3^s) \Delta_3^s \bar{\omega}_2(A, T)}; \|\tilde{F}_s - F_s\| \leq \frac{(2 - \|X_s(T)\| + \Delta_3^s) \Delta_3^s \bar{\omega}_2(A, T)^2}{1 - (2 - \|X_s(T)\| + \Delta_3^s) \Delta_3^s \bar{\omega}_2(A, T)}$$

eşitsizlikleri doğrudur.

Teorem 2.6. ω^* -Schur kararlı (2) sistemi verilsin. Eğer $B(n)$ bozunum matrisi için

i) $\Delta_2^s < \Delta_2^{s,*}$,

ii) $\|B(n)\| < \frac{\Delta_2^{s,*}}{\max_{1 \leq j, r \leq T} \|Q(j, r)\| [(1 + (T-1) (\max_{1 \leq r \leq T-1} \|X_s(r)\| + \Delta_2^{s,*})]]}$

şartları sağlanırsa, (3) bozunum sistemi de ω^* -Schur kararlı olur.

Not 2.2. $\bar{\omega}_1(A, T) \leq \bar{\omega}_2(A, T)$ ve $1/\bar{\omega}_1(A, T) \leq \alpha/\bar{\omega}_2(A, T)$ eşitsizlikleri dikkate alınarak Teorem 2.4. ispatı Duman ve Aydın'daki (2011) Teorem 3-4 ve Teorem 2.4-2.5. in ispatı sırasıyla Duman vd.'daki (2016) Teorem 7-8 kaynaklarındaki teorem ispatlarına benzer şekilde kolaylıkla elde edilir. Tekrara düşmemek açısından ispatlar verilmemiştir.

Not 2.3. (1) sisteminde $k = 1$ ve $T = 1$ olması durumunda $\bar{\omega}_2(A, T) = \omega_2(A, T) = \omega(A)$ elde edilir. Bu durumda (1) sistemi 1. mertebeden sabit katsayılı sisteme dönüşür ve Teorem 2.3.-2.5. teoremleri 1. mertebeden sabit katsayılı sistem için yazılan sonuçlar ile örtüşmektedir. Bu ise Teorem 2.3.-2.5. in literatürdeki benzer sonuçlarla olan uyumunu göstermektedir.

Not 2.4. Çalışmamızdaki hesaplamalar MVC (Bulgak ve Eminov, 2001) kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen eşitsizlikleri hesaplamak için aşağıdaki örneği ele alalım.

Örnek 2.1. $i = 1, 2, 3$ için $A_i(n)$ matrisleri

$$A_1(n) = \begin{pmatrix} \frac{(-1)^n}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, A_2(n) = \begin{pmatrix} \frac{(-1)^n}{2} & 3 \\ 0 & 0.2 \end{pmatrix} \text{ ve } A_3(n) = \begin{pmatrix} \sin\left(\frac{2\pi}{3}n\right) & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}n\right) \end{pmatrix}$$

olmak üzere 2. mertebeden periyodik katsayılı $x(n+2) = A(n)x(n)$ sistemini ele alalım. $A(n)$ katsayı matrisleri için elde ettiğimiz eşitsizliklerin sağlandığı Tablo 2.1. de görülmektedir.

Gösterimde kolaylık sağlaması açısından aşağıdaki eşitsizlikleri

- $\bar{\omega}_2(A, T) \leq \alpha \bar{\omega}_1(A, T)$ (a)

- $\frac{1}{\bar{\omega}_1(A, T)} \leq \frac{\alpha}{\bar{\omega}_2(A, T)}$ (b)

- $|\bar{\omega}_1(A, T) - \bar{\omega}_2(A, T)| \leq (\alpha - 1) \bar{\omega}_1(A, T)$ (c)

şeklinde numaralandırılmış.

Tablo 1. $A(n)$ Matrisleri için Hesaplanan Parametre Değerleri ve Eşitsizlikler

	$A_1(n)$	$A_2(n)$	$A_3(n)$
$\bar{\omega}_1(A, T)$	1.06667	8.09005	1.06667
$\bar{\omega}_2(A, T)$	1.33333	24.1037	2.5
α	1.25	10.2889	2.5
(a)	$1.33333 \leq 1.3333375$	$24.1037 \leq 83.237715$	$2.5 \leq 2.666675$
(b)	$0.937497 \leq 0.9375$	$0.1236086 \leq 0.4268598$	$0.937497 \leq 1$
(c)	$0.266663 \leq 0.2666675$	$16.01365 \leq 75.177665$	$1.43333 \leq 1.600005$

$\bar{\omega}_1(A, T)$, $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametrelerinden herhangi birine göre yazılmış bir sonucun diğer parametreye göre yazılmasını sağlayan (a), (b) ve (c) eşitsizlikleri ile ilgili nümerik örnekler Tablo 1. de verilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada; k . mertebeden periyodik katsayılı (1) Cauchy problemi ele alınmıştır. (1) Cauchy problemi için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- $\bar{\omega}_2(A, T)$ Schur kararlılık parametresi tanıtılmıştır.
- $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresi ile yeni $\bar{\omega}_2(A, T)$ parametresi arasındaki fonksiyonel eşitsizlikler elde edilmiştir.

Problemin Schur kararlı olması durumunda hangi bozunumlar altında sistemin Schur kararlı kaldığını gösteren $\bar{\omega}_1(A, T)$ parametresine bağlı olarak daha önce verilen süreklilik teoremleri, (1) problemi için yeni tanımlanan $\bar{\omega}_2(A, T)$ Schur kararlılık parametresine bağlı olarak yeniden ifade edilmiştir.

Kaynaklar

- Bulgak, H. and Eminov, D., 2001. Computer dialogue system MVC. Selcuk Journal Applied Mathematics, 2, 17-38.
- Çelik Kızıllan, G. ve Duman, A., 2020. k . mertebeden periyodik katsayılı $x(n+k)=A(n)x(n)$ lineer fark denklem sisteminin Schur kararlılığının hassasiyeti. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13 (3), 995-1003. <http://dx.doi.org/10.18185/erzifbed.694163>.
- Duman, A. and Aydın, K., 2011. Sensitivity of Schur stability of monodromy matrix. Applied Mathematics and Computation, 217, 6663–6670. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.01.052>
- Duman, A., Çelik Kızıllan, G. and Aydın, K., 2016. Sensitivity of Schur stability of systems of linear difference equations with periodic coefficients. New Trends in Mathematical Sciences, 4 (2), 159-173. <http://dx.doi.org/10.20852/ntmsci.2016217826>

Demir (III) oksit (Fe₂O₃) nanopartiküllerinin genotoksitesinin *Drosophila* hemositlerinde KOMET yöntemi ile araştırılması

*Investigation of genotoxicity of iron (III) oxide (Fe₂O₃) nanoparticles in *Drosophila* hemocytes by COMET method*

Burçin YALÇIN^{1,a}, Merve GÜNEŞ^{1,b}, İbrahim Hakkı CİĞERCİ^{2,c}, Bülent KAYA^{*1,d}

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

• Geliş tarihi / Received: 10.11.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 31.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 07.04.2021

Öz

Nanopartikül (NP) kaynaklı ürünlerin giderek çeşitlenmesi ve bu ürünlerin ekonomik, çevresel ve insan sağlığı yararına fayda sağlaması nedeni ile NP'lerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak bu yoğun kullanım beraberinde bazı endişelerin oluşmasına da yol açmıştır. NP'ler kimyasal bileşimlerine, yapılarına, partikül büyüklüklerine, yüzey alanlarına ve şekillerine göre farklı toksik etkiler gösterebilmektedir. Şekilleri ve boyutları NP'lerin hücre alımları ve potansiyel toksisitesinde önemli belirleyicilerdir. Demir (III) oksit (Fe₂O₃) NP'leri, manyetik rezonans görüntüleme, ilaç dağıtımında, biyolojik sıvıların detoksifikasyonu gibi birçok biyomedikal ve biyomühendislik alanlarında kullanıma sahiptir. Bu çalışmada Fe₂O₃ NP'lerinin genotoksitesinin partikül boyutu ve şekli ile ilişkisini belirlemek amacıyla *Drosophila* hemositleri ile KOMET (alkali tek hücre jel elektroforez) analizi gerçekleştirilmiştir. KOMET sonucuna göre, <50 nm boyutlu ve küre forma sahip Fe₂O₃ NP'leri ile <100 nm boyutlu ve çubuk forma sahip Fe₂O₃ NP'lerinin genotoksik etkileri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ancak her iki Fe₂O₃ NP uygulamasında da çalışılan 3 farklı dozdan (1, 2 ve 5 mM) sadece 1 mM'lık uygulamada kontrol grubu distile suya göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde genotoksitesinin indüklendiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Demir oksit, *Drosophila*, Genotoksitesite, KOMET, Nanopartikül

Abstract

The use of nanoparticles (NPs) has become widespread due to the increasing diversification of products from NP and the benefit of these products for economic, environmental and human health. However, this overutilize has also led to some concerns. NPs can show different toxic effects depending on their chemical composition, structure, particle size, surface area and shape. Their shape and size are important determinants in the cellular uptake and potential toxicity of NPs. Iron (III) oxide (Fe₂O₃) NPs are used in many biomedical and bioengineering fields such as magnetic resonance imaging, drug delivery, detoxification of biological fluids. In this study, COMET (alkaline single cell gel electrophoresis) analysis was performed with *Drosophila* hemocytes to determine the relationship between the genotoxicity of Fe₂O₃ NPs and particle size and shape. According to the result of COMET, no statistically significant difference was found in terms of genotoxicity when Fe₂O₃ NPs with of <50 nm and sphere form and Fe₂O₃ NPs with of <100 nm and rod form were compared. However, in both Fe₂O₃ NP treatments, it was determined that only 1 mM dose (between 1, 2 and 5 mM) was induced statistically significant level of genotoxicity compared to the control group distilled water.

Keywords: Iron oxide, *Drosophila*, Genotoxicity, COMET, Nanoparticle

*d Bülent KAYA; bkaya@akdeniz.edu.tr, Tel: (0242) 310 23 50, orcid.org/0000-0002-0491-9781

^a orcid.org/0000-0002-9694-5839

^b orcid.org/0000-0003-3278-0542

^c orcid.org/0000-0002-3626-7730

1. Giriş

Metal oksit nanopartikülleri ticari, endüstriyel ve medikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan nanopartiküllerin (NP'lerin) bir sınıfıdır. En sık kullanılan temel metal oksit NP'leri; titanyum dioksit (TiO₂), seryum oksit (CeO₂), demir oksitler (Fe₂O₃, FeO, Fe₃O₄ vb.), alüminyum oksit (AlO), silica (SiO₂) ve çinko oksit (ZnO) NP'leridir (Ju-Nam ve Lead, 2008; Johnston vd., 2010). Metal oksit NP'lerinin kullanım alanlarına baktığımızda ise kozmetikten, gıda paketlemeye, güneş pillerinden, ilaç taşıyım sistemlerine pek çok alanı kapsadığı bilinmektedir (Ju-Nam ve Lead, 2008). Bu farklı uygulamalarından dolayı metal oksit NP'lerine insan ve çevresel kaynaklı maruziyetin giderek artacağı düşünülmektedir ve beraberinde yol açabileceği olumsuz etkiler konusundaki endişeler de giderek artmaktadır (Ma vd., 2015; Scherer vd., 2019). Nanopartiküller oksidatif hasara neden olabilmekte ve dolaylı olarak DNA'da hasar yaratabilmektedir. Bunun yanında yeterince küçük NP'ler nükleus porlarından geçerek DNA'ya ulaşım direkt olarak da zarar verebilmektedir (Singh vd., 2009). Ayrıca partiküllerden salınan metal iyonları membran yapılarına zarar verebilmektedir (Sukhanova vd., 2018). Lizozom membranında oluşacak hasar DNaz gibi yıkıcı enzimlerin sitoplazmaya salınmasına neden olabilmekte bunun sonucunda da DNA'da kırıklar oluşabilmektedir (Karlsson, 2010; Karlsson vd., 2015). Dolayısıyla, bu NP'lerin çevre ve canlı organizmalar üzerindeki risk değerlendirmesi hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak için genotoksik potansiyellerinin değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Metal oksit NP'leri arasında yer alan demir oksit NP'lerinin fizikokimyasal özelliklerinden dolayı *in vivo* ve *in vitro* araştırmalar için yaygın uygulamaları bulunmaktadır (Sadeghi vd., 2015a; Caro vd., 2019). 21. yüzyıl başlarından itibaren özellikle son 10 yıldır demir oksit NP'leri ile ilgili yayınlar artış göstermektedir (PubMed, 2020). Aynı zamanda manyetik özellikleri nedeniyle de manyetik rezonans görüntüleme, ilaç veya genlerin hedefli verilmesi, doku mühendisliği, hedeflenen tümörün yok edilmesi, gibi pek çok çeşitli uygulamalarda benzersiz bir potansiyele sahiptir (Wu vd., 2012; Sadeghi vd., 2015a; Katz, 2019; Yousef vd., 2019). Demir oksit NP'lerinin nano boyutlarda olması onları özellikle onkoloji tedavilerinde kullanımı için önemli adaylardan biri haline getirir de küçük boyutlarda olması özellikle kan beyin bariyerini aşabilme ve biyolojik sistemlerde oksidatif stres oluşturma, nükleer zara hasar vererek mutasyonlara yol açma risklerini de

ortaya çıkarmaktadır (Dahman, 2019). Boyutlarının dışında NP'lerin şekilleri de NP'lerin hücre içerisine girişini etkilemekte ve buna bağlı olarak toksisitelerinin seviyesi de değişebilmektedir (Dong vd., 2019; Bai ve Tang, 2020). Ancak literatürdeki çalışmalara bakıldığında demir oksit NP'lerinin toksikolojik değerlendirmesi ile ilgili kısıtlı çalışma bulunmaktadır.

Drosophila melanogaster, kısa hayat döngüsü, basit bir şekilde kültüre edilmesi, yüksek üreme potansiyeline sahip olması gibi avantajlarından genetik çalışmalarda kullanım açısından ideal bir model organizmadır. Ayrıca memeliler ile arasında birçok temel biyolojik, fizyolojik ve nörolojik özellikler korunmakta ve insan hastalık genlerinin yaklaşık %77'sinin *Drosophila*'da fonksiyonel bir homoloğu bulunmaktadır (Reiter vd., 2001; Alaraby vd., 2016). *Drosophila*, insan ile yüksek homoloji gösterdiği için NP'lerin toksisitesinin belirlenmesinde sıkça kullanılan önemli bir model organizmadır (Carmona vd. 2015; Demir vd., 2015; Güneş vd., 2018). Alkali tek hücre jel elektroforez (KOMET) testi, ökaryotik hücrelerde farklı bileşiklerin neden olduğu DNA hasarının belirlenmesinde kullanılan hızlı, basit, ucuz, güvenilir ve hassas bir tekniktir ve genotoksikite çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Shukla, 2011; Ertuğrul vd., 2020). Bu bağlamda demir (III) oksit (Fe₂O₃) NP'lerinin farklı partikül boyutuna (<50 nm ve <100 nm) ve farklı partikül şekline (küre ve çubuk) göre genotoksitesinde meydana gelebilecek değişikliğin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Fe₂O₃ NP'lerinin ön denemelerle belirlenen 3'er farklı konsantrasyonunun (1, 2 ve 5 mM) genotoksik etkisi *Drosophila* hemositlerinde KOMET testi ile araştırılmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1. Kimyasallar

<50 nm ve <100 nm olmak üzere iki farklı partikül boyutuna sahip Fe₂O₃ NP'leri (CAS No:1309-37-1), pozitif kontrol grubu olarak kullanılan etil metan sülfonat (EMS, CAS No: 62-50-0), etidyum bromür (EtBr), EDTA, fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS) ve n-feniltiyoüre Sigma Aldrich (St. Louis, MO, ABD) firmasından temin edilmiştir. Sodyum klorür (NaCl), düşük erime ısısına sahip agar (LMA), normal erime ısısına sahip agar (NMA) ve Tris AppliChem (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

2.2. Nanopartikül karakterizasyonu ve konsantrasyonların hazırlanması

Kullanılan Fe_2O_3 NP'lerin partikül boyut ve şekilleri JEOL 2100F HRTEM Yüksek Çözünürlüklü Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ile zeta potansiyelleri de Parçacık Boyut Analiz Cihazı ve Zeta Potansiyel ve Mobilite Ölçüm Cihazı ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında görüntülenmiştir.

Toz halde satın alınan Fe_2O_3 NP'leri 10 mM'lık bir konsantrasyonda ana stok hazırlanması için hassas bir terazide (Precisa XB 220A) tartılmış ve distile su ile karıştırılmıştır (1,5969 mg/ml). Ardından karışımın homojen bir şekilde olabilmesi için 1 saat boyunca sonikatörde (Bandelin Sonorex, 35 kHz, 80/320 W) oda sıcaklığında tutulmuştur. Uygulaması yapılan 1, 2 ve 5 mM'lık konsantrasyonlar, hazırlanan bu 10 mM'lık ana stoktan distile su ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Tüm konsantrasyonlar, KOMET testi için *Drosophila* larvalarına uygulanmadan hemen öncesine kadar çökelme olmaması için sonikatörde tutulmuştur.

2.3. *Drosophila melanogaster*

Bu çalışmada KOMET yönteminde *Drosophila* Oregon R+ hattı kullanılmıştır. Fe_2O_3 NP'lerinin uygulaması gerçekleştirilene kadar *Drosophila* kültürü, standart *Drosophila* besiyerinde (Lewis besini: mısır unu, şeker, maya, agar, asit karışımı) (Demir vd., 2015), $25\pm 1^\circ C$ ve %60 bağıl neme sahip ortamda idame ettirilmiştir.

2.4. *Drosophila* hemositlerinde alkali tek hücre jel elektroforez testi (KOMET)

Bu çalışma kapsamında iki farklı boyuta ve şekle sahip Fe_2O_3 NP'lerinin *Drosophila* hemositlerinde muhtemel DNA tek iplik kırığı oluşturma potansiyeli KOMET testi ile belirlenmiştir. Yeterli miktarda çoğaltılan *Drosophila* Oregon R+ hatlarından taze besinlerde 8 saat boyunca yumurta toplanmıştır. Toplanan yumurtalar 72 ± 4 saatlik larval evreye (3. larval evre) ulaştıklarında iki farklı boyuttaki Fe_2O_3 NP'lerinin 3 farklı konsantrasyonuna (1, 2 ve 5 mM) maruz bırakılmıştır. NP maruziyeti, hazırlanan farklı konsantrasyonlardaki NP çözeltilerinin 9 mL'si ile ıslatılan 4.5 gramlık *Drosophila* hazır standart besi yerine larvaların aktarılması ile gerçekleştirilmiş ve $25\pm 1^\circ C$ ve %60 bağıl neme sahip ortamda 24 saat maruziyet gerçekleştirilmiştir. 24 saatlik maruziyetten sonra larvalar 96 ± 4 saatlik olduklarında 0.2 mm gözenek çapına sahip elek

yardımı ile çeşme suyu altında yıkanarak besi yerinden ayrılması sağlanmış ve larvaların yüzey dezenfeksiyonu amacı ile %5 sodyum hipoklorid çözeltisi içerisinde 2 dakika bekletildikten sonra musluk suyunda yıkanarak hemosit izolasyonuna geçilmiştir. *Drosophila* larvalarından hemositler Irving vd. (2005) metoduna göre toplanmıştır. Her bir uygulama için 40-60 larva seçilerek stereo mikroskop altında iki ince uçlu pens yardımı ile içerisinde %0.07 feniltiyöre bulunan PBS solüsyonu içerisine hemositler toplanmıştır. Hemosit izolasyonundan sonra 300 g'de (10 dk $+4^\circ C$) santrifüj edilerek elde edilen pellet üzerine soğuk PBS (20 μL) eklenmiştir. Sonra hemositler 80 μL LMA (%0.75) ile karıştırılıp 100'er μL olacak şekilde bir gün önceden NMA (%1) ile kaplanmış olan lamalar üzerine yayılarak lamel ile kapatılmıştır. 10 dk buz üzerinde bekletildikten sonra lameller dikkatli bir şekilde çıkartılarak lamalar üzerine tekrar 80 μL LMA eklenerek lamel ile kapatılmış ve 10 dk buz üzerinde bekletilmiştir. Süre sonunda lameller çıkartılmış ve lamalar taze lizis solüsyonuna (2.5 M NaCl, 10 mM Tris, 100 mM Na_2EDTA , %1 Triton X-100 ve %1 N-lauril sarkosinat, pH 10) konularak 1 saat $+4^\circ C$ 'de karanlık ortamda bekletilmiştir. Lizis aşamasından sonra lamalar soğuk elektroforez tamponu (1 mM Na_2EDTA ve 300 mM NaOH, pH >13) içerisine alınarak 30 dk bekletilmiş ve sonra hücreler aynı tampon içerisinde 30 dk 25 V 300 mA'de yürütülmüştür. Yürütme işleminden sonra elektroforezden alınan lamalar 400 mM Tris solüsyonu (pH 7.5) içerisinde 5 dk bekletilmiş ve aynı işlem 2 kez daha tekrar edilerek nötralizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak da lamalar 50 μL EtBr (60 $\mu g/mL$) ile boyanarak 20 dk $+4^\circ C$ 'de bekletilmiştir. Süre sonunda oda sıcaklığında birkaç dakika bekletilen preparatların floresan mikroskop (Nikon Eclipse E200) altında değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen preparatlarda her bir uygulama için rasgele 50 hücre olmak üzere 40X büyütmede floresan mikroskop altında KOMET-IV (Version 4.11) programı ile otomatik ölçüm şeklinde ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kuyruk uzunluğu (μm), kuyruk yoğunluğu (%DNA) ve kuyruk momenti (iki parametrenin kombinasyonu) parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışmada pozitif kontrol grubu olarak 4 mM EMS kullanılırken, negatif kontrol grubu olarak da Fe_2O_3 NP'lerin farklı konsantrasyonları hazırlanırken kullanılan distile su kullanılmıştır.

2.5. İstatiksel analiz

KOMET-IV (Version 4.11) programı ile otomatik ölçümü sonrasında elde edilen sonuçlar IBM SPSS

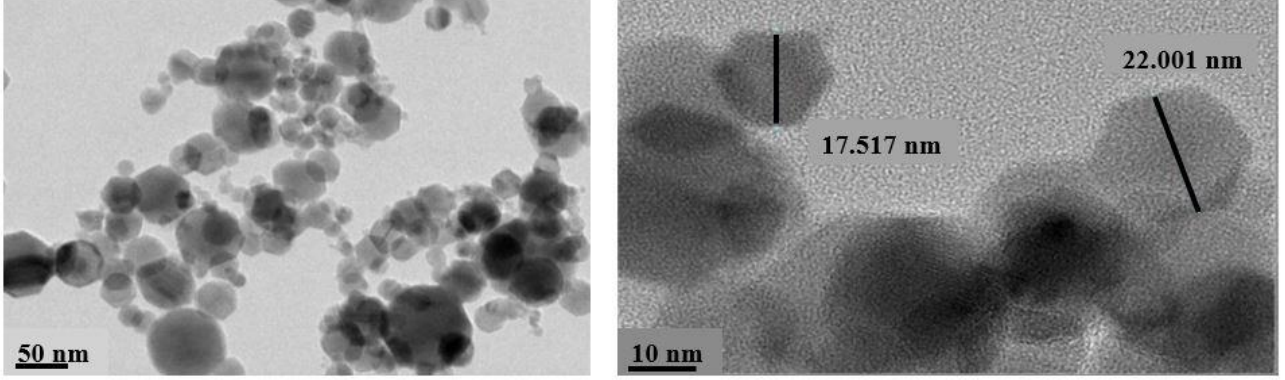
İstatistik 23 paket programı ile One-way ANOVA (Dunnet testi) kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

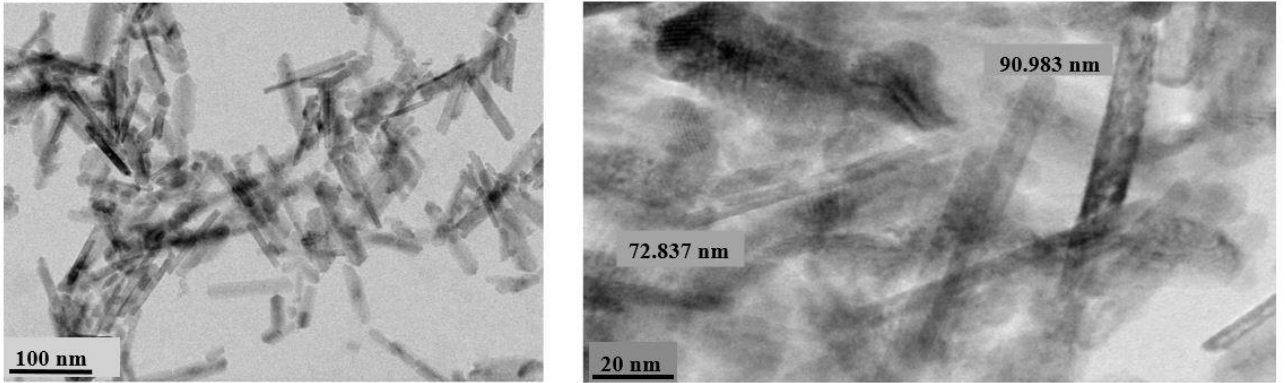
3.1. Nanopartikül karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan Fe_2O_3 NP'lerin partikül boyut ve şekillerinin TEM ile karakterizasyonu sonucunda elde edilen TEM görüntüleri Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre <50 nm Fe_2O_3 NP'lerinin partikül boyutu yaklaşık 15-

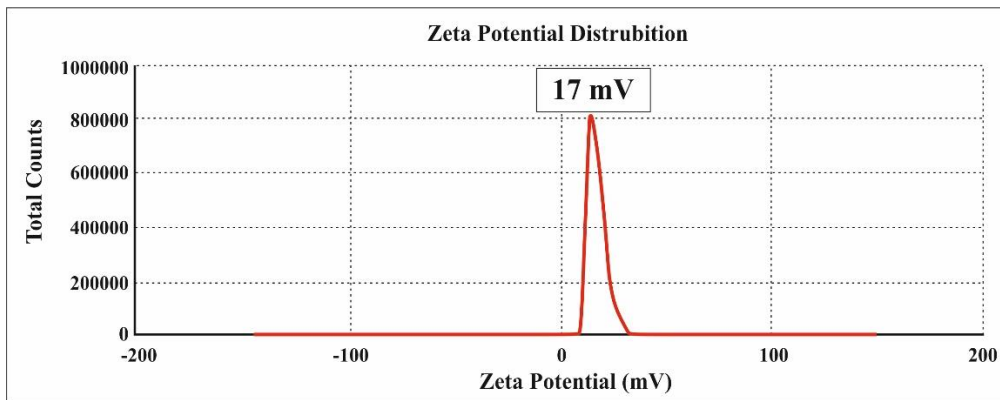
25 nm olarak ölçülmüş ve küre forma sahip oldukları gösterilmiş, <100 nm Fe_2O_3 NP'lerinin partikül boyutu ise yaklaşık olarak 70-90 nm olarak ölçülmüş ve çubuk forma sahip oldukları gösterilmiştir. Zeta potansiyeli analizi sonuçlarına göre, <100 nm Fe_2O_3 NP'lerinin zeta potansiyeli 17 mV olarak ölçülmüştür (Şekil 3). <50 nm Fe_2O_3 NP'lerinin çökelme potansiyeli çok fazla olduğu için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı tarafından yapılan analizlerde zeta potansiyel ölçümü gerçekleştirilememiştir.



Şekil 1. <50 nm Fe_2O_3 NP'nin yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüsü



Şekil 2. <100 nm Fe_2O_3 NP'nin yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüsü



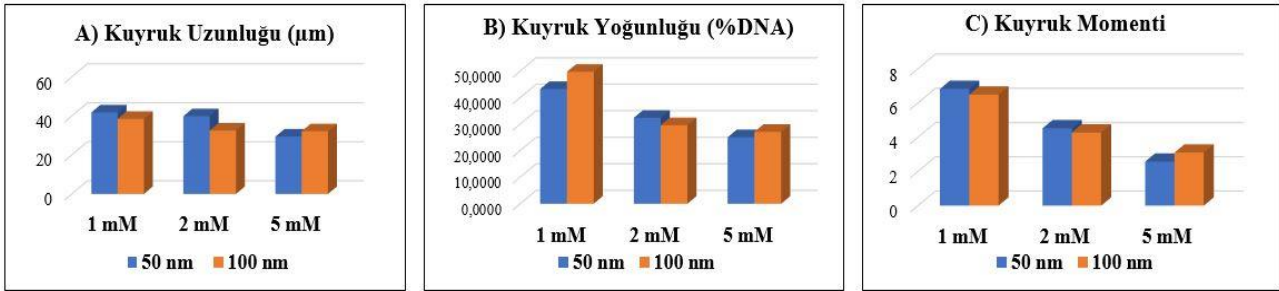
Şekil 3. <100 nm Fe_2O_3 NP'nin zeta potansiyeli

3.2. *Drosophila* hemositlerinde KOMET testi

NP'ler, kimyasal bileşimlerine, kimyasal yapılarına, partikül büyüklüklerine, yüzey alanlarına ve şekillerine göre farklı toksik etkiler gösterebilmektedir (Xia vd., 2008; Rosenkranz vd., 2012). Şekilleri ve boyutları, NP'lerin hücre alımları ve potansiyel toksisitesinde önemli belirleyicilerdir. Çünkü NP'lerin şekilleri hücre zarından girişlerini etkileyebilmekte ve küçük boyutlara sahip olması aynı boyut aralığına sahip olduğu DNA ile etkileşime girerek farklı tepkiler vermesine yol açabilmektedir (Dong vd., 2019; Bai ve Tang, 2020). NP'lerin toksisitesine bakıldığında bu partiküllerin indüklediği toksik ve genotoksik mekanizmaların sadece DNA ile etkileşime geçerek değil ayrıca mitoz bölünme görev alan proteinleri etkileyerek, ROS (reaktif oksijen türleri) üreterek ve hücrelerdeki antioksidan bariyerinin (Süperoksit dismutaz (SOD) ve Glutasyon (GSH)) kırılmasına neden olarak da gerçekleşebilmektedir (Carmona vd., 2015, 2016). NP'lerin küçük boyutu büyük yüzey alanına sahip olmalarına yol açmakta ve bu da NP'leri biyolojik olarak daha aktif hale getirmektedir. Partiküllerin yüzey kimyası, doğrudan ROS oluşumuna neden olabilmektedir (Singh vd., 2016a). Bu nedenle ROS üretimi ve oksidatif stres hasarı NP toksisitesi için bir paradigma haline gelmiştir (Xia vd., 2008). ROS, DNA hasarı, gen mutasyonu, MN (mikronükleus), kromozom bozuklukları gibi olaylarla genotoksisiteye neden olabilmektedir (Kumari vd., 2014). Özellikle son yıllarda teknolojinin

gelişmesiyle değişen yaşam stili sonucunda, yaygın olarak hayatımıza dâhil olan ve insan sağlığı üzerine potansiyel etkileri hâlâ büyük ölçüde bilinmeyen NP'lerin, çeşitli yöntemler ve model organizmalar kullanılarak farklı etkilerinin saptanması gerekmektedir. Bu nedenlerle, son yıllarda pek çok alanda çeşitli amaçlarla kullanılan NP'lerden Fe₂O₃ NP'lerinin boyut ve şekil farklılığına bağlı olarak genotoksitesinin güvenilir ve hızlı bir test olan KOMET yöntemi ile *in vivo* değerlendirilmesi önemlidir.

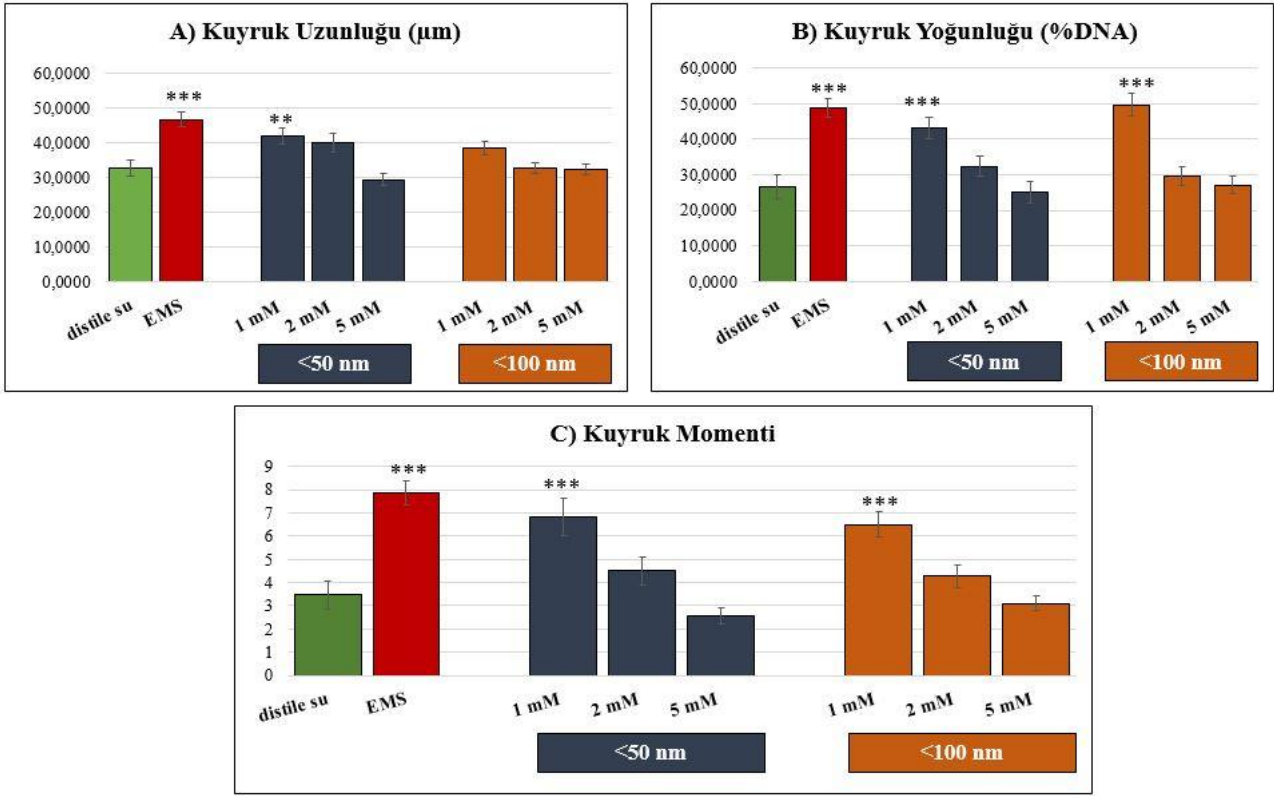
Bu çalışmada *Drosophila* hemositlerinde KOMET ile genotoksik potansiyelleri değerlendirilen Fe₂O₃ NP'lerinin uygulamalarından elde edilen sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Çalışma sonucunda Fe₂O₃ NP'lerinin <50 nm ve <100 nm olmak üzere farklı boyutlarının kuyruk uzunluğu, kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momenti ölçüm sonuçları (Şekil 4) birbiri ile karşılaştırıldığında <50 nm boyutundaki küre formulu Fe₂O₃ NP'lerinin <100 nm boyutundaki çubuk formulu Fe₂O₃ NP'lerine göre DNA hasarını arttırdığı görülmektedir ancak oluşan hasarın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılığa neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu artışın sebebi küçük boyutlu ve küre forma sahip NP'lerin hücre içerisine daha kolay girip intrasellüler membran boyunca daha kolay taşınmasından kaynaklanmaktadır. Hücre içerisine erişimin daha kolay olması da metal iyonlarının doğrudan hücrelere salınmasına ve hasarın oluşmasına yol açmaktadır (Dong vd., 2019; Dlugosz vd., 2020).



Şekil 4. Fe₂O₃ NP'lerinin farklı partikül boyutlarının (<50 ve <100 nm) DNA hasar karşılaştırılması

Uygulanan NP'lerin her iki boyutunun kendi içerisinde farklı konsantrasyonları (1, 2 ve 5 mM) negatif kontrol grubu ile karşılaştırıldığında ise çalışılan en düşük dozda (1mM) DNA hasarının

tüm parametreler açısından (kuyruk uzunluğu, yoğunluğu ve momenti) kontrol grubu distile suya göre anlamlı düzeyde indüklendiği görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. KOMET yönteminde *Drosophila* hemositlerinde Fe₂O₃ NP'leri uygulamasından sonra meydana gelen DNA hasarı (0.01<*<0.05, 0.001<***<0.01, ***<0.001)

Partikül boyut ve şeklinin yanında, maruz kalınan doz toksisiteyi belirleyen en temel faktörlerdendir. Uygun dozda kullanılmadığı takdirde her madde olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir. Ancak burada çalışma sonucunda uygulanan doz arttıkça oluşan DNA hasarının azaldığı görülmektedir. Doz arttıkça çözeltideki birim hacimdeki Fe₂O₃ NP'lerin miktarı/yoğunluğu artmakta ve kümeleşerek çökme eğilimi göstermektedir (Honary ve Zahir, 2013; Singh, 2016b). Ayrıca NP'ler kararsız olduklarında da kümeleşerek çökmektedir. Bu nedenle NP'lerin toksisitesi değerlendirilirken kararlılıkları da önemli konulardan biridir. Zeta potansiyelinin ölçümü NP'lerin kararlılığı hakkında çıkarım yapmaya olanak sağlamaktadır. NP'ler zeta potansiyeli 30 mV üzerindeki değerlerde ise iyi bir kararlılık sağlarken 20 mV değerinde ise sadece kısa süreli bir kararlılık sağlamaktadır. Bu nedenle NP'ler zeta potansiyeli >20-30 mV arasındaki değerlerdeyken kararlıdır, ancak bu değerler aralığında değilse kararsızdır ve çökme yoluyla kümeleşme eğilimindedir (Honary ve Zahir 2013). Bu çalışmada kullanılan NP'lerin, kararsız olduklarını ve kümeleşme eğiliminde olduklarını gösteren zeta potansiyel değerlerine (<100 nm Fe₂O₃ NP: 17mV ve <50 nm Fe₂O₃ NP: ölçüm gerçekleştirilemeyecek boyutta bir kararsız) sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada

sadece düşük dozda toksisitenin indüklenip doz arttıkça hasarın azalma sebebi olarak NP'lerin çökerek kümeleşmesi sonucu partikül boyutunun artması ile hücreye girişinin zorlaşmasından ve kümeleşmeye bağlı olarak yüzey alanının azalması etkinliğinin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1 mM'da meydana gelen etki de Fe₂O₃ NP'lerinin geniş yüzey alanından dolayı yüksek miktarda Fe²⁺ / Fe³⁺ iyonu oluşması ile açıklanabilir. Serbest kalan iyonlar, farklı serbest radikallerin oluşumuna neden olabilmektedir. Demir iyonlarının salınması ile hücre zarları hasara uğrayabilir ve lipitleri, proteinleri ve DNA'yı oksitleyerek aşırı ROS üretimine yol açabilmektedir (Horie vd., 2012; Abakumov vd., 2018).

Literatürdeki Fe₂O₃ NP'leri ile ilgili çalışmalara bakıldığında çalışmamızı destekler nitelikte yayınlar bulunmaktadır. Yousef vd. (2019) yetişkin erkek Wistar ratları ile yaptıkları araştırma sonucunda Fe₂O₃ NP'lerinin belirgin DNA kırıklarına, mtTFA (mitokondriyal transkripsiyon faktörü A)'nın aşağı doğru-regülasyonuna, PGC-1α (peroksizom çoğaltıcı ile aktive olan reseptör gama koaktivatör 1-alfa) ifadesinin yukarı doğru-regülasyonuna, asetilkolin esteraz, norepinefrin, serotonin, dopamin ve antioksidan enzimlerinde düşüşe, lipit peroksidasyonu, nitrik oksit, tümör

baskılayıcı gen p53, tümör nekroz faktörü- α , interlökin-6, asetilkolin ve norepinefrinde artışına neden olarak farklı yollarla nörotoksisite ve inflamasyona neden olduğunu saptamışlardır. **Wu vd. (2012)** yaptıkları çalışmada *Caenorhabditis elegans* üzerinde DMSA (dimerkaptosüksinik asit) kaplı Fe₂O₃ NP'lerinin gelişim ve davranış hareketleri üzerine etkileri ve ROS üretimine etkisini araştırmışlardır. L4 evre larvalara 24 saat maruziyetten ve L1 evreden erişkinliğe kadar süren maruziyetten sonra sırasıyla 50 μ g/L ve 500 μ g/L'nin üzerindeki konsantrasyonlarda nematodlar üzerinde gelişim, üreme ve hareket davranışlarında bozukluklara ve ROS üretiminde artışa yol açtığını saptamışlardır. Fe₂O₃ NP'lerinin sitotoksik ve genotoksik etkilerinin araştırıldığı başka bir çalışmada 28 gün boyunca haftada 1 kez maruz bırakılan Wistar ratlarında antioksidan enzim aktivitesinin (SOD, katalaz (CAT) ve GSH) doza bağlı inhibisyonuna ve malondialdehit seviyesinde doza bağlı artışa yol açarak oksidatif strese yol açtığı bulunmuş ancak bizim çalışmamızın aksine KOMET yöntemi ile önemli bir DNA hasarına yol açmadığını bulmuşlardır (**Gaharwar ve Paulraj, 2015**). **Alarifi vd. (2014)** insan meme kanseri hücrelerinde MTT ([3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolium bromid]) testi, laktat dehidrogenaz (LDH) testi ve KOMET yöntemi ile Fe₂O₃ NP'lerinin etkilerini araştırdıkları çalışmada konsantrasyon ve zamana bağlı olarak ROS üretiminde ve lipit peroksidasyonunda artış ve SOD, GSH ve CAT aktivitelerinde azalma ile oksidatif stresin indüklendiğini bulmuşlardır. Benzer şekilde KOMET yöntemi sonucuna göre DNA hasarında doza ve zamana bağlı artışın olduğu ve kaspaz-3 aktivitesinin indüklendiğini göstermişler böylece DNA hasarının oksidatif stres kaynaklı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. **Sadeghi vd. (2015a)** çalışmalarında HepG2 (insan karaciğer kanseri) hücre hattı üzerinde Fe₂O₃ NP'lerinin MTT ve LDH testleri ile sitotoksik etkisini araştırmışlar ve hücre canlılığının doza bağlı bir şekilde azaldığını ve ROS üretiminin arttığını saptamışlardır ayrıca fosforile H2AX (H2A ailesinden bir tür histon proteini) ölçümü ile DNA hasarı değerlendirilmiş doza ve zaman bağlı olarak DNA kırıklarında önemli düzeyde artışın olduğunu bulmuşlardır. **Wang vd. (2010)** erkek Wistar ratlarında inhalasyon yolu ile Fe₂O₃ NP'lerine maruziyetin etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 3 gün boyunca günde iki kez 8.5 mg/kg maruziyet gerçekleştirmişler ve alanin aminotransferaz, aspartat aminotransferaz, alkalın fosfataz, toplam protein, kreatin kinaz ve laktat dehidrogenaz seviyelerinde önemli ölçüde azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca karaciğer ve akciğer

dokularında ciddi hasara neden olduğunu saptamışlardır. **Singh vd. (2013)** dişi Wistar ratlarında 30 nm ve kalıp (bulk) formdaki Fe₂O₃ NP'lerinin 500, 1000, 2000 mg/kg maruziyeti sonucunda genotoksik etkilerini araştırdıkları çalışmada her iki Fe₂O₃ NP'lerinin de lökositlerde KOMET, periferik kan hücrelerinde MN ve kemik iliği hücrelerinde kromozom anormallikleri (CA) testi sonuçlarına göre tüm dozlarda istatistiksel olarak DNA hasarında artışa yol açmadığını saptamışlar ve bizim çalışmamızın aksine genotoksik potansiyelinin olmadığını tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada yetişkin erkek Wistar ratlarında inhalasyon yolu ile Fe₂O₃ NP'lerinin akciğer dokusu üzerine etkileri araştırılmıştır ve doza bağlı olarak akciğer dokusunda serbest radikallerin belirgin şekilde arttığını ve GSH'nin azaldığını saptamışlardır. Ayrıca histolojik çalışmalar sonucunda da akciğerlerde amfizem, interstisyel hipertermi ve inflamasyonun oluştuğunu bulmuşlardır (**Sadeghi vd., 2015b**). Daha önceki çalışmalarla bu çalışmadan elde edilen bazı sonuçlardaki farklılıklar, çalışılan dozların aynı olmaması ve kullanılan farklı model organizmalar nedeni ile olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen veriler iki farklı nano boyuta ve şekle sahip Fe₂O₃ NP'lerinin genotoksik etkilerinin karşılaştırılması bakımından da ayrı bir öneme sahiptir.

4. Sonuç

Nanoteknoloji endüstrisi yaşam kalitesini yükseltmek için her geçen gün yeni ürünler ortaya koyarken bu ürünlerin yaratabileceği potansiyel toksisitesinin de araştırılmasının önemi göz önünde bulundurulmalıdır. Genotoksisite çalışmaları sırasında yapılan testler farklı prensiplere dayanmaktadır. Sonuç olarak, farklı test sistemleri farklı sonuçlar sunabilir. Bu nedenle nanopartiküllerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini ve oluşabilecek genotoksisitenin etki mekanizmalarının aydınlatılması bakımından daha fazla çalışmanın yapılması önemli olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma FBG-2019-4977 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan Fe₂O₃ NP'leri Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 13.FENBİL.22 numaralı projeden temin edilmiştir.

Kaynaklar

- Abakumov, M.A., Semkina, A.S., Skorikov, A.S., Vishnevskiy, D.A., Ivanova, A.V., Mironova, E., Davydova, G.A., Majouga, A.G. and Chekhonin, V.P. (2018). Toxicity of iron oxide nanoparticles: Size and coating effects. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 32(12), e22225. <https://doi.org/10.1002/jbt.22225>.
- Alaraby, M., Annangi, B., Marcos, R. and Hernández, A. (2016). *Drosophila melanogaster* as a suitable in vivo model to determine potential side effects of nanomaterials: A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 19(2), 65-104. <https://doi.org/10.1080/10937404.2016.1166466>.
- Alarifi, S., Ali, D., Alkahtani, S. and Alhaber, M.S. (2014). Iron oxide nanoparticles induce oxidative stress, DNA damage, and caspase activation in the human breast cancer cell line. *Biological Trace Element Research*, 159, 416-424. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9972-0>.
- Bai, C. and Tang, M. (2020). Toxicological study of metal and metal oxide nanoparticles in zebrafish. *Journal of Applied Toxicology*, 40(1), 37-63. <https://doi.org/10.1002/jat.3910>.
- Carmona, E.R., Inostroza-Blancheteau, C., Rubio, L. and Marcos, R. (2015). Genotoxic effects of copper oxide nanoparticles in *Drosophila melanogaster*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 791, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2015.07.006>.
- Carmona, E.R., Inostroza-Blancheteau, C., Rubio, L. and Marcos, R. (2016). Genotoxic and oxidative stress potential of nanosized and bulk zinc oxide particles in *Drosophila melanogaster*. *Toxicology and Industrial Health*, 32(12), 1987-2001. <https://doi.org/10.1177/0748233715599472>.
- Caro, C., Egea-Benavente, D., Polvillo, R., Royo, J.L., Leal, M.P. and Garcia-Martin, M.L. (2019). Comprehensive toxicity assessment of PEGylated magnetic nanoparticles for in vivo applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 177, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.01.051>.
- Dahman, Y. (2019). *Biomaterials science and technology fundamentals and developments* (Vol. 1). Boca Raton: CRC Press.
- Demir, E., Aksakal, S., Turna, F., Kaya, B. and Marcos, R. (2015). In vivo genotoxic effects of four different nano-sizes forms of silica nanoparticles in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Hazardous Materials*, 283, 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.029>.
- Dlugosz, O., Szostak, K., Staron, A., Pulit-Prociak, J. and Banach, M. (2020). Methods for reducing the toxicity of metal and metal oxide NPs as biomedicine. *Materials*, 13(2), 279. <https://doi.org/10.3390/ma13020279>.
- Dong, L., Tang, S., Deng, F., Gong, Y., Zhao, K., Zhou, J., Liang, D., Fang, J., Hecker, M., Giesy, J.P., Bai, X. and Zhang, H. (2019). Shape-dependent toxicity of alumina nanoparticles in rat astrocytes. *Science of the Total Environment*, 690, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.532>.
- Gaharwar, U.S. and Paulraj, R. (2015). Iron oxide nanoparticles induced oxidative damage in peripheral blood cells of rat. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 8(4), 274-286. <https://doi.org/10.4236/jbise.2015.84026>.
- Güneş, M., Yalçın, B., Ertuğrul, H. and Kaya, B. (2018). Ascorbic acid ameliorates genotoxic effects of cobalt nanoparticles and cobalt chloride in in vivo *Drosophila* assays. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 2380-2391.
- Ertuğrul, H., Yalçın, B., Güneş, M. and Kaya, B. (2020). Ameliorative effects of melatonin against nano and ionic cobalt induced genotoxicity in two in vivo *Drosophila* assays. *Drug and Chemical Toxicology*, 43(3), 279-286. <https://doi.org/10.1080/01480545.2019.1585444>.
- Honary, S. and Zahir, H. (2013). Effect of zeta potential on the properties of nano-drug delivery systems- a review (Part 2). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 265-273. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v12i2.20>.
- Horie, M., Fujita, K., Kato, H., Endoh, S., Nishio, K., Komaba, L.K., Nakamura, A., Miyauchi, A., Kinugasa, S., Hagihara, Y., Niki, E., Yoshida, Y. and Iwahashi, H. (2012). Association of the physical and chemical properties and the cytotoxicity of metal oxide nanoparticles: metal ion release, adsorption ability and specific surface area. *Metallomics*, 4(4), 350-360. <https://doi.org/10.1039/c2mt20016c>.
- Irving, P., Ubeda, J.M., Doucet, D., Troxler, L., Lagueux, M., Zachary, D., Hoffmann, J.A., Hetru, C. and Meister, M. (2005). New insights into *Drosophila* larval haemocyte functions through genome-wide analysis. *Cellular Microbiology*, 7(3), 335-350. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2004.00462.x>.
- Johnston, B.D., Scown, T.M., Morger, J., Cumberland, S.A., Baalousha, M., Linge, K., van Aerle, R.,

- Jarvis, K., Lead, J.R. and Tyler, C.R. (2010). Bioavailability of nanoscale metal oxides TiO₂, CeO₂, and ZnO to fish. *Environmental Science and Technology*, 44(3), 1144–1151. <https://doi.org/10.1021/es901971a>.
- Ju-Nam, Y. and Lead, J.R. (2008). Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Science of The Total Environment*, 400(1-3), 396–414. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.042>.
- Karlsson, H.L., Di Bucchianico, S., Collins, A.R. and Dusinska, M. (2015). Can the comet assay be used reliably to detect nanoparticle-induced genotoxicity? *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 56(2), 82-96. <https://doi.org/10.1002/em.21933>.
- Karlsson, H.L. (2010). The comet assay in nanotoxicology research. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 398(2), 651-666. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3977-0>.
- Katz, E. (2019). Synthesis, properties and applications of magnetic nanoparticles and nanowires—A brief introduction. *Magnetochemistry*, 5(4), 61. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry5040061>.
- Kumari, M., Kumari, S.I. and Grover, P. (2014). Genotoxicity analysis of cerium oxide micro and nanoparticles in Wistar rats after 28 days of repeated oral administration. *Mutagenesis*, 29(6), 467–479. <https://doi.org/10.1093/mutage/geu038>.
- Ma, H., Diamond, S., Hinkley, G. and Roberts, S.M. (2015). *Nanotoxicology*. Roberts, S.M., James, R.C., Williams, P.L. (Ed.), Principles of Toxicology Environmental and Industrial Applications (s. 359-372)., Canada: John Wiley and Sons.
- PubMed. (2020, 31 Ekim). Iron oxide nanoparticle, Results by year. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=iron+oxide+nanoparticles>.
- Reiter, L.T., Potocki, L., Chien, S., Gribskov, M. and Bier, E. (2001). A systematic analysis of human disease-associated gene sequences in *Drosophila melanogaster*. *Genome Research*, 11(6), 1114-1125. <https://doi.org/10.1101/gr.169101>.
- Rosenkranz, P., Fernández-Cruz, M.L., Conde, E., Ramírezfernández, M.B., Flores, J.C., Fernández, M. and Navas, J.M. (2012). Effects of cerium oxide nanoparticles to fish and mammalian cell lines: An assessment of cytotoxicity and methodology. *Toxicology in vitro*, 26(6), 888–896. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2012.04.019>.
- Sadeghi, L., Tanwir, F. and Babadi, V.Y. (2015a). In vitro toxicity of iron oxide nanoparticle: Oxidative damages on HepG2 cells. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 67(2), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2014.11.010>.
- Sadeghi, L., Yousefi Babadi, V. and Espanani, H.R. (2015b). Toxic effects of the Fe₂O₃ nanoparticles on the liver and lung tissue. *Bratislavske Lekarske Listy*, 116(6), 373 – 378. https://doi.org/10.4149/BLL_2015_071.
- Scherer, M.D., Sposito, J.C.V., Falco, W.F., Grisolia, A.B., Andrade, L.H.C., Lima, S.M., Machado, G., Nascimento, V.A., Gonçalves, D.A., Wender, H., Oliveira, S.L. and Caires, A.R.L. (2019). Cytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles on meristematic cells of *Allium cepa* roots: A close analysis of particle size dependence. *Science of the Total Environment*, 660, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.444>.
- Sukhanova, A., Bozrova, S., Sokolov, P., Berestovoy, M., Karaulov, A. and Nabiev, I. (2018). Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties. *Nanoscale Research Letters*, 13(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2457-x>.
- Shukla, A.K., Pragma, P. and Chowdhuri, D. (2011). A modified alkaline Comet assay for in vivo detection of oxidative DNA damage in *Drosophila melanogaster*. *Mutation Research*, 726(2), 222-226. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.09.017>.
- Singh, A.K. (2016a). Structure, synthesis, and application of nanoparticles. Singh, A.K. (Ed.), *Engineered Nanoparticles Structure-Properties and Mechanisms of Toxicity* (s. 19-76). USA: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801406-6.00002-9>.
- Singh, A.K. (2016b). Mechanisms of nanoparticle toxicity. Singh, A.K. (Ed.), *Engineered Nanoparticles Structure-Properties and Mechanisms of Toxicity* (s. 295-341). USA: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801406-6.00007-8>.
- Singh, N., Manshian, B., Jenkins, G.J.S., Griffiths, S.M., Williams, P.M., Maffei, T.G.G, Wright, C.J. and Doak, S.H. (2009). NanoGenotoxicology: The DNA damaging potential of engineered nanomaterials. *Biomaterials*, 30(23-24), 3891–3914. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.04.009>.
- Singh, S.P., Rahman, M.F., Murty, U.S.N. and Grover, P. (2013). Comparative study of genotoxicity and tissue distribution of nano and micron sized iron

- oxide in rats after acute oral treatment. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 266(1), 56–66.
<https://doi.org/10.1016/j.taap.2012.10.016>.
- Wang, L., Wang, L., Ding, W. and Zhang, F. (2010). Acute toxicity of ferric oxide and zinc oxide nanoparticles in rats. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(12), 8617–8624.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2483>.
- Wu, Q., Li, Y., Tang, M. and Wang, D. (2012). Evaluation of environmental safety concentrations of DMSA coated Fe₂O₃-NPs using different assay systems in nematode *Caenorhabditis elegans*. *Plos One*, 7(8), e43729.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043729>.
- Xia, T., Kovochich, M., Liong, M., Mädler, L., Gilbert, B., Shi, H., Yeh, J.I., Zink, J.I. and Nel, A.E. (2008). Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties. *ACS Nano*, 2(10), 2121-2134.
<https://doi.org/10.1021/nn800511k>.
- Yousef, M.I., Abuzreda, A.A. and El-Nabi Kamel, M.A. (2019). Neurotoxicity and inflammation induced by individual and combined exposure to iron oxide nanoparticles and silver nanoparticles. *Journal of Taibah University for Science*, 13(1), 570-578.
<https://doi.org/10.1080/16583655.2019.1602351>.

5G aday frekans bandında 4-Portlu MIMO antenin geliştirilmesi

Development of 4-Port MIMO antenna in the 5G candidate frequency band

Mehmet Ali ÖZASLAN*^{1,a}

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53000, Rize

• Geliş tarihi / Received: 26.05.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.04.2021

Öz

Bu çalışmada, 5G aday frekans bandında 4-portlu masif Çoklu-Giriş-Çoklu-Çıkış (Multiple-Input-Multiple-Output, MIMO) anten tasarımı geliştirilmiştir. MIMO anten yapısı, bir dikdörtgen, bir daire ve bir zemin düzleminden oluşmaktadır. MIMO anten boyutu 35x50x0.76mm³'tür. Antenin bant genişliği S11 parametresine göre 1.1GHz olarak bulunmuştur. Bant genişliği bu anten için yüksek olup ideal değere sahiptir. MIMO antenin aktif yansıma katsayıları maksimum -14.5dB civarlarında ve zarf korelasyon katsayıları ise 0.017'den daha küçük bulunmuştur. Antenin 24GHz'de maksimum verimlilik değeri %94.50, 27GHz'de %91.81 ve 28GHz'de %81.81 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen 4-portlu MIMO antenin radyasyon değerleri normalize edilmiş değerlerdir. Antenin tasarımı ve analizi ANSYS HFSS® bilgisayar benzetimi kullanılarak tamamlanmıştır. İncelenen frekans değerleri 5G teknolojisi için lisanslanmış aday frekans değerleridir. Tasarlanan antenden bulunan kazanç değerleri 24GHz'de 12.70dB, 27GHz'de 13.05dB ve 28GHz'de 10.48dB olarak bulunmuştur. Bulunan kazanç değerleri 4-portlu MIMO anten için önemli değerlere sahiptir.

Anahtar kelimeler: 24GHz, 5G, 6GHz, Anten kazancı, MIMO i

Abstract

In this study, 4 port massive Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) antenna design has been developed in the 5G candidate frequency band. The MIMO antenna structure consists of a rectangle, a circle, and a ground plane. MIMO antenna size is 35x50x0.76mm³. According to the S11 parameter, the bandwidth of the antenna was found to be 1.1GHz. The bandwidth is high for this antenna and has an ideal value. The active reflection coefficients of the MIMO antenna were maximum -14.5dB and the envelope correlation coefficient was less than 0.017. The maximum efficiency of the antenna at 24GHz is 94.50%, 91.81% at 27GHz and, 81.81% at 28GHz. The radiation values of the developed 4-port MIMO antenna are normalized values. The design and analysis of the antenna was completed using ANSYS HFSS® computer simulator. The frequency values investigated are candidate frequency values licensed for 5G technology. The gain values from the designed antenna are 12.70B at 24GHz, 13.05dB at 27GHz and, 10.48dB at 28GHz. The gain values found have important values for the 4-port MIMO antenna.

Keywords: 24GHz, 5G, 6GHz, Antenna gain, MIMO

*a Mehmet Ali ÖZASLAN; ma.ozaslann@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8721-601X

1. Giriş

MIMO, öngörülen avantajı sağlamak için çok yollu ortamlar gerektirir. Birden fazla veri akışı göndererek, sistemin güvenilirliğini ve veri hızlarını önemli ölçüde artırmaktadır (Sharawi, 2017). MIMO’da, vericideki çoklu antenlerden birden fazla veri akışı gönderilir ve alıcı ucundaki birden fazla anten tarafından alınır (Rajo-Iglesias ve Sharawi, 2016). 5G teknolojisinin önemli bir parçası olan MIMO, kullanıcılara yüksek veri hızları sunmak için geliştirilmiş bir teknolojidir. Eş zamanlı çoklu iletim için, verici ve alıcı kısımlarında çoklu anten sistemleri gereklidir. Bununla beraber neredeyse 6GHz altı frekans bantları için spektrum dolmuştur. Bundan dolayı 5G’de yüksek frekanslara çıkılması amaçlanmıştır. Yüksek frekans değerlerine çıkılması, dalga boyunun küçüleceği anlamına gelir. Dalga boyu ile anten boyu arasında bir ilişki söz konusudur. Bu, tasarlanan antenin boyutunun küçüleceğini yani milimetre seviyelerine düşeceği anlamına gelir. 5G’nin altyapısı diğer kablosuz teknolojilerin altyapısından oldukça farklı olduğundan dolayı MIMO antenlerin baştan tasarlanması gerekir. Milimetre dalga anten tasarlamak oldukça zor bir iştir (Manan vd., 2019).

İlk etapta, birkaç kablosuz cihazın aynı anda çalışması için 5G uygulamalarında daha geniş bant genişliği gereksinimi gereklidir. Ayrıca, yüksek frekanslarda zayıflama arttığından ve buna bağlı olarak emilim etkileri de artacağından dolayı bu parametreler önemlidir. Bu nedenle, daha yüksek iletim kapasitesine ek olarak mm-dalga frekanslarındaki artan atmosferik zayıflamaları hesaba katmak için yüksek kazanç elde etmek esastır (Perić vd., 2016; Shayea vd., 2018; Nandi ve Maitra, 2018). Kompaktlık milimetre dalga frekanslarında önemli bir gereksinimdir. Bu

nedenle antenin boyutunu küçük tutmak gerekir. Standart MIMO ağları, tek bir fiziksel pakette iki veya dört anten kullanma eğilimindedir (Ojaroudi Parchin vd., 2019). 5G teknolojisi günümüzdeki akıllı telefonlarda kullanılmaya başlandı. Fakat teorik olarak hesaplanan değerlere henüz ulaşılammıştır. Bundan dolayı mobil telefonlarda kullanılan antenin kazanç değerine odaklanmak doğru bir yaklaşım olabilir. Bundan dolayı antenin kazanç değerleri üzerinde durulması tercih edilmiştir. Böylece yüksek frekanslarda ilerleyen sinyaller (örneğin 24GHz) alıcıya ulaştığında daha güçlü ve daha temiz sinyaller elde edilebilir. Bu durum da hem konuşma kalitesini artırırken hem de internet kalitesini artırır.

Bu çalışmada, 5G cihazlar için, düşük profilli bir 4-portlu MIMO anten dizisi önerilmiştir. MIMO anten sisteminin elemanları, bir dikkörtgen ve daha geniş iletim taşıma kapasitesine sahip dairesel bir yama antenidir. Burada seçilen dikkörtgensel ve dairesel yapının amacı, daha yüksek kazançlar elde etmek içindir. Önerilen anten, 1.1GHz geniş bant genişliğinde önemli miktarda kazanç sergilemektedir. MIMO anten tasarımının S parametreleri, verimliliği, radyasyon paterni, zarf korelasyon katsayısı (Envelope Correlation Coefficient, ECC), toplam aktif yansıma katsayısı (Total Active Reflection Coefficient, TARC) açısından incelenmiştir. İncelenen frekans değerleri 5G teknolojisi için lisanslanmış aday frekans değerleridir. Bundan dolayı bu frekans değerlerine yoğunlaşmıştır.

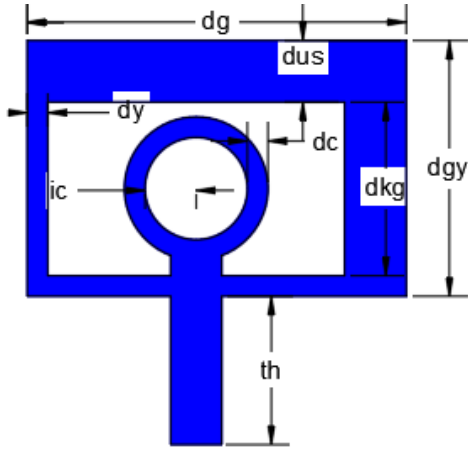
2. Materyal ve metot

Anten tasarımı, Şekil 1’de tek elemanlı anten, Şekil 2’de iki elemanlı anten ve Şekil 3’te 35x50x0.76mm³ dielektrik malzeme üzerine yerleştirilen 4-portlu MIMO anten sistemi gösterilmiştir.

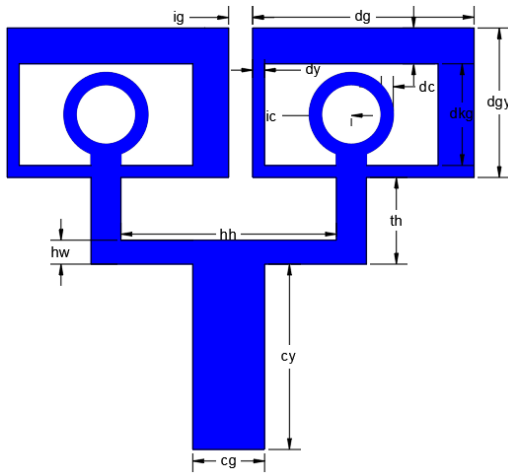
Tablo 1. Tasarlanan MIMO antenin milimetre (mm) cinsinden parametre değerleri.

Parametre	Değer (mm)	Parametre	Değer (mm)	Parametre	Değer (mm)
cg	1.2	th	1.45	dg	3.7
cy	3.1	dkg	1.7	dy	0.2
hw	0.4	dgy	2.5	dc	0.2
hh	3.6	dus	0.6	ic	0.5
ig	0.4				

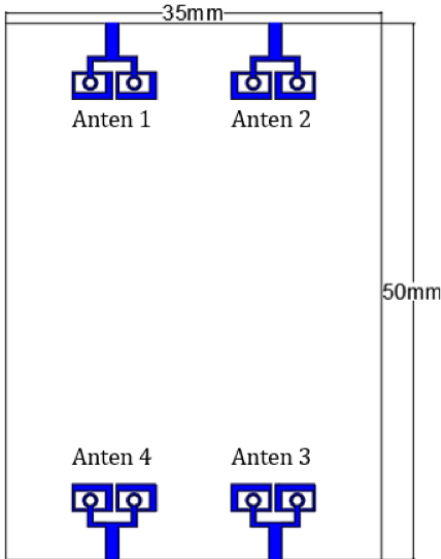
Tablo 1’de tasarlanan MIMO antenin bir elemanlı ve iki elemanlı boyutları mm cinsinden verilmiştir.



Şekil 1. Tek elemanlı anten yapısı ve ebatları



Şekil 2. İki elemanlı anten ve boyutları



Şekil 3. 35x50 mm² dielektrik malzeme üzerine yerleştirilen 4-portlu MIMO anten sistemi

Geliştirilen antenin benzetimleri 24GHz, 27GHz ve 28GHz olmak üzere üç farklı frekans bandında

gerçekleştirilmiştir. Antende, Rogers RT/duroid 5880 dielektrik malzemesi kullanılmıştır ve bağlı dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 2.2$ olarak belirlenmiştir. Dielektrik tanjant kaybı 0.0009'dur ve kalınlığı 0.76mm olarak belirlenmiştir. Ana port besleme empedans değeri 50Ω ve port giriş güçleri 1W'tır. Dielektrik malzemenin altındaki yüzey (*ground panel*) $35 \times 50 \times 0.3 \text{mm}^3$ ebatlarında bakır panel ile, tek elemanlı antenin yüzeyi $3.7 \times 4.15 \times 0.15 \text{mm}^3$ ebatlarında bakır panel ile ve iki elemanlı antenin yüzeyi $7.8 \times 7.05 \times 0.15 \text{mm}^3$ ebatlarında bakır panel ile kaplanmıştır. Ayrıca MIMO antenin, ECC ve TARC değerleri de çıkarılmıştır.

2.1 Zarf korelasyon katsayısı (*Envelope correlation coefficient, ECC*)

ECC, MIMO sistemlerinin temel başaram parametrelerinden biridir (Sharawi, 2013) ve Denklem (1) (Ojaroudi Parchin vd., 2019) kullanılarak hesaplanır.

$$ECC = \frac{|S_{mm}^* S_{nm} + S_{mn}^* S_{nn}|^2}{(1 - |S_{mm}|^2 - |S_{mn}|^2)(1 - |S_{nm}|^2 - |S_{nn}|^2)} \quad (1)$$

ECC değerinin, genel anten modülünde pratik standardının 0.5'in altında olması gerekir (Khalid vd., 2020).

2.2 Toplam aktif yansımaya katsayısı (*Total active reflection coefficient, TARC*)

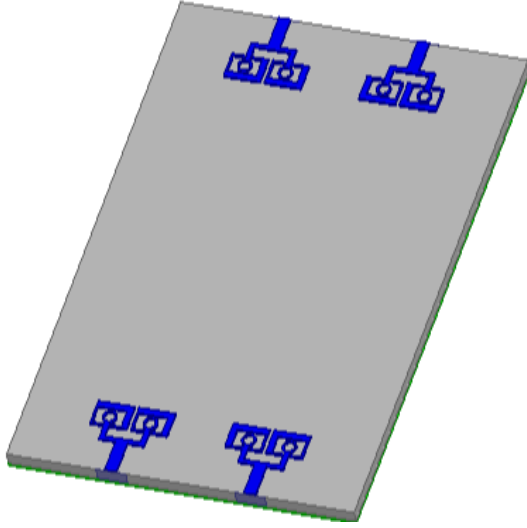
Toplam aktif yansımaya katsayısı, özellikle MIMO anten sistemlerinde, çok portlu antenlerin geri dönüş kaybı olarak tanımlanabilir (Marzudi vd., 2014) ve Denklem (2) kullanılarak hesaplanır.

$$TARC = -\sqrt{\frac{(S_{mm} + S_{mn})^2 + (S_{nm} + S_{nn})^2}{2}} \quad (2)$$

Buradaki S ifadesi S parametre değerlerinden gelmektedir. $m = 1, 2, 3, \dots$ ve $n = 1, 2, 3, \dots$ şeklinde devam etmektedir.

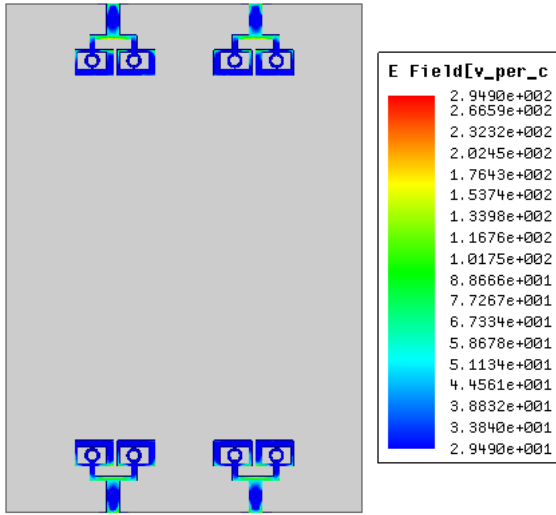
3. Bulgular ve tartışma

ANSYS HFSS® bilgisayar simülatörü sonuçlarına göre geliştirilen MIMO antenin kazancı en yüksek 27GHz frekans bandında olup, bu değer 13.05dB olarak elde edilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen MIMO anten, 5G mobil cep telefonlarında, 5G Wi-Fi cihazlarında ve akıllı kol saatlerinde (2 elemanlı versiyonu) kullanılabilir.

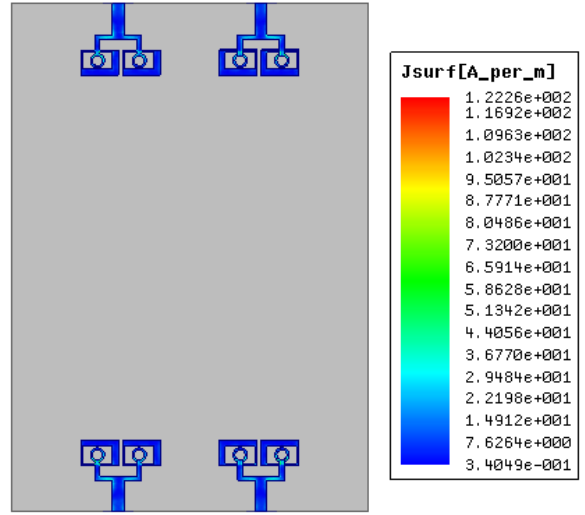


Şekil 4. Geliştirilen MIMO antenin üç boyutlu (3B) hali

Şekil 4'te 4-portlu MIMO antenin üç boyutlu tasarımı verilmiştir.

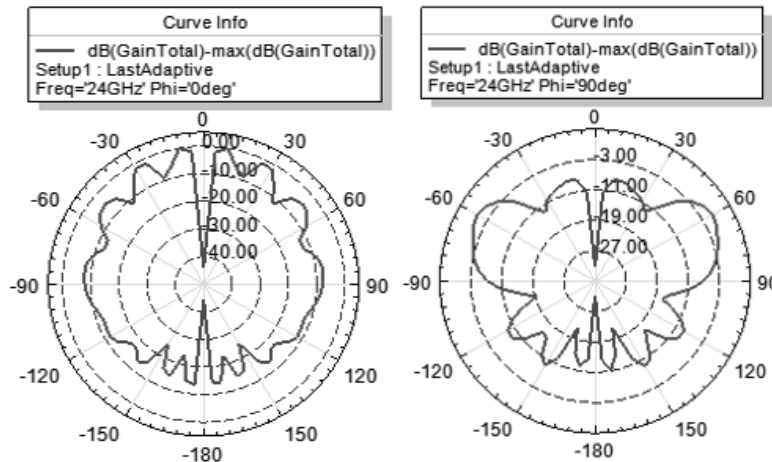


Şekil 5. 24GHz'de elektrik alan dağılımı

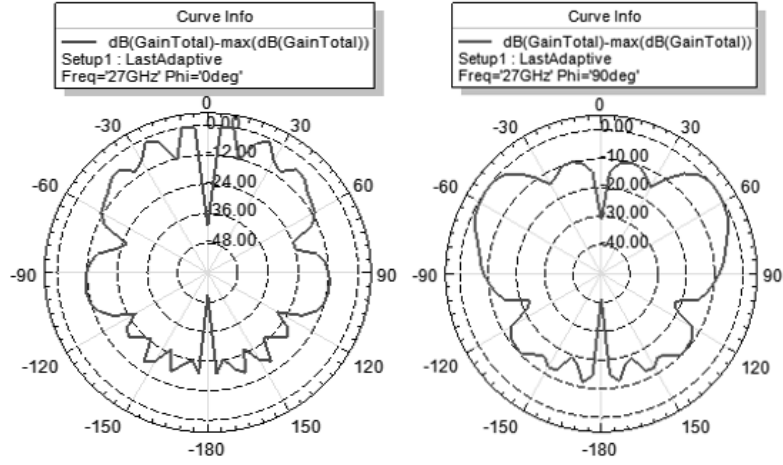


Şekil 6. 24GHz'de antenin yüzey akım dağılımı

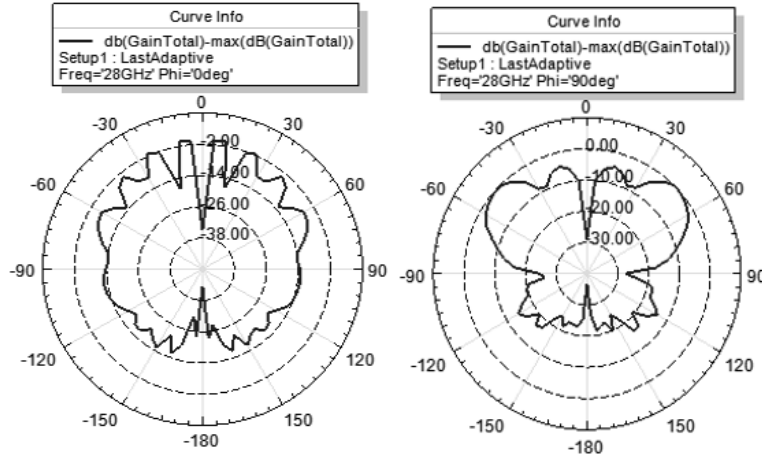
Şekil 5'te MIMO antenin elektrik alan dağılımı ve Şekil 6'da MIMO antenin yüzey akım dağılımları verilmiştir. Maksimum elektrik alan yoğunluğu 294 V/cm iken maksimum yüzey akım yoğunluğu ise 122 A/m olarak simüle edilmiştir. Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da 24GHz, 27GHz ve 28GHz frekans bantlarında normalize edilmiş ϕ açısı 0° ve 90° iken 4-portlu MIMO antenin oluşturduğu radyasyon paternleri gösterilmiştir. 24GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken 10° 'lik, ϕ açısı 90° iken -60° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.0247 dB ve -0.0287 dB, 27GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken -10° 'lik, ϕ açısı 90° iken -50° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.0897 dB ve -0.1 dB ve 28GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken -10° 'lik, ϕ açısı 90° iken 50° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.181 dB ve -0.0924 dB olarak gözlemlenmiştir.



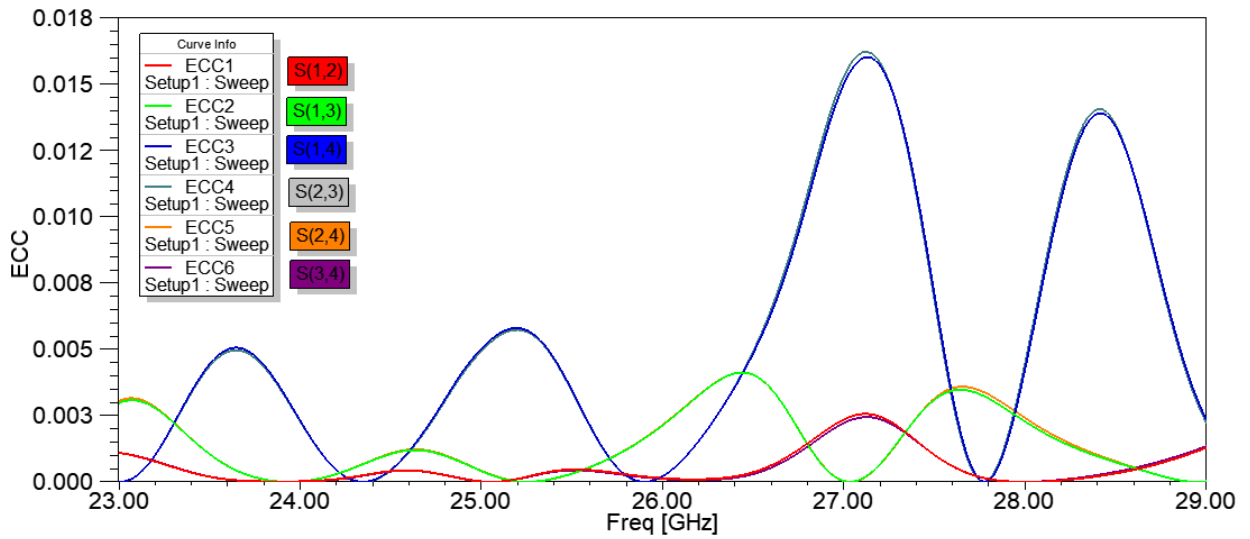
Şekil 7. Normalize edilen E-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\phi=90^\circ$) 24GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni



Şekil 8. Normalize edilen E-düzlemi ($\varphi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\varphi=90^\circ$) 27GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni



Şekil 9. Normalize edilen E-düzlemi ($\varphi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\varphi=90^\circ$) 28GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni

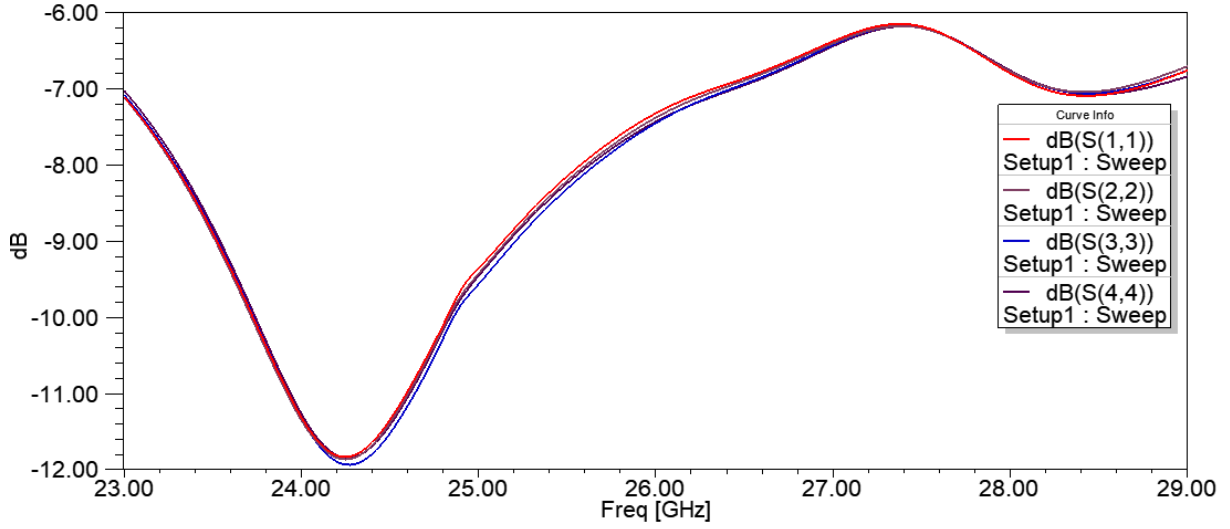


Şekil 10. Önerilen MIMO antenin S_{12} , S_{13} , S_{14} , S_{23} , S_{24} ve S_{34} zarf korelasyon katsayıları

Şekil 10'da önerilen MIMO anten dizisinin ECC grafiği frekans spektrumunda verilmiştir. Bütün

frekans bandında S parametrelerinin ECC katsayıları 0.017'den daha küçüktür. Bu durumda

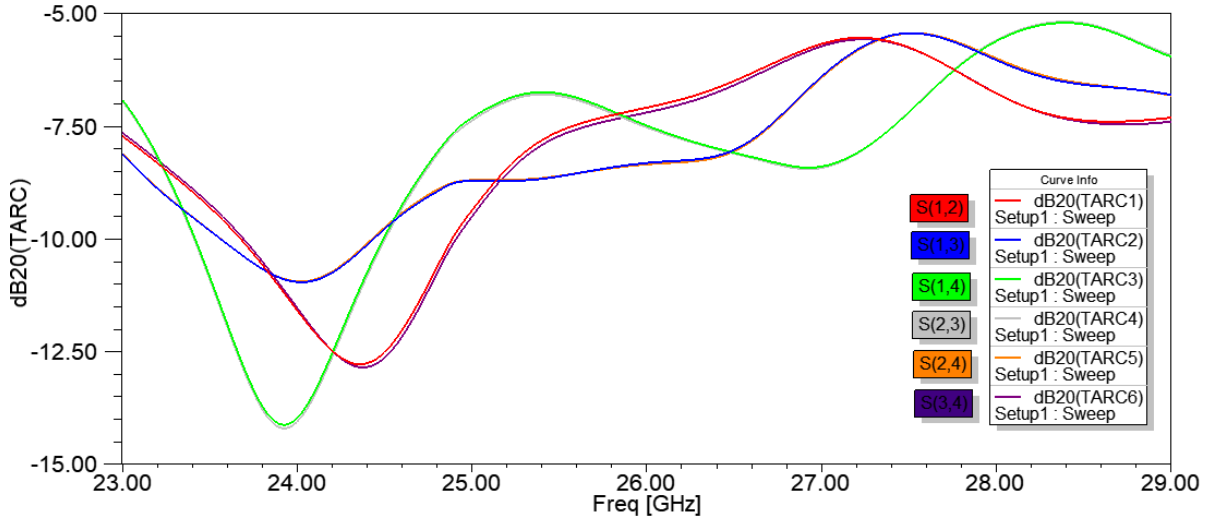
ECC katsayısı 0.5 değerinden çok çok düşük olduğundan, 4 anten elemanının da birbirlerinden ilgisiz olduğunu gösterir.



Şekil 11. Antenin S_{11} , S_{22} , S_{33} ve S_{44} parametre sonuçları

Şekil 11’de önerilen MIMO antenin S_{11} , S_{22} , S_{33} ve S_{44} parametre sonuçları frekans spektrumunda verilmiştir. Görüldüğü üzere 4 anten için de

parametre değerleri yakındır. Değerler negatif (-6dB ile -12dB arasında) olduğundan dolayı aynı zamanda iyi bir değere sahiptir.



Şekil 12. Önerilen MIMO antenin S_{12} , S_{13} , S_{14} , S_{23} , S_{24} ve S_{34} parametrelerinin aktif yansımaya katsayıları

Şekil 12’de önerilen MIMO anten dizisinin TARC grafiği frekans spektrumunda verilmiştir. TARC değerinin minimum değeri $S(2,3)$ parametresinde

olup 23.92GHz’dedir. Buradan, TARC ve ECC değerlerinin daha düşük kapasite kaybına ve daha iyi başarıma sahip oldukları söylenebilir.

Tablo 2. 5G aday frekanslarındaki tekli antenlerin kazançları, toplam MIMO anten kazancı, maksimum verimlilik ve maksimum yönelme değerleri

Çalışma Frekansı (GHz)	Anten n 1	Kazanç(dB)			Toplam Anten Kazancı (dB)	Maksimum Yönelme (dB)	Maksimum Verimlilik (%)
		Anten 2	Anten 3	Anten 4			
24	8.67	8.66	8.65	8.78	12.70	13.44	94.50
27	8.85	8.87	8.94	8.91	13.05	14.37	91.81
28	8.33	8.21	8.27	8.34	10.48	12.81	81.81

Tablo 2’de 5G için üç farklı aday frekans bantları ve bu bantlarda her bir antenin oluşturduğu kazanç, 4-portlu MIMO antenin oluşturduğu maksimum

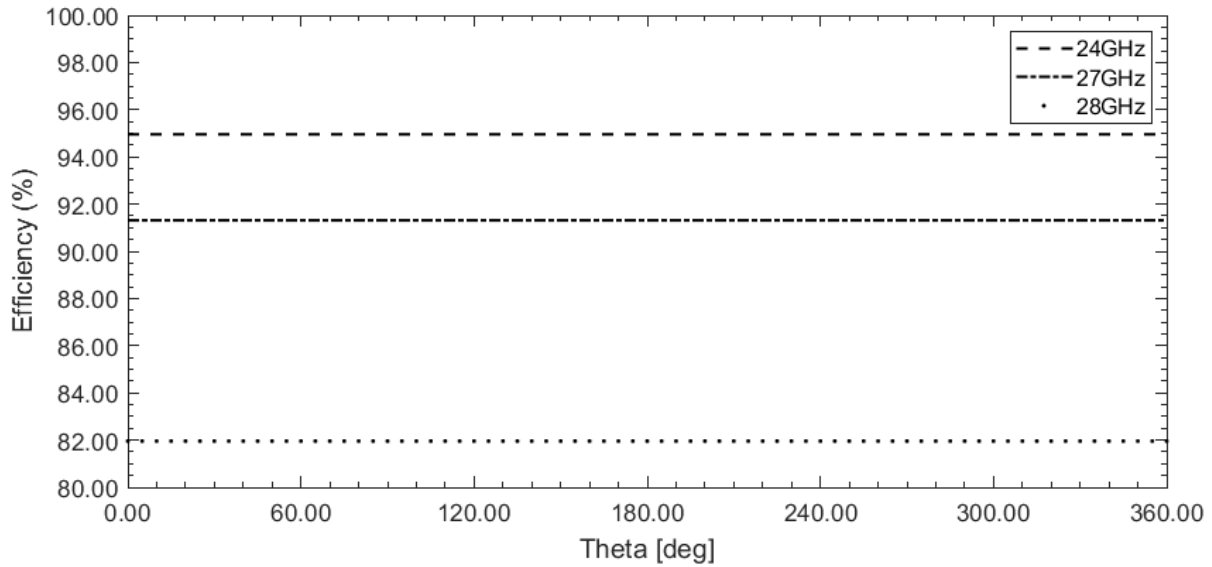
kazanç, maksimum verimlilik ve maksimum yönelme değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Literatürdeki çalışmalar ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması

Kaynak	Frekans (GHz)	Port Sayısı	Boyut (mm ³)	Bant Genişliği (GHz)	Kazanç (dBi)	Verimlilik (%)	ECC
[Ojaroudi Parchin vd., 2019]	3.6	8	150x75x1.6	1.2	2.5	60-80	<0.01
[Khalid vd., 2020]	28	4	30x35x0.76	4.1	8.3dB	82	<0.01
[Iqbal vd., 2019]	24	2	15x19x0.254	0.8	6	80.5	0.24
[Park vd., 2016]	28	4	Belirtilmemiş	1.5	7.41	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
[Sun ve Leung, 2016]	24	2	40x25x0.254	0.77	7.37	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
[Sharawi vd., 2017]	30	2	48x21x0.13	1	>7	80	<0.4
[Zhang vd., 2019]	28	2	20x20x0.254	0.85	8dB	Belirtilmemiş	0.013
[Shoaib vd., 2018]	24	8	31.2x31.2x1.57	5.68	7.86	78.9	0.04
[Bu Çalışma]	24	4	35x50x0.76	1.1	12.70	94.50	<0.017

Tablo 3’te, üzerinde çalışılan bütün frekans bantları incelendiğinde, bu çalışmada geliştirilen 4-portlu MIMO antenin diğer çalışmalardaki MIMO antenlere göre kazancının, verimliliğinin ve bazı

ECC değerine göre daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak tasarım gerçekleşmediğinden dolayı antendeki kazanç değerleri benzetim değerlerine yakın çıkmayabilir.



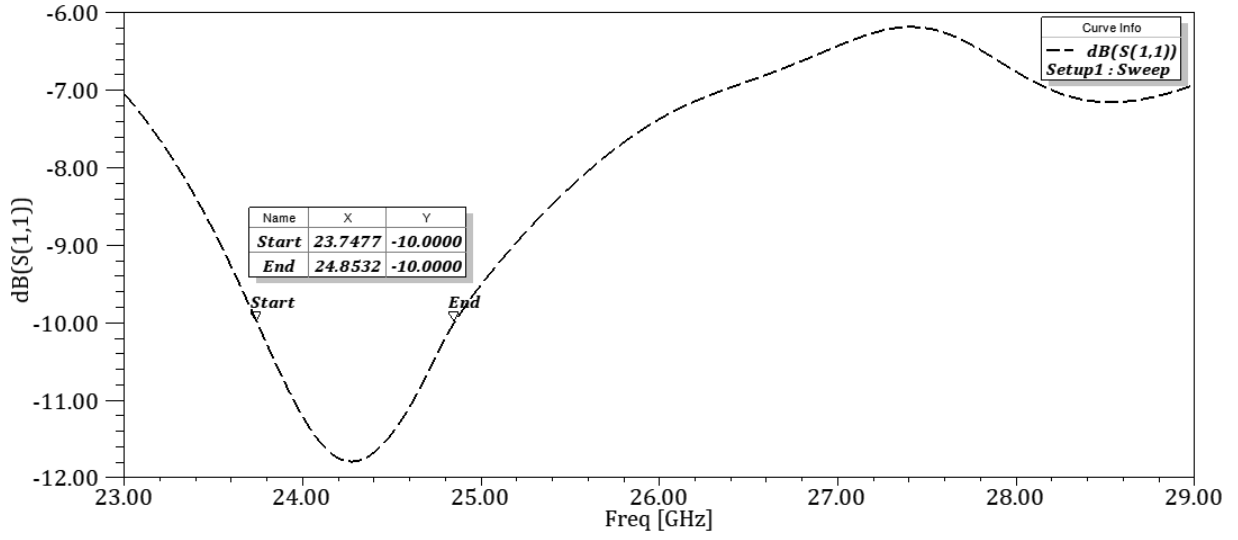
Şekil 13. 4-portlu MIMO antenin toplam maksimum verimliliği

Şekil 13’te 4-portlu MIMO antenin yüzdesel olarak toplam verimliliği gösterilmiştir. Verimlilik değeri bütün frekans spektrumunda incelendiğinde, verimlilik değeri en yüksek 24GHz frekansında olup, verimliliği %94.50’dir. Bu değer, geliştirilen MIMO anten iyi bir verimlilik değeridir. 27GHz’de verimlilik değeri %91.81 ve 28GHz’de verimlilik değeri %81.81 olarak bulunmuştur.

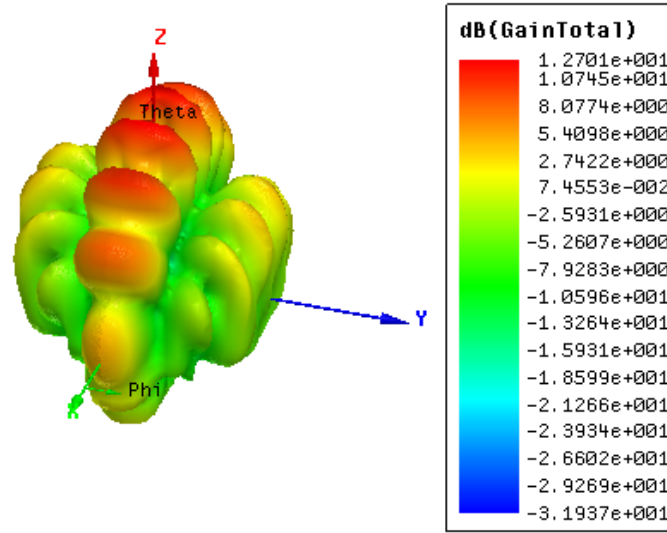
Şekil 14’te gösterildiği gibi $S_{11} \leq -10\text{dB}$ altında kalan frekans değerlerine göre yani 23.7GHz–

24.8GHz arasında olup, buradan bant genişliği 1.1GHz olarak bulunur.

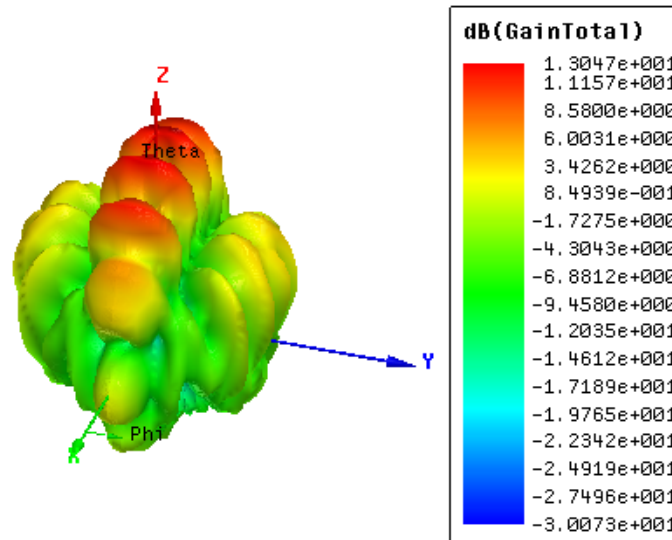
Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17’de geliştirilen MIMO antenin üç frekans bandında da dB olarak toplam kazanç değerlerinin 3B ışına dağılımları verilmiştir. Geliştirilen MIMO anten, en çok kazançta 27GHz’de, daha sonra 24GHz’de ve en az 28GHz’de sahiptir.



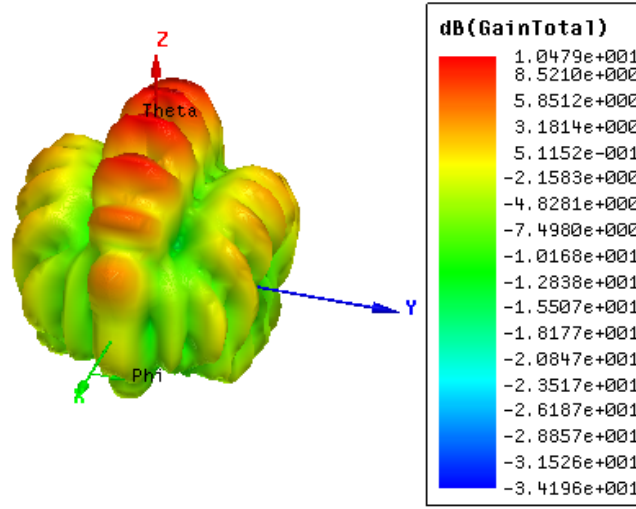
Şekil 14. MIMO antenin bant genişliği



Şekil 15. 24GHz için toplam anten kazancı 3B ışması



Şekil 16. 27GHz için toplam anten kazancı 3B ışması



Şekil 17. 28GHz için toplam anten kazancı 3B ışıması

4. Sonuçlar

Bu çalışmada 5G aday frekanslarında kullanılmak üzere 4-portlu MIMO anten tasarımı yapılmış ve incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 24GHz'de kazanç değeri 12.7dB olarak bulunmuştur. Böylece anten, bu frekans bandında veya bu frekansa yakın değerlerde çalışacağı düşünülmektedir. Antenin bant genişliği S_{11} parametresinden bulunmuştur ve planlanan 5G aday bant genişliği sınırları içerisinde çıktığı görülmüştür. Verimlilik bakımından da incelenen bu anten, 24GHz'de %94.50'lik bir oranla iyi bir anten modeli olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

- Iqbal, A., Basir, A., Smida, A., Mallat, N. K., Elfergani, I., Rodriguez, J. and Kim, S. (2019). Electromagnetic bandgap backed millimeter-wave MIMO antenna for wearable applications. *IEEE Access*, 7, 111135-111144. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933913>
- Khalid, M., Iffat Naqvi, S., Hussain, N., Rahman, M., Mirjavadi, S.S., Khan, M. J. and Amin, Y. (2020). 4-Port MIMO antenna with defected ground structure for 5G millimeter wave applications. *Electronics*, 9(1), 71. <https://doi.org/10.3390/electronics9010071>
- Manan, A., Naqvi, S. I., Azam, M. A., Amin, Y., Loo, J. and Tenhunen, H. (2019). MIMO Antenna array for mm-wave 5G smart devices. In 2019 22nd International Multitopic Conference (INMIC) (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INMIC48123.2019.9022757>
- Marzudi, W. N. N. W., Abidin, Z. Z., Muji, S. Z. M., Yue, M. and Abd-Alhameed, R. A. (2014).

Minimization of mutual coupling using neutralization line technique for 2.4 GHz wireless applications. <https://doi.org/10.17781/P001280>

- Nandi, D., and Maitra, A. (2018). Study of rain attenuation effects for 5G Mm-wave cellular communication in tropical location. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12(9), 1504-1507. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2017.1029>
- Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Alibakhshikenari, M., Ojaroudi Parchin, Y., Al-Yasir, Y. I., Abd-Alhameed, R. A. and Limiti, E. (2019). Mobile-phone antenna array with diamond-ring slot elements for 5G massive MIMO systems. *Electronics*, 8(5), 521. <https://doi.org/10.3390/electronics8050521>
- Park, J. S., Ko, J. B., Kwon, H. K., Kang, B. S. Park, B. and Kim, D. (2016). A tilted combined beam antenna for 5G communications using a 28-GHz band. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 1685-1688. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2523514>
- Perić, M. V., Perić, D. B., Todorović, B. M. and Popović, M. V. (2016). Dynamic rain attenuation model for millimeter wave network analysis. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(1), 441-450. <https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2624729>
- Rajo-Iglesias, E. and Sharawi, M. S. (2016). MIMO Antennas. in wideband, multiband, and smart reconfigurable antennas for modern wireless communications (pp. 145-175). IGI Global.
- Sharawi, M. S. (2013). Printed multi-band MIMO antenna systems and their performance metrics [wireless corner]. *IEEE Antennas and*

- Propagation Magazine, 55(5), 218-232. <https://doi.org/10.1109/MAP.2013.6735522>
- Sharawi, M. S. (2017). Advancements in MIMO antenna systems. *Developments in Antenna Analysis and Synthesis*.
- Sharawi, Mohammad S., Symon K. Podilchak, Mohamed T. Hussain, and Yahia MM Antar (2017). Dielectric resonator based MIMO antenna system enabling millimetre-wave mobile devices. *IET Microwaves, Antennas & Propagation* 11, (2), 287-293. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0457>
- Shayea, I., Rahman, T. A., Azmi, M. H. and Islam, M. R. (2018). Real measurement study for rain rate and rain attenuation conducted over 26 GHz microwave 5G link system in Malaysia. *IEEE Access*, 6, 19044-19064. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2810855>
- Shoaib, N., Shoaib, S., Khattak, R. Y., Shoaib, I., Chen, X. and Perwaiz, A. (2018). MIMO antennas for smart 5G devices. *IEEE Access*, 6, 77014-77021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876763>
- Sun, Y. X. and Leung, K. W. (2016). Substrate-integrated two-port dual-frequency antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(8), 3692-3697. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2565740>
- Zhang, Y., Deng, J. Y., Li, M. J., Sun, D. and Guo, L. X. (2019). A MIMO dielectric resonator antenna with improved isolation for 5G mm-wave applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(4), 747-751. doi: 10.1109/LAWP.2019.2901961

Çok boyutlu yazıcılardan baskısı farklı parametrelerle alınan numunelerin malzeme seçiminin deneysel analizi

Experimental analysis of material selection of samples printed with different parameters from multidimensional printers

Kadir BEKAR^{1,a}, Ufuk ÇİFCİ^{2,b}, Arif ÖZKAN^{3,c}

¹Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, 81620, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

³Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

• Geliş tarihi / Received: 28.05.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 07.01.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.04.2021

Öz

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte 3B (üç boyutlu) yazdırma teknolojileri de gerek baskı materyali veya yedek parça çeşitliliği gerekse de yazılım ve uygulama bakımından bu gelişimin bir parçası olarak günlük hayatımızda yerini almaktadır. Mevcut gelişmeler sonucunda uygunlaşan maliyetleri sebebi ile ulaşılabilirliği daha mümkün olan FDM (kaynamış birikim modelleme) teknolojisinin ilk örnek ve hobi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada 3B yazdırma teknolojilerinden biri olan FDM yönteminden yararlanılarak, kullanımı en yaygın materyaller olan ABS (akrilonitril bütadien stiren) ve PLA (polilaktik asit) ile farklı doluluk oranlarına sahip baskısı alınan numunelerin mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. 3B yazdırma teknolojisi ile elde edilen baskıların malzeme türlerine göre kullanılabilirliğine dair çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu kapsamda; PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla daha yüksek çekme dayanımı sağladığı, ABS materyalinin PLA materyaline kıyasla daha düşük eğilme dayanımı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: 3B yazdırma, İmalat, İmalat parametreleri, Malzeme

Abstract

With the rapid development of technology, 3D (three-dimensional) printing technologies also take their place in our daily lives as a part of this development in terms of printing material or spare parts variety, software and application. As a result of current developments, FDM (fused accumulation modeling) technology, which is more accessible due to its lower costs, is becoming widespread as a first example and hobby. In this study, using the FDM method, which is one of the 3D printing technologies, the mechanical properties of the samples printed with different filling ratios with ABS (acrylonitrile butadiene styrene) and PLA (polylactic acid), which are the most common materials to use, were experimentally investigated. Various suggestions are presented regarding the usability of the prints obtained with 3D printing technology according to the material types. In this context; It was concluded that PLA material provides higher tensile strength compared to ABS material, and ABS material has lower flexural strength compared to PLA material.

Keywords: 3D printing, Manufacturing, Manufacturing parameters, Material

^b Ufuk ÇİFCİ; ufuk.cfc90@gmail.com, Tel: (0535) 067 97 69, orcid.org/0000-0002-3317-7254

^a orcid.org/0000-0003-1394-0248

^c orcid.org/0000-0002-1288-6166

1. Giriş

Üretim modelinin bir basamağı olan imalat, ürün elde edebilmesi açısından yarı mamulden mamul hale getirme işlemidir. İstenilen amaca uygun olmakla beraber farklı üretim metotları da gelişim göstermektedir (Boyacı, 2010). Eklemeli imalatla alışılmamış imalat yöntemleri olarak bu gelişmelere öncülük etmektedir. Birçok alanda olduğu gibi üretim sektöründe de gelişen teknoloji ve üretim metotları sayesinde ürün geliştirme sürecinin azaldığı gözlemlenmektedir (Durgun, 2015).

Plastik türevleri, polimer, metal ve metal alaşımları, seramik vb. gibi geniş bir yelpaze ile bilgisayar teknolojisi eşliğinde üç boyutlu katı obje üretmeyi mümkün kılan yeni jenerasyon imalat teknolojisinin keşfi 1970'li yıllara kadar uzanmaktadır (Hakan Verdu Martinez vd., 2016). Çok boyutlu yazdırma işlemi ise, dijital ortamda hazırlanan CAD (bilgisayar destekli tasarım) dosyaları kullanılarak belirli işlemler uygulandıktan sonra katı nesnelere elde etme sürecidir. Bu işlemleri yapan yazıcıların kullanım alanları çeşitli olup bu yöntemle elde edilen modellerin kısa sürede incelenip değerlendirme yapılması ve tersine mühendislik gerektiren uygulamalarda kullanılması mümkün hale gelmiştir. Günümüzde klasik yöntemler ile işlenmesi zor ve neredeyse imkânsız olan karmaşık yapıya sahip ürünler bu teknoloji sayesinde kolaylıkla oluşturulabilir hale getirilmiştir (Çelik, 2015; Gür, 2017; Korkmaz, 2014; Maden vd., 2016; Rindfleisch vd., 2017).

3B yazıcılar dijital ortamda tasarlanan veya tarama ile elde edilen modelleri plastik, metal, seramik veya biyolojik mürekkep gibi amacına uygun farklı materyaller kullanılarak fiziksel ürünler elde etme

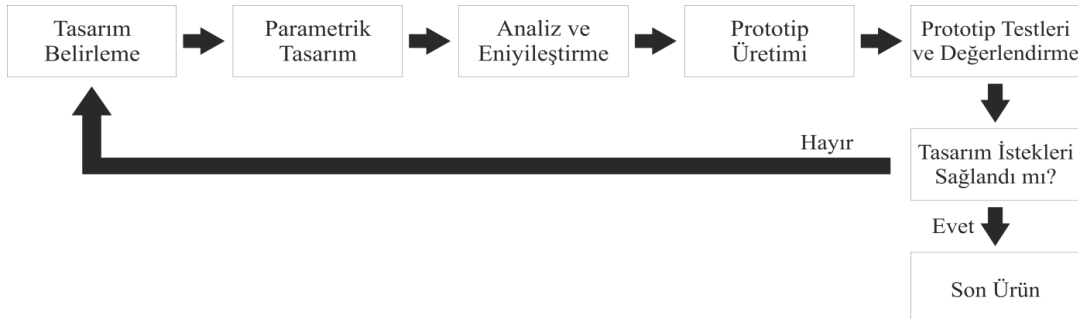
teknolojisidir (Rayna vd., 2009; Satyanarayana vd., 2015). Ürün tasarımlarının ve prototiplerinin test etmek amaçlı kullanılabilir olması, fabrika sistemlerine gerek duymadan ayrı parçaların talebe uygun üretilebilmesi bu teknolojinin en önemli özelliklerindedir (Yampolskiy vd., 2016).

2. Üç boyutlu yazdırma teknolojileri

3B yazdırma teknolojilerinde, genellikle materyal düzlemsel bir tabla üzerine katmanlar halinde üst üste yığılır ve böylece baskı işlemi gerçekleştirilmiş olur. Günümüzde pek çok katmanlı üretim yöntemi geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. SLM (seçici lazer eritme), ya da DMLS (doğrudan metal sinterleme), SLS (seçici lazer sinterleme), FDM gibi bazı yöntemler katmanların üretilmesi için malzemeyi eritirken ya da yumuşatırken, diğer metotlar SLA (stereolitografi cihazı) gibi farklı gelişmiş teknolojileri kullanarak reçine gibi sıvı malzemeleri noktasal şekilde sertleştirerek birbirleri ile birleştirmektedir (Aydın, 2014; Campbell vd., 2012; Çifci vd., 2018a; Huang vd., 2013).

Eklemeli imalatla, öncelikli olarak bir üç boyutlu model dosyası yaratılmakta, daha sonra bu modelin üretilebilmesi için gerekli takım yolları uygun bilgisayar yazılımı ile oluşturulmaktadır. Yazılım sayesinde, STL (stereolitografi) adı verilen bir kod oluşturulmaktadır. Sonrasında, tercih edilen üretim yöntemi esas alınır, uygun cihaz seçilerek ve parametreler oluşturularak, üretim yapılmaktadır (Çelik vd., 2017; Novakova-Marcincinova vd., 2012; Wong vd., 2012).

Prototip üretim süreci sırasında uygulanması gereken adımlar Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Prototip üretim süreci (Ekici vd., 2009)

3B yazdırma teknolojilerine ait yöntemler uygulaması yapılacak sektör göz önünde bulundurularak tercih edilmelidir. FDM yöntemi diğer yöntemlere kıyasla yedek parça maliyetlerinin uygun ve ulaşılabilir olması sebebi

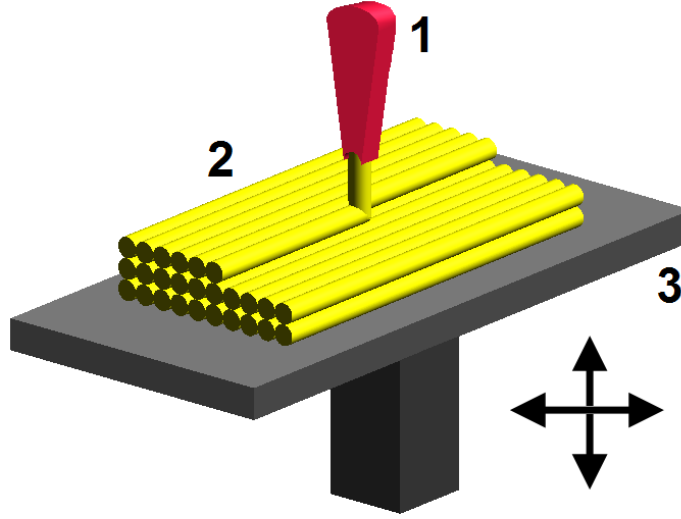
ile hobi amaçlı kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen 3B yazdırma teknolojisi olarak göze çarpmaktadır (Arı, 2016; Çifci vd., 2018b; Kun, 2016).

2.1. FDM teknolojisi

Bu teknoloji kâğıt, balmumu, reçine, seramik, plastik, termoplastik, çikolata, metal ve alaşımları vb. materyaller ile kullanıma uygun ve uygulanabilirliği açısından diğer teknolojilere nazaran daha kolay bir yöntemdir. Elde edilmek istenen katı model filament adı verilen baskı materyalinin x, y ve z eksenlerinde hareket eden piriç, alüminyum vb. ısıtıcı uç yardımı ile eritilmesi neticesinde elde edilir (Berman, 2012;

Çifci vd., 2019a; Güneş, 2018; Wong vd., 2014). Yazdırma esnasında gerektiği durumlarda destek yapıları da oluşturulabilir.

FDM teknolojisi kullanan 3B yazıcılar tip olarak Kartezyen, corexy ve delta tipi olmak üzere üçe ayrılır. Her birinin yapısal tasarımı farklılık göstermesine rağmen üretim sürecinde uyguladığı işlemler aynıdır. FDM teknolojisinin yazdırma işlemi Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. FDM teknolojisi yazdırma işlemi (Zureks, 2008)

Bu teknolojinin en önemli özelliği ise karmaşık yapıya sahip gerek iç içe sarmal gerek ince işlemeli tasarımlarda kullanıcıya imalat imkânı sağlamasıdır. Baskısı alınacak geometrik modelin karmaşık yapısının hiçbir önemi olmamakla beraber bu teknoloji tüm tasarımları tek parça halinde yazdırma özelliğine sahiptir (Çifci vd., 2019b).

3. Materyal ve yöntem

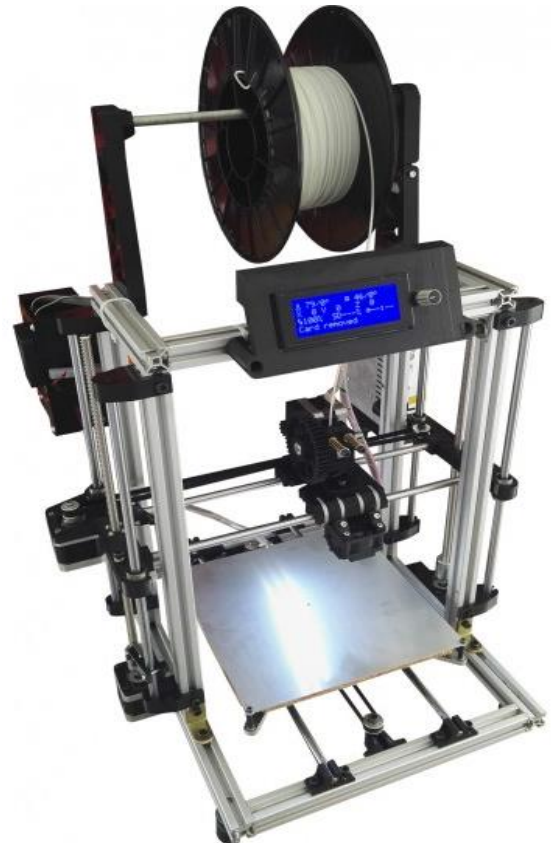
Deneyler kapsamında tercih edilen materyal ve uygulanan yöntemler çalışmanın bu kısmında belirtildiği gibidir.

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan üç boyutlu yazıcı

Deneyler kapsamında oluşturulan numuneler FDM teknolojisi kullanan Kartezyen tipi 3B yazıcı ile elde edilmiştir. Tamamen Türk tasarımı olan bu yazıcı, açık kaynaklı ve patentli, FDM tipi 3B yazıcıdır.

Çalışmada kullanılan çok boyutlu yazıcı Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan çok boyutlu yazıcı (Kalmaz, 2020)

3.1.2. Çalışmada kullanılan baskı materyalleri

Bu çalışmada FDM teknolojisi ile kullanımı en yaygın olan ABS ve PLA materyalleri ile numunelerin baskıları alınmıştır.

ABS materyali termoplastik özelliğe sahip olup strese karşı ortalama bir direnç gösteren rijit bir yapısı vardır. Genel olarak ergime sıcaklığı 210°C-250°C aralığındadır. Deneylerde kullanılan ABS materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterildiği gibidir (Kuzu Demir vd., 2016; Olivera vd., 2016).

Tablo 1. Deneylerde kullanılan ABS materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Sigma3D, 2020a)

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül Ağırlık		D792	g/cm ³	1.032
Çekme Mukavemeti	2mm/dk	D638	MPa	10.4
Elastik Modülü	2mm/dk	D638	GPa	0.80
Eğme Mukavemeti	1.15mm/dk	D790	MPa	43.05
Eğme Modülü	1.15mm/dk	D790	GPa	2.18
İzod Darbe Dayanımı		D256	kJ/m ²	30.45
Geçiş Sıcaklığı Tayini		D3418	°C	100.59-100.08
Isıl Defleksiyon		D648	°C	64.3-61.0
Shore D Sertlik		D2240		78.0-89.5
Erime Akış Hızı	190°C/2.16kg	D1238	g/10dk	4.31AB

PLA materyali ergime sıcaklığı ve kopma uzaması özellikleri bakımından dezavantajlı olup, boyutsal kararlılığı ve baskı sırasında sağladığı kolaylık bakımından avantaj sağlamaktadır. Ergime sıcaklığı 170°C-220°C aralığındadır. Deneylerde

kullanılan PLA materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de gösterildiği gibidir (Madhavan Nampoothiri vd., 2010; Murariu vd., 2014).

Tablo 2. Deneylerde kullanılan PLA materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Sigma3D, 2020b)

Özellikler	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül Ağırlık	D792	g/cc	1.24
Erime Akış Hızı	D1238	g/10 dk	6 (210°C / 2.16kg)
Bağıl Viskozite	D5225		4
Erime Sıcaklığı	D3418	°C	145°-160°
Geçiş Sıcaklığı Tayini	D3418	°C	55°-60°
Gerilme Dayanım Gücü	D882	MPa	60
Kopmada Çekme Dayanımı	D882	MPa	53
Çekme Uzaması	D256	%	6
İzod Darbe Dayanımı	D256	kJ/m ²	16
Eğme Mukavemeti	D790	MPa	83
Eğme Modülü	D790	MPa	3.8
Isıl Defleksiyon	E2092	°C	55

3.2. Yöntem

Bu çalışmada 3B yazdırma teknolojisi ile baskısı alınan farklı doluluk oranlarına sahip numuneler

üzerinde çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Uygulamalara ait deneysel tasarım çizelgesi Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Uygulamalara ait deneysel tasarım çizelgesi

Materyal Türü	DENEY TÜRÜ						Toplam
	Çekme Mukavemeti			Eğme Mukavemeti			
	Doluluk Oranı						
	%20	%40	%60	%20	%40	%60	
ABS	3	3	3	3	3	3	18
PLA	3	3	3	3	3	3	18
Toplam	6	6	6	6	6	6	36

Çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri için numune boyutları yaygın olarak kullanılan ASTM D638 ve ASTM D790 standartları baz alınarak tasarlanmıştır (ASTM International, 2021).

Baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri kullanılan materyalin cinsi, markası, ortam

koşulları ve kullanılan 3B yazıcının özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Parametreleri uygun koşullarda belirlemek için en iyi yöntem kalibrasyon için özel olarak tasarlanmış CAD dosyalarının yazdırılması ile tayin edilir. Bu çalışmada baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri Tablo 4’te gösterildiği gibidir.

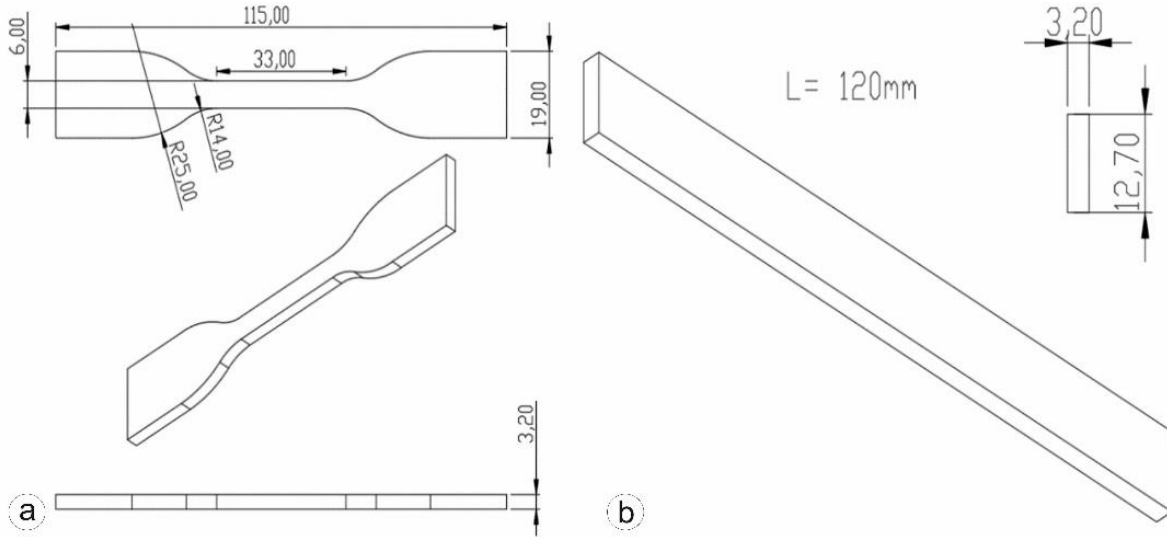
Tablo 4. Baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri (Bekar, 2020)

Parametre	Birim	ABS	PLA
Filament Çapı	mm	1,75	1,75
Nozul Çapı	mm	0,4	0,4
Katman Yüksekliği	mm	0,3	0,3
Başlangıç Nozul Sıcaklığı	°C	220	210
Nozul Sıcaklığı	°C	210	190
Tabla Sıcaklığı	°C	90	60
Başlangıç Baskı Hızı	mm/s	15	15
Baskı Hızı	mm/s	50	50
Parça Soğutma Fanı	%	50	100
Alt Duvar Sayısı		3	3
Üst Duvar Sayısı		3	3
Anahat/Çevre Duvar Sayısı		2	2

3.2.1. Deney numunelerinin tayini

Çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri için tüm numuneler 300 µm katman

kalınlığı ile yazdırılmıştır. Çekme mukavemeti deneyi numunesine ait teknik resim Şekil 4 (a), eğme mukavemeti deneyi numunesine ait teknik resim Şekil 4’te gösterildiği gibidir (Kartal, 2017).



Şekil 4. (a) Çekme deneyi numunesi ve (b) Eğme deneyi numunesi teknik resmi

4. Bulgular ve tartışma

Deneyler kapsamında elde edilen sonuçlar çalışmanın bu kısmında belirtildiği gibidir.

4.1. Çekme mukavemeti deneyi bulguları

Farklı doluluk oranlarına sahip ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 5'te gösterildiği gibidir.

Tablo 5. ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları

Doluluk Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Kopmadaki Uzama (%)
20	22.5	1.32	10.06
	21.6	1.23	15.93
	21.7	1.25	7.63
Ortalama	21,93	1,26	11,20
40	22.4	1.36	11.66
	22.6	1.34	15.23
	21.8	1.27	10.76
Ortalama	22,26	1,32	12,55
60	23.7	1.26	11.68
	24.5	1.33	16.27
	25	1.37	16.89
Ortalama	24,4	1,32	14,94

Farklı doluluk oranlarına sahip PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 6. PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları

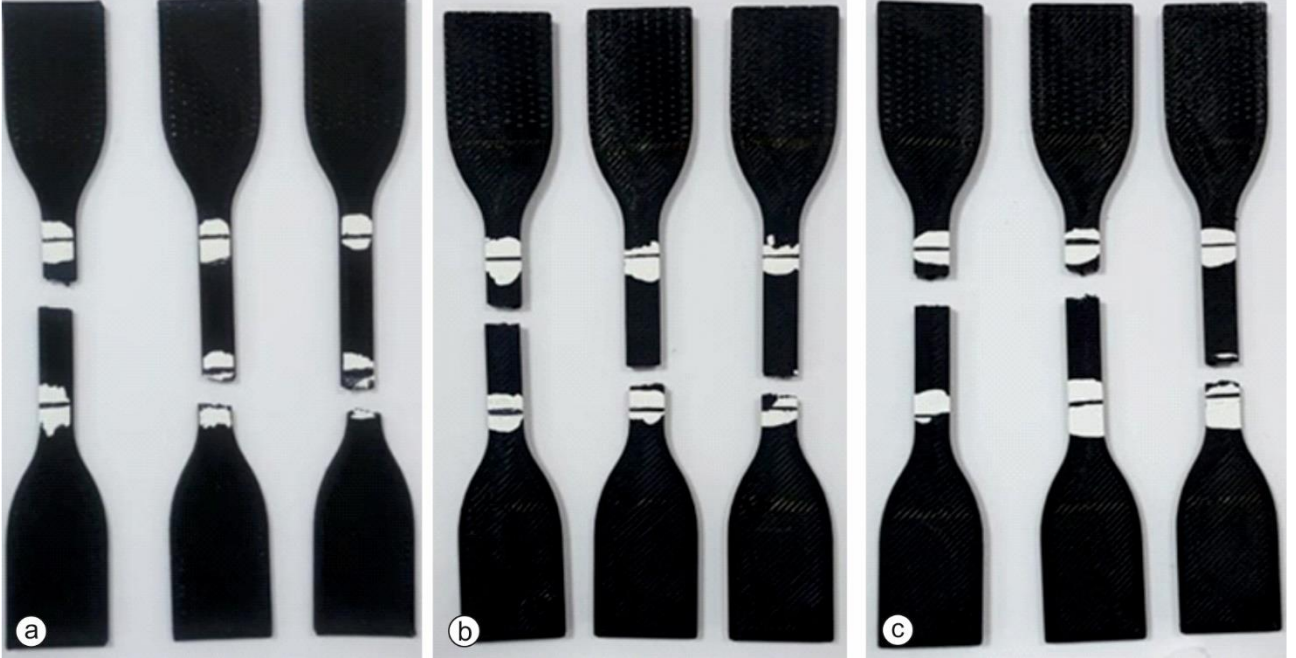
Doluluk Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modül (Gpa)	Kopmadaki Uzama (%)
20	42.5	1.97	1.53
	42	2.05	1.7
	42.8	2.2	4.66
Ortalama	42,43	2,07	2,63
40	42.9	2.48	3.32
	43.3	2.31	3.42
	44.4	2.86	2.47
Ortalama	43,53	2,55	3,07
60	48	2.36	2.37
	46.1	2.58	4.71
	47.9	2.52	4.4
Ortalama	47,33	2,48	3,82

ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5. ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

4.2. Eğme mukavemeti deneyi bulguları

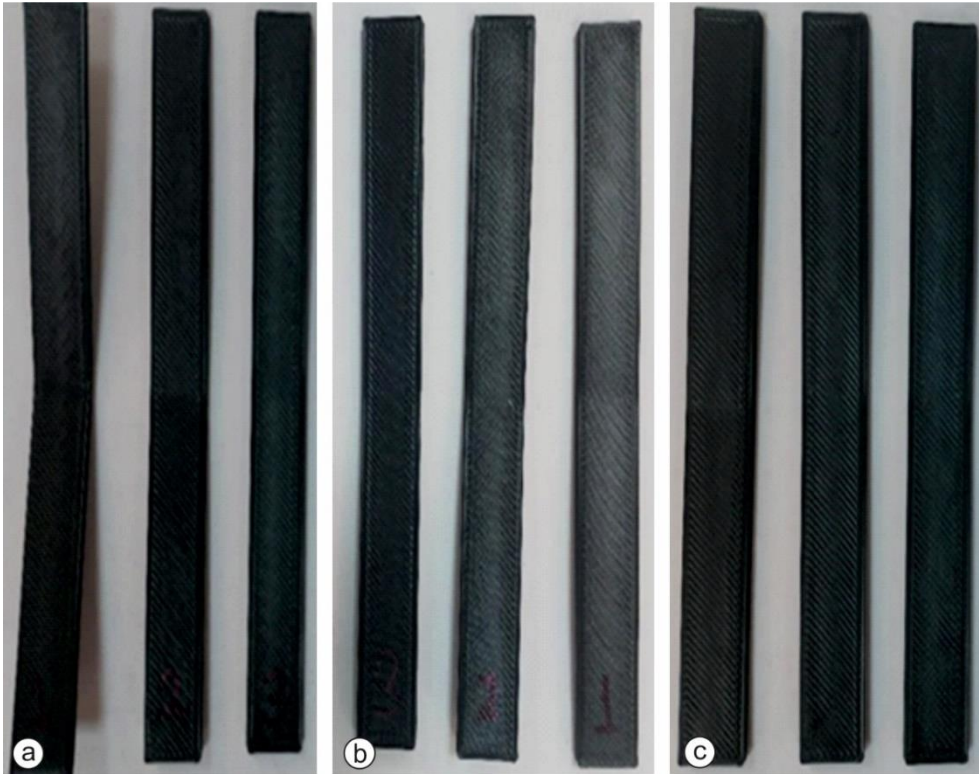
Farklı doluluk oranlarına sahip ABS ve PLA materyalleri ile baskısı alınan numunelerin eğme

mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 7'de gösterildiği gibidir.

Tablo 7. Farklı doluluk oranlarına sahip ABS ve PLA materyalleri ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonuçları

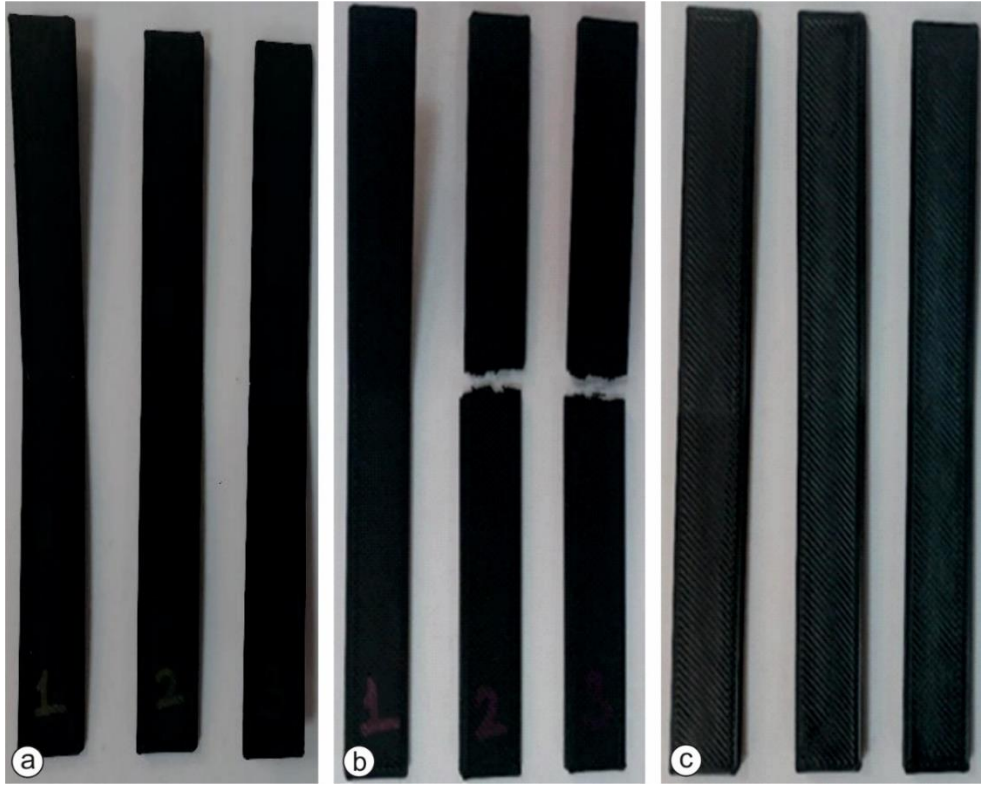
Doluluk Oranı (%)	Materyal	
	ABS (MPa)	PLA (MPa)
20	30.37	63.86
	29.92	61.86
	29.55	64.03
Ortalama	29,94	63,25
40	30.26	62.68
	29.29	64.54
	28.69	62.33
Ortalama	29,41	63,18
60	34.42	66.9
	34.85	64.24
	35.46	66.91
Ortalama	34,91	66,01

ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 7. ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

5. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmada yapılmış olan deneyler sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler bu bölümde incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar kapsamında çekme mukavemeti deneylerinde;

- ABS materyal ile %20 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 21,93 MPa, kopmadaki uzamanın ise %11,2 olduğu,
- PLA materyal ile %20 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 42,43 MPa, kopmadaki uzamanın ise %2,63 olduğu,
- ABS materyal ile %40 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 22,26 MPa, kopmadaki uzamanın ise %12,55 olduğu,
- PLA materyal ile %40 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 43,53 MPa, kopmadaki uzamanın ise %3,07 olduğu,

- ABS materyal ile %60 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 24,4 MPa, kopmadaki uzamanın ise %14,94 olduğu,
- PLA materyal ile %60 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 47,33 MPa, kopmadaki uzamanın ise %3,82 olduğu,
- ABS ve PLA materyal ile baskısı alınan numunelerde doluluk oranı arttıkça az da olsa çekme mukavemeti ve kopma uzamasındaki değerlerinde doğru oranda arttığı,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları temel alındığında ortalama çekme mukavemeti değeri ABS materyalde 24,40 MPa, PLA materyalde ise 47,33 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları temel alındığında ortalama kopmadaki uzamanın ABS materyalde %12,9, PLA materyalde ise %3,17 olduğu,
- PLA materyallerin ABS materyallerine göre bütün doluluk oranlarında daha iyi çekme dayanımı sağladığı, fakat PLA materyallerin

ABS materyallerine göre daha düşük elastikiyet gösterdiği,

sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar kapsamında eğme mukavemeti deneylerinde;

- Baskısı alınan numunelerde %20 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 29,94 MPa, PLA materyalde 63,25 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde %40 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 29,41 MPa, PLA materyalde 63,18 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde %60 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 34,91 MPa, PLA materyalde 66,01 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 31,42 MPa, PLA materyalde 64,15 MPa olduğu,
- ABS ve PLA materyal ile baskısı alınan numunelerde doluluk oranı arttıkça eğme mukavemetinin de doğru oranda artmadığı bu oranların %40 doluluk oranında ortaya çıktığı, fakat %60 doluluk oranının her iki materyalde de en yüksek eğme mukavemetine sahip olduğu,
- Ortalama eğme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında PLA materyalin ABS materyale göre daha iyi eğme dayanımı sağladığı,

sonuçları elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla daha yüksek çekme dayanımı ve eğme mukavemeti sağladığı, PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla düşük uzama katsayısına sahip olup daha kırılğan bir yapıda olduğu sonucuna varılmıştır. Baskısı alınan materyalin markası, 3B yazdırma işleminin gerçekleştiği ortam koşulları ve kullanılan 3B yazıcının özelliklerine göre sonuçlarda çıkan değerler değişiklik gösterecektir. Bu çalışmada en ideal ortam koşulları ve baskı parametreleri seçilmiştir. Üretilen ürünlerin uygulama esnasında kullanımına istinaden gerekli şartlar sağlandığı takdirde bu çalışmadaki deney

sonuçları dikkate alınarak malzeme seçimi yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Arı, A. (2016). Beş parmaklı protez robot el. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ASTM International: Standards and Publications. (2020, 05 January). Access adress <https://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html>.
- Aydın, L. (2014). Üç boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bekar, K., Çifci, U. ve Özkan, A. (2020). 3D yazdırma teknolojileri ile farklı parametre ve materyaller ile baskısı alınan numunelerin çekme dayanımı üzerine etkisi: Literatür araştırması. International Marmara Sciences Congress (Spring 2020) (ss. 778-787). Kocaeli.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
- Boyacı, N. (2010). İmalat için tasarım ve temel kurallarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Campbell, I., Bourell, D. and Gibson, I. (2012). addvite manufacturing rapid prototyping comes of age. Rapid Prototyping Journal, 18(4), 255-258. <https://doi.org/10.1108/13552541211231563>
- Çelik, D. (2015). Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çelik, K. ve Özkan, A. (2017). Eklemeli imalat yöntemleri ile üretim ve onarım uygulamaları. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(1), 107–121.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Akgül, İ. (2018). Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi. 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (ss. 486–493). Antalya.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Akgül, İ. (2019). Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin maliyet ve destek malzemesi gereksinimleri yönünden kıyaslanması ve imalat sektöründe uygulanabilirliği. 4th International Congress on 3d Printing (Additive Manufacturing)

- Technologies and Digital Industry (ss. 482–488). Antalya.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Taşdemirci, Ç. (2019). Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin hızlı prototip uygulamaları için farklı materyaller aracılığıyla yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1627–1643. <https://doi.org/10.29130/dubited.544192>
- Çifci, U. (2018b). Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Durgun, İ. (2015). Tabakalı hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması. XIII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi (s. 13). İstanbul.
- Ekici, B. ve Yaltrık, H. (2009). FDM (fused deposition modeling) yöntemi ile çalışan hızlı prototip cihazlarında kullanılan abs filament telin üretilmesi. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 11(1), 39–34.
- Güneş, M. (2018). Kompozit baskı yapan üç boyutlu yazıcının geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Gür, Y. (2017). Üç boyutlu masa üstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital üretimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 237–245. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.342365>
- Hakan Verdu Martinez, E. ve Can, E. (2016). Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği. *Sanat & Tasarım Dergisi*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.20488/www-std-anaolu-edu-tr.290760>
- Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A. and Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8), 1191–1203. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
- Kalmaz, C. (2020, Mayıs 20). Sigma3D yerli açık kaynak yazıcı. <https://3boyutlubaski.com/2020/04/sigma3d-yazici-yapimi-asamalari/>
- Kartal, F. (2017). Taguchi metodolojisi ile eriyik yığıma modelleme süreci parametrelerinin optimizasyonu. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 49–56.
- Korkmaz, B. (2014). 3B Yazıcı: Atlantik ve avrasya rekabetinde yeni bir faktör. *U.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 17–30.
- Kun, K. (2016). Reconstruction and development of a 3d printer using fdm technology. *Procedia Engineering*, 149(2016), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.657>
- K, Demir., E.B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A. (2016). Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*, 17(2), 481–503. <https://doi.org/10.12984/egteed.280754>
- Maden, H., Kamber, Ö., Dipcin, E., Uğur, H., Özsarıkaya, B. ve İğneci, A. (2016). FDM Teknoloji ile üretilen prototip parçalarının hataları ve hataların önlenmesi. 3 Boyutlu Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu (ss. 56–59). İstanbul.
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N.R. and John, R.P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (pla) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493–8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>
- Murariu, M., Laure-Dechief, A., Paint, Y., Ramy-Ratiarison, R., Dubois, P. and Marie-Raquez, J. (2014). Recent advances in production of poly(lactic acid) (pla) nanocomposites: A versatile method to tune crystallization properties of pla. *Nanocomposites*, 1(2), 71–82. <https://doi.org/10.1179/2055033214Y.0000000008>
- Novakova-Marcincinova, L., Novak-Marcincin, J., Barna, J. and Torok, J. (2012). Special materials used in fdm rapid prototyping technology application. *INES 2012 - IEEE 16th Int. Conf. Intell. Eng. Syst. Proc.* (pp. 73–76). Lizbon. <https://www.doi.org/10.1109/INES.2012.6249805>
- Olivera, S., Muralidhara, H.B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K. and Vivek, C.S. (2016). Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (abs) plastic: A review. *Journal of Materials Science*, 51(8), 3657–3674. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9668-7>
- Rayna, T. and Striukovai, L. (2009). The impact of 3d printing technologies on business model innovation. *Digital Enterprise Design and Management*, 3(2), 358–369. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04313-5_11
- Rindfleisch, A., Hern, M. and Sachdev, V. (2017). The digital revolution, 3d printing, and innovation as data. *The Journal of Product Innovation Management*, 34(5), 681–90. <https://doi.org/10.1111/jpim.12402>

- Satyanarayana, B. and Prakash, K.J. (2015). Component replication using 3d printing technology. *Procedia Materials Science*, 10(2015), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.049>
- Sigma3D-PowerABS Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri. (2020a, 10 Nisan). Erişim adresi <https://sigma3dprinter.com/belgeler/powerabs-test-sonuclari.pdf>.
- Sigma3D-PowerPLA TDS. (2020b, 10 Nisan). Erişim adresi <https://sigma3dprinter.com/belgeler/PowerPLA TDS.pdf>.
- Wong, J.Y. and Pfahnl, A.C. (2014). 3D Printing of surgical instruments for long-duration space missions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(7), 758–763. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3898.2014>
- Wong, K. and Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. 2012 ISRN Mechanical Engineering. (pp. 1–10). <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Yampolskiy, M., Skjellum, A., Kretzschmar, M., Overfelt, R.A., Sloan, K.R. and Yasinsac, A. (2016). using 3d printers as weapons. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 14(2016), 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.12.004>
- Wikimedia File: FDM by Zureks Png. (2018, 21 May). Access adress https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png

Fuzzy inverse logic: part-1. introduction and bases

Bulanık ters mantık: kısım-1. giriş ve temeller

Ertekin ÖZTEKİN*^{1,a}

¹Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 11.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.04.2021

Abstract

In almost all deterministic and artificial intelligence techniques, for the solution of the scientific problems such as design and control problems, the output estimations are performed depending on manipulations on the values of input variables. With the other words, lots of different values derived from input parameters are tried in order to obtain desired output(s). Contrary to these conventional estimation methods, this study consists of two parts in which a new artificial intelligence method called fuzzy inverse logic (FIL) is developed to determine or estimate the value of the input parameters that give the targeted problem output. In the first part of this study, after providing a brief overview about the method of classical fuzzy logic (FL), the solution approaches and calculation details about FIL are given. In the second part of the study, fuzzy inverse logic method was used to solve one simple mathematical problem and one simple civil engineering problem. After the validity of the developed method was demonstrated by graphics and tables. some evaluations were made about the method.

Keywords: Artificial intelligence, Fuzzy inverse logic, Fuzzy logic, Logic, Inverse logic

Öz

Hemen hemen tüm analitik ve yapay zeka tekniklerinde, tasarım ve kontrol problemleri gibi bilimsel problemlerin çözümü için, arzu edilen sonucu elde edebilmek için girdi parametrelerinin değerleri üzerinde manipulasyonlar yapılır. Başka bir deyişle girdi parametrelerinin herbiri için birçok farklı değer arzu edilen problem sonucu elde edilene kadar kullanılan çözüm yöntemi üzerinde denenir. Bu alışlagelmiş tahmin yöntemlerinin tersine, hedeflenen problem çıktısını veren girdi parametrelerinin değerinin ne olması gerektiğini belirlemek veya tahmin etmek amacıyla bulanık ters mantık adıyla yeni bir yapay zeka yönteminin geliştirildiği bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım olan bu makalede, klasik bulanık mantık hakkında kısa öz bilgi sunulduktan sonra, bulanık ters mantıktaki çözüm yaklaşımı ve hesaplama detayları verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmını oluşturan diğer makalede ise bir adet matematik problemi ve bir adet inşaat mühendisliği probleminin çözümü için bulanık ters mantık yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemin geçerliliği tablo ve grafiklerle ortaya konulduktan sonra yöntem hakkında bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yapay zeka, Bulanık ters mantık, Bulanık mantık, Mantık, Ters mantık

*a Ertekin ÖZTEKİN; ertekinoztekin@hotmail.com, Tel: (0532) 777 26 67, orcid.org/0000-0002-4229-0953

1. Introduction

The human beings created as the most perfect and honorable of all creatures, by developing many simple mechanical devices with the knowledge, intelligence, talent and skill granted to them, they are now able to manufacture machines that behave like themselves or that can imitate their own behavior and use them in many fields since their creation. The human beings have succeeded in turning not only their own characteristics, but also the behavior and creation characteristics of many other living things, even some natural phenomena into machine behavior and / or machine intelligence sometimes as parts, sometimes as a whole. The most well-known algorithms that human beings transfer the features and behaviors of other creatures to artificial intelligence are artificial bee colony (Karaboga and Akay 2009), ant colony optimization algorithm (Parpinelli et al. 2002), cuckoo bird algorithm (Rajabioun 2011), bat algorithm (Yang and Gandomi, 2012), particle swarms (Kennedy and Eberhart 1995) etc. Some of the algorithms that human beings transfer some of their own biological and behavioral features to artificial intelligence technology are artificial neural networks (Jain et al., 1996), genetic algorithm (Whitley 1994), memetic algorithms (Moscato et al., 2004), cellular automata (Chopard and Droz 1998), Fuzzy logic (FL) (Zadeh, 1965; Zadeh, 1973; Zadeh, 1975) etc. Apart from these listed artificial intelligence methods, other algorithms and methods such as simulated annealing (Van Laarhoven, and Aarts, 1987), taboo search algorithm (Cvijović and Klinowski, 1995) etc. are also available in the technical literature.

By using of artificial intelligence algorithms in machine intelligence, advanced technological machines, called smart machines, which can decide on their own, communicate and work synchronously with each other, and learn themselves, have been manufactured. While these technological developments have facilitated human life in many areas, they have also started to cause some problems in sociological, health, psychological fields such as unemployment, anti-socialization and obesity. Even the concern has already emerged that these smart machines may someday be out of control and become one of the enemies of mankind in the future. Rapid and intense developments in the technological hardware and software fields in the last few decades have been effective in the invention and manufacturing of these advanced technological products. Particularly, discovered methods on artificial intelligence and the developed computer

and / or electronic technologies have a great contribution on these inventions and manufacturing of the smart products. Finally, it is obvious that the ongoing studies in these areas will lead to many new technological developments and progress.

1.1. Purposes and methods in a scientific problem solution

Although the purpose in most scientific problems is to determine the values of the variables to achieve the desired results as accurately as possible with an acceptable error, computation flow in the methods used widely is based changing of variables values in the problem under consideration by trial and error algorithm or by another algorithm. To be more clearly expressed, after the computation flow starts with determining of initial values of the variables by a researcher, first result(s) is(are) calculated according to the first certain values of these input variables. Then, new values of variables are computed and assigned according to the error amount of the calculated results. This computation process is repeated according to these new values. In the new value assignments many different approaches can be used. Especially in control problems and in engineering designs, various approaches, algorithms and functions can be used for optimization of input values. The revision of the input values continues until the output with the acceptable error level is achieved or until the exact solution is reached. This is the same in most traditional methods and in most traditional artificial intelligence methods. In the FL approach, which is the one of the widely known of artificial intelligence method and used successfully in many fields, the situation is not different. In the classical FL approach, which is based on the ability of the human being to make new inferences in the light of what is known, the inferences are performed for the determination or prediction of problem outputs according to the values of the known input parameters. However, the human beings have also the ability to make backward inferences or reverse inferences against the events and situations according to they experienced. In the other words, taking into account the events or situations experienced, a person can predict the input parameters that can produce similar results. Thanks to this vital feature, human beings have managed to be the ruler of the earth. Because they did not repeat the mistakes they made by making backward inferences, they predicted situations that could give possible bad results and thus they took precautions. Similarly, they were able to manage many

situations, events and production that would give the results they wanted by making inferences in reverse.

The basics of this study, which was inspired by the ability of the human being to backward inference, are similar with the basics of the classical FL approach. Therefore, it is going to be useful to present here some essential information about FL before beginning to introduce FIL in detail.

1.2 A short overview on FL

As known FL is one of the powerful tool among artificial intelligent methods. FL theory first started to appear in 1965 with the introduction of fuzzy sets theory by Zadeh (Zadeh, 1965; Zadeh, 1973; Zadeh, 1975) and then it has been used in many scientific and engineering fields successfully. Some lately performed examples about FL can be found in the technical literature (Altaş, 1999a; Altaş, 1999b; Yager and Zadeh, 2012; Öztekin and Filiz, 2015; Altaş, 2017; Pörge, 2019).

Computation flow in the FL can be divided into four main steps. First step is definition of membership functions and fuzzyfication of input and output parameters. The second is constitution of rule table or matrice according to the data obtained from previous experiences or computations and the third is computation of fuzzy outputs. Finally, de-fuzzyfication of fuzzy outputs is last step of FL computations. Summary information about these four steps is given following.

1.2.1. Membership functions and fuzzyfication

Fuzzyfication of values of a variable is done according to the fuzzy sets theory (Zadeh, 1965) in FL. Value range of variables are divided into parts in this step. Each part is called as a fuzzy set. Constitution of fuzzy sets or dividing into parts of value ranges of variables are made depending upon some parameters such as computation sensitivity, properties of variables, properties of experimental or available data obtained from scientific experiments, solutions, previous experiences etc. If it is need to be expressed with another way, value range of a variable can be represented by fuzzy sets in FL theory. Although the fuzzy sets can be expressed or named differently from each other in a problem, in some cases some parts of their range values can be common. That is to say, there may not be an exact distinction between different fuzzy

sets. So, an exact value of a variable can be a member of different fuzzy sets. The belonging of an exact value to a fuzzy set is expressed by its' degree of membership between 0 and 1. In order to determine the membership degree, functions such as triangle, trapeze, sigmoid etc. are used (Terano etc., 1992; Tanaka, 1997; Ross, 2004; Harris, 2005; Altaş, 2017).

In the Figure 1, fuzzy sets (A_{i-1} , A_i , A_{i+1}), value range of variable A ($0 - a_{i+2}$), value ranges of fuzzy sets ($0 - a_i$, $a_{i-1} - a_{i+1}$, $a_i - a_{i+2}$), triangle membership functions, membership degrees ($\mu_{A_{i-1}}$, μ_{A_i}) of value a_x for A_{i-1} and A_i fuzzy sets are presented with triangle memberships functions for example.

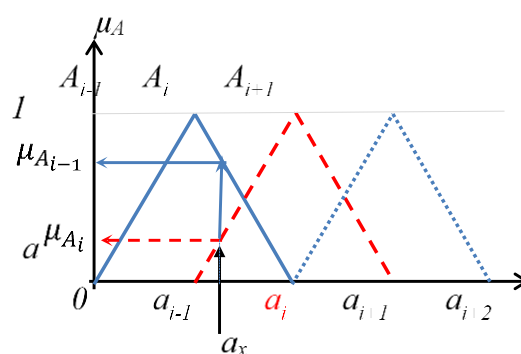


Figure 1. Value Ranges of fuzzy sets belong to variable A and memberships degrees of value a_x

1.2.2. Constitution of rule table (matrice)

The aim in this step is constitution of the table include rules which will be used in FL solutions. In the constitution of rules, the data obtained from previous experiences or from previous solutions is used. The terms such as “if”, “else”, “then”, “and”, “or” etc. are used in the rule constitution in FL as in the common logic. Some simple rule examples used in FL are given in Equation 1 and Equation 2.

$$\text{if } A = a \text{ and } B = b \text{ then } C = c \quad (1)$$

$$\text{if } A = a \text{ or } B = b \text{ then } C = c \quad (2)$$

Especially “and” and “or” terms are used for the calculations of intersection of sets and union of sets and they correspond to numerically minimum value and numerically maximum value in FL computations respectively. These situations are expressed following Equation 3 and Equation 4 for a problem with two input variables (A and B) and one output (C) (Mamdani, 1975; Mamdani, 1976).

If $A=A_i$ and $B=B_j$ then $C=C_{i,j} \Rightarrow A \cap B \Rightarrow \mu_{C_{i,j}} = \min(\mu_{A_i}; \mu_{B_j})$ (3)

If $A=A_i$ or $B=B_j$ then $C=C_{i,j} \Rightarrow A \cup B \Rightarrow \mu_{C_{i,j}} = \max(\mu_{A_i}; \mu_{B_j})$ (4)

Constituted rules for a FL problem are gathered in a table called as rule matrix or rule table. All computations are made depending upon this table.

1.2.3. Computation of fuzzy outputs

In this step, after membership degrees of input variables in fuzzified space are computed, they are used in the determination of membership degrees of fuzzy output sets according to rules in the rule table (see Equation 3 and Equation 4). The area(s) under the line corresponding to the membership degree in a fuzzy output set is a fuzzy output of a rule. If there exist, other fuzzy outputs are determined for other rules in this step. The existence of a fuzzy outputs or the number of a fuzzy outputs depends on the numbers of the rules corresponding to the values of input variables.

1.2.4. Defuzzification of fuzzy outputs

After all areas under membership functions of output parameters for valid rules are determined according to the previous steps given above, they are drawn on the same axes and net values of output variables are computed according to the some defuzzification methods or equations. Some widely used defuzzification methods are Center of Sums Method (COS), Center of Gravity (COG)/Center of Area (COA) Method, Center of Area/Bisector of Area Method (BOA), Weighted Average Method (WAM, First of Maxima Method (FOM), Last of Maxima Method (LOM), Mean of Maxima Method (MOM) etc. (Erdun, 2020).

All FL computation steps summarized in the 4 subheadings above are summarized in the Figure 2 given below.

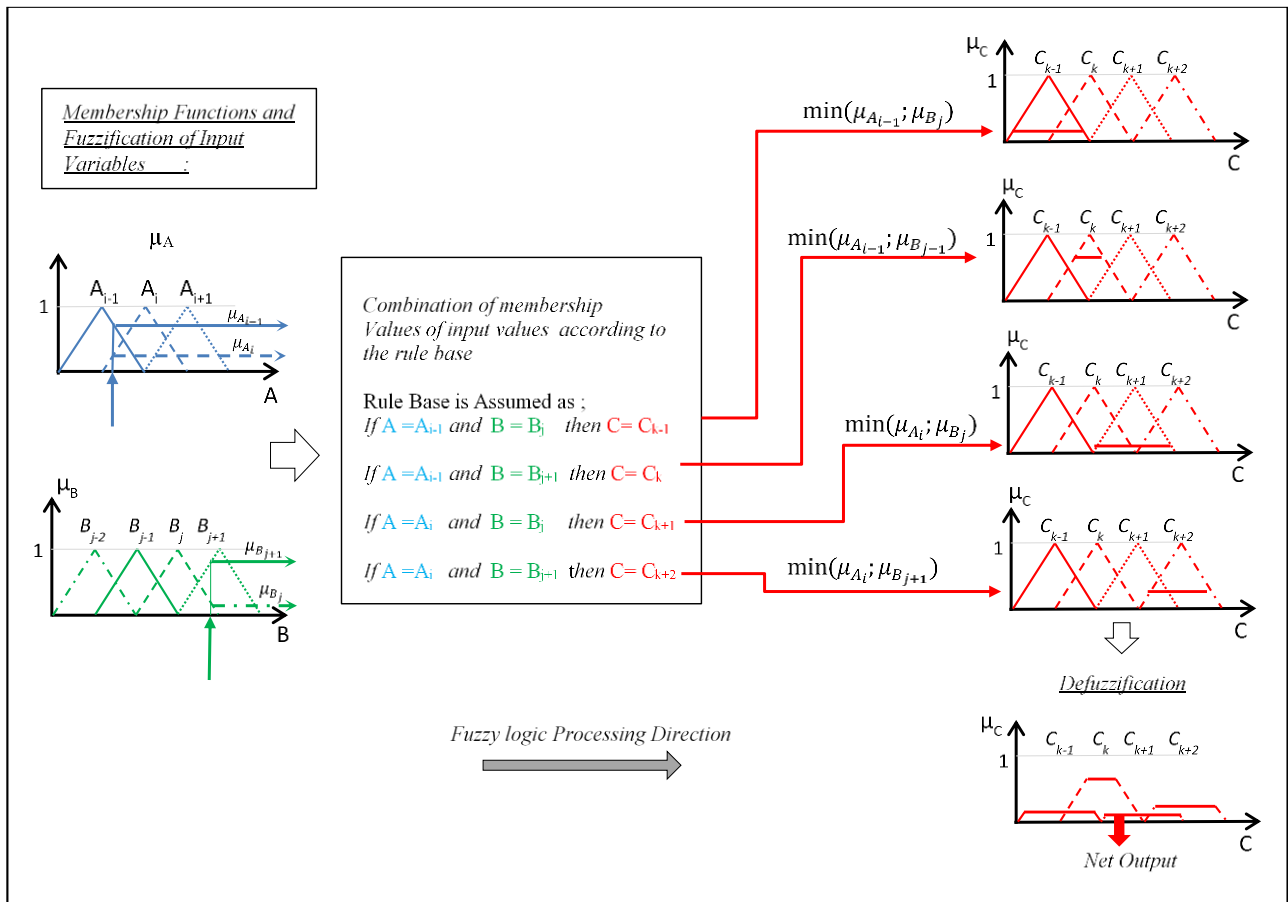


Figure 2. Summarized FL processing steps for a problem with 2 variables.

2. Bases of fuzzy inverse logic (FIL)

Human beings gain experiences in the face of physical problems and use these experiences to reach the desired goal in the face of new problems. They usually use these experiences by making two different types of inference. The first of these is the prediction of what the result might be by changing the values of the variable parameters in the problem. This type of inference constitutes the logic of classical FL. The second type of inference is the prediction of what the values of the input parameters should be in order to achieve the desired result, which does not exist among the existing results. This second inference constitutes the logic of the FIL method that is tried to be presented in this study. The data used in both inferences are the same. However, the inferences made are in the opposite direction.

Considering all these, the main purpose of FIL is to determine which values the problem variables should take by using the data gathered from experienced samples in order to achieve the desired outputs. On the other hand, in many techniques with/without artificial intelligence, the aim is to predict what the problem output might be by using new input values in the models constituted. As an example constitution of a FL model to estimate the strength of concrete to be produced in a concrete plant based on the amount of materials in the concrete mix can be given. On the other hand, in order to determine the amount of materials in the mixture of a concrete production with a certain targeted compressive strength, it requires to search for solutions with many trial and error on the current FL model or it requires to constitute a new FL model. Instead of using these two options, using the FIL method on the same data and the same fuzzy model will be much more practical and effective.

To give another example, the purpose of engineering designs is to design elements with dimensions and material properties that will bear external effects safely. In FL or other classical methods, in the light of the previously obtained information and data, it is determined whether the external load is carried for the previously selected material quality and element sizes. Then, in the light of the results obtained, the material quality and / or element dimensions are revised depending on the error in the results obtained and the operations are repeated until the result is obtained with acceptable error limits. If the FIL method is used in this problem, depending on the size of the external effects to be carried, the element sizes and

material quality can be determined directly by performing the process flow in the opposite direction of FL calculations.

3. Fuzzy inverse logic

In order to apply FIL method on a problem, a suitable, accurate and precise FL model must be successfully constituted and validated for this problem. To ensure that the FIL method can produce accurate and precise results, it should be applied on an accurate and precisely modeled FL model. Because as stated before, FIL calculations are based on FL completely and in FIL calculations, the data and rules prepared for FL are used exactly. In addition, the defuzzification method used in the testing and validation stage of the FL model, should be used in FIL method. Otherwise, calculations performed with FIL may produce incorrect results. In addition, while FL and classical methods are applied directly, only one solution is produced at a time, depending on the content and size of the rule matrix used in the FIL method, it may be possible to determine a large number of solutions at once. Although this may seem like a disadvantage for FIL on the one hand, it is actually one of the most important and distinctive features of FIL. This important feature indicates the ability to produce alternative solutions to FIL.

3.1. FIL computations

With the rule matrix constituted during the development of the FL model, the digital map of the output parameter(s) is/are actually constituted depending on the input parameters. Each rule output is the known landmarks of all the coordinates of this digital map for that output parameter. Rule outputs are landmarks with known coordinates of this digital map for those output parameters. The first step in FIL studies is to scan this numerical map completely to reveal among which landmarks (valid rule outputs) the target value of an output parameter is located. These regions, where the target values of the output parameters are located, are defined as sub-solution spaces in this study. One or more solutions can be obtained in each sub-solution space. After determining the sub-solution spaces where the desired output(s) can be located, the coordinates defining each of these regions are obtained (Step 2). That is, the fuzzy sets of input parameters in the rules that point to the landmarks in the digital map are determined. These fuzzy sets will hereafter be referred to as valid fuzzy sets in this study. In other words, the axes that make up the digital map are the

axes on which fuzzy sets of input parameters take place and those valid fuzzy sets for each input parameters are consecutive fuzzy sets. Determining consecutive valid fuzzy sets for each input parameter is the second step of FIL.

In the third step, membership values of valid fuzzy sets determined for input parameters are searched. The computations made at this stage are similar to those in FL. For these computations, the membership values of the valid fuzzy sets are changed by iteration for the desired processing precision, and it is checked whether the solution obtained in each sub-solution space is equal to the desired output or if it is obtained with an acceptable error. If a result equal to the desired result or an approximate result with an acceptable error is not found in this step, the operations can be repeated by increasing the sensitivity in iterative operations. In the 4th step, if the result(s) is obtained with an acceptable error or equal to the desired output as a result of any iterative operation performed in the third step, the membership values of the valid fuzzy sets of the variable parameters and the net input values of those parameters are computed. The computations made at this stage are the opposite of fuzzyfication of the net input values in FL. Membership values in two consecutive valid fuzzy input sets are processed in membership functions representing these sets, and net values of the input

parameter are calculated. In these calculations, relationships between membership functions of consecutive fuzzy sets are used.

The operations performed in the third step of the method given in the 4 steps above are similar to the search for the desired output by trial and error in the FL method. Although this situation seems like a contradiction, the operations performed in the first two steps allow the search for a solution in a very small subspace compared to a very large global solution space. In this way, the transaction volume that may be very large is reduced and a solution is found in a reasonable time. The operations performed in these four steps of the FIL method are explained in detail below on a parametric problem with three input parameters and one output parameter. It is worth mentioning here that choosing a problem with 3 input parameters below was chosen to visually increase the understandability of the method. It is possible to easily apply the FIL method to problems with many input and output parameters.

It is supposed that, there is a fuzzy model that is prepared and validated for the solution of a problem with three input variables such as A, B and C and an output such as O. This fuzzy model can be schematized in a three-dimensional space as shown in Figure 3.

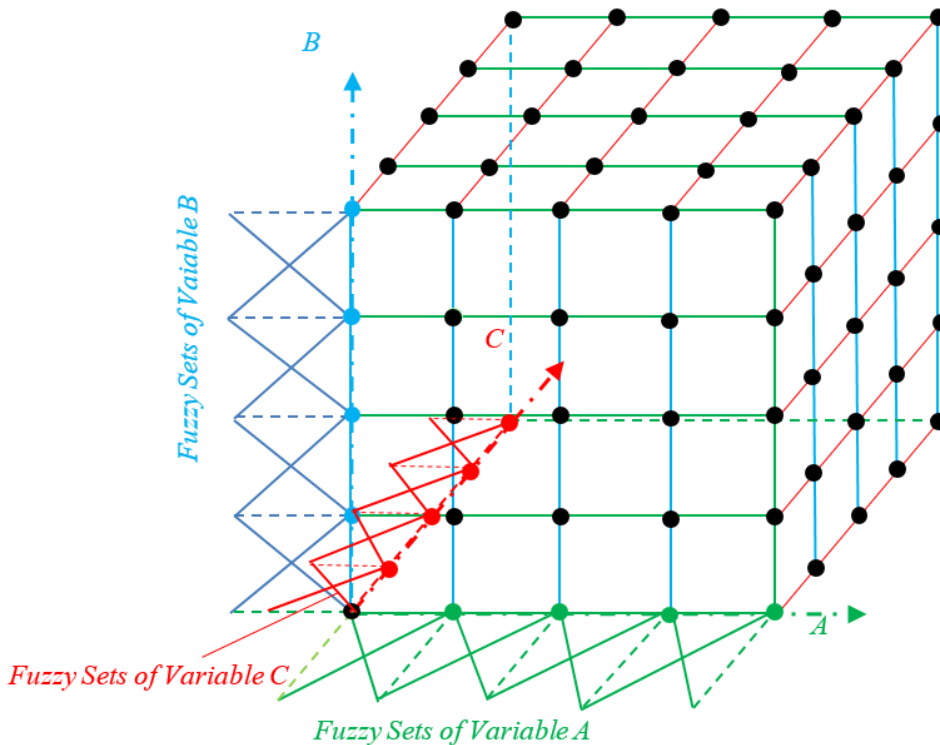


Figure 3. A fuzzy model schematized in 3D space

As can be seen from this figure, since the number of input parameters is 3, the dimension of this parametric problem is 3. Fuzzy sets of input parameters are shown on their respective axes with triangular membership functions in Figure 3. In this problem, if the input parameters A, B and C have the number of N_A , N_B and N_C fuzzy sets respectively, then $N_R = N_A \times N_B \times N_C$ rules must be used while constituting the fuzzy model. The fuzzy outputs of all these fuzzy rules are represented by solid dots in Figure 3. These points of which the net values and fuzzy sets of the input and output parameters are known, are landmarks in fuzzy output map. These points are vital points that guide and determinative in FIL computations.

The FIL calculation steps to be performed on a FL model constituted as described above are given below.

Step1- Determination of sub-solution spaces (valid rule groups)

- a) 0 dimensional output Searching
- b) 1 dimensional output Searching
- c) 2 dimensional output Searching
- d) 3 dimensional output Searching

Step 2- Determination of fuzzy koordinates of sub-solution spaces (determination of valid fuzzy sets of input parameters)

- a) For 1 dimensional output searching (for 1 dimensional su-solution space)
- b) For 1 dimensional output searching (for 1 dimensional su-solution space)
- c) For 1 dimensional output searching (for 1 dimensional su-solution space)

Step 3- Determination of memberships values of valid fuzzy sets of input parameters

Step-4 Determination of net values of input parameters

3.1.1 Determination of sub-solution spaces (valid rule groups)

The first step in FIL calculations is to determine in which region(s) the desired O_{desired} value can be in the 3-dimensional space given in Figure 3. In general, if the O_{desired} value is between the smallest net output value and the largest net output value in the net output space, it can be said that there is at least one O_{desired} value in this space. This also means that it is possible to have the O_{desired} value at more than one point in this space. Since the O_{desired}

value is a net value and consists of fuzzy sets in the output space, for a precise and accurate search, the net values or value ranges corresponding to the membership 1 of the fuzzy output sets in the output space should be used. In order to determine the location of the O_{desired} value, it is necessary to perform a combined search in all sub-dimensions of the global output space. In this 3D example, the solution searches to determine the valid solution space can be done as follows depending on the number of dimensions.

3.1.1.1 0 dimensional output searching

0 dimensional output searching means that the O_{desired} value is searched in the fuzzy output space without looking at any dimension. In other words, it means that the solution is searched at solid points in Figure 3 where none of the input parameters are variable. Another means of this is to investigate whether the O_{desired} value is equal to the net output of any $2^0=1$ of the SR rules. If it is detected that there is an O_{desired} value at the end of this research, Fuzzy rule(s) is/are determined, which output the fuzzy output set at the detected point(s).

Each of these rules is defined as a group of valid rules in 0 dimensional output searching searches. In 0 dimensional output searching operations, a rule group consists of 1 valid rule.

3.1.1.2. 1 dimensional output searching

In 1 dimensional output searching operations, one parameter of the problem is considered as variable and other parameters are considered as constant, and sub-solution space(s) where O_{desired} value may exist is searched. The searched solution space(s) is/ are actually one dimensional. This means that a solution will be searched between $2^1=2$ points.

Mathematically, this is the same as searching for a third point between two points whose coordinates are known. For this parametric problem, when the input parameter A is taken as variable and the other parameters are constant, whether there is an O_{desired} value on all the thick green lines that can be drawn between two solid points inside and on the surfaces of this cube is investigated. Two thick green lines drawn on the upper and front surfaces of the cube in Figure 4 can be given as two examples. The value of A parameter between the end points of this green thick lines are the same. Since both ends of a green lines correspond to the net values of two consecutive fuzzy output sets,

such as O_{X1} and O_{X2} , whose membership value corresponds to 1 at that both ends, the search is performed by checking whether the condition given by Eq 5 is met.

$$O_{X1-net} \leq O_{desired} \leq O_{X2-net} \tag{5}$$

After all of those processes described above are done for other parameters (B and C for blue and red lines respectively) in the problem, 1 dimensional output searching process is completed. The number of searching combinations to be performed in the 1-dimensional output searching process can be determined by the following formula.

$$Sn_{1D} = \frac{N!}{R!(N-R)!} = \frac{3!}{1!(3-1)!} = 3 \tag{6}$$

In this formula, N is the numbers of parameters in the problem, R is searching dimension and Sn_{1D} is the number of searching combinations.

At the end of this search, if it is revealed that there may be an $O_{desired}$ value on the line joining $2^1 = 2$ consecutive points, all the rules whose output corresponds to any of the fuzzy sets in these two points are valid rules for the solution. Rule groups that define all 1-dimensional sub-solution spaces by scanning the entire global solution space are determined at this stage. In 1 dimensional output searching, 1 rule group consists of 2 validrules.

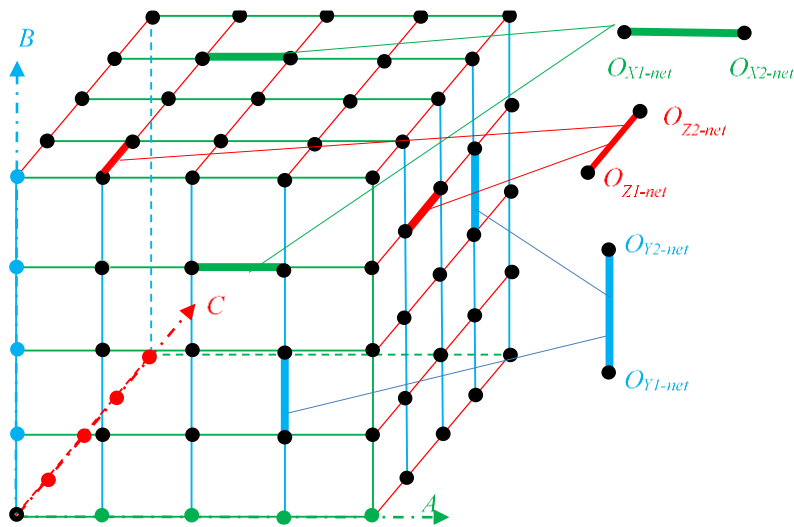


Figure 4. 1 dimensional Output Searching

3.1.1.3. 2 dimensional output searching

In 2 dimensional output searching, two parameters of the problem are taken into account as variables and the other parameter(s) are considered as constant, and sub-solution space(s) where the $O_{desired}$ value may exist is searched. Searched space(s) is/are two-dimensional surfaces. This means that a solution will be searched on a solution surface located between $2^2 = 4$ points. Mathematically, this is the same as investigating whether a desired point or points exist within a

surface whose coordinates are known at all four corners. The solutions searched on the solution surface can not be in point form, but can also be on a line or a curve in this surface (Figure 5a, 5b, 5c). If the searched $O_{desired}$ value is on a line or curve as shown in Figure 5b or Figure 5c, it means that there are infinite number of solutions. However, infinite number of solutions are not obtained in FIL computations. The number of solutions can be obtained in different numbers depending on the sensitivity determined in membership iterations and the acceptable error level.

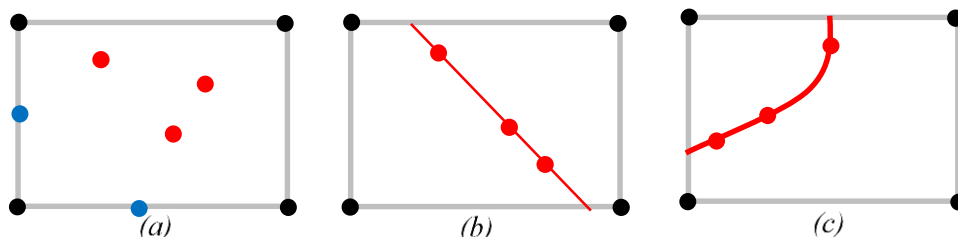


Figure 5. The existence of the $O_{desired}$ value searched in the 2-dimensional Output Searching operation in the sub-solution space (a) on a point, (b) on a line, (c) on a curve.

Some of the searched solutions (blue points) can be between any two of the horizontal or vertical black points shown in Figure 5 and defining the two-dimensional solution space. Such solutions, shown with blue points in Figure 5-a, are points that can also be obtained in a 1 dimensional output searching computations. The points shown in red in Figures 5a, 5b and 5c are solution points that cannot be obtained by the one-dimensional output searching computations. These red solution points

can only be obtained in 2 or more dimensional searching computations.

For the example problem, when input parameters A and B are taken as variables and the other parameter C is constant, on the front surface of the cube shown in Figure 6 and on the other layers parallel to this surface, (inside and on the surfaces of the cube) it is investigated whether there is an $O_{desired}$ value on all two-dimensional sub-solution spaces that can be created with 4 adjacent points.

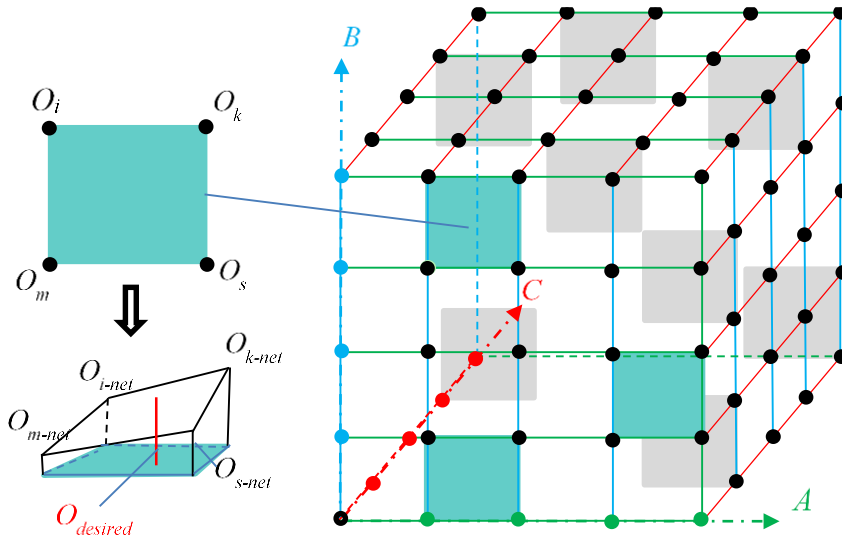


Figure 6. 2 dimensional output searching

As can be seen from Figure 6 that the O_i, O_k, O_m and O_s are fuzzy output sets and they correspond to the points i, k, m and n respectively. In order to prove the existence of the solution mathematically, $O_{desired}$ is compared with the net output values of $O_i,$

O_k, O_m and O_s with 1 membership value. In comparison, if the condition given in the Equation-7 is satisfied, the solution for $O_{desired}$ is available on the plane constituted by the points i, k, m and n.

$$\min(O_{i-net}; O_{k-net}; O_{m-net}; O_{s-net}) \leq O_{desired} \leq \max(O_{i-net}; O_{k-net}; O_{m-net}; O_{s-net}) \quad (7)$$

As stated above, when parameters A and B are taken as variables, sub-solution spaces are investigated in all other planes parallel to the plane created by these parameters.

In Equation 8, N is the numbers of parameters in the problem, R is searching dimension and Sn_{2D} is the number of binary searching combinations.

2 dimensional output Searching operations do not end with considering only A and B parameters as variables. 2 dimensional output searching is completed after all the remaining binary combinations of all input parameters (A with C and B with C) are also performed. The number of binary searching combinations to be performed in the 2-dimensional output searching process can be determined by the Equation-8.

At the end of this search, if it is revealed that there may be an $O_{desired}$ value on the surface constituted by $t^2 = 4$ adjacent points, all the rules whose output corresponds to any of the fuzzy sets in these four points are valid rules for the solution. Rule groups that define all 2-dimensional sub-solution spaces by scanning the entire global solution space are determined at this stage. In 2 dimensional output searching, 1 rule group consists of 4 valid rules.

$$Sn_{2D} = \frac{N!}{R!(N-R)!} = \frac{3!}{2!(3-2)!} = 3 \quad (8)$$

3.1.1.4. 3 dimensional output searching

In 3 dimensional output searching, three parameters of the problem are taken into account as variables and the other parameter(s) is/are considered as constant, and sub-solution space(s) where the $O_{desired}$ value may exist is searched. Searched space(s) is/are like three-dimensional volumes. This means that a solution will be searched on a solution volume located between $2^3 = 8$ points. The solutions searched in the three-

dimensional sub-solution space can be not only as a point, but also on a line, on a curve or on a surface, as in Figures 7a, 7b, 7c and 7d. If the $O_{desired}$ value(s) is/are located on a line, a curve or a surface as shown in Figure 7b, Figure 7c or Figure 7d, then an infinite number of solutions may be available. However, an infinite number of solutions are not obtained in FIL calculations. Different number of solutions can be obtained depending on the sensitivity determined in membership iterations.

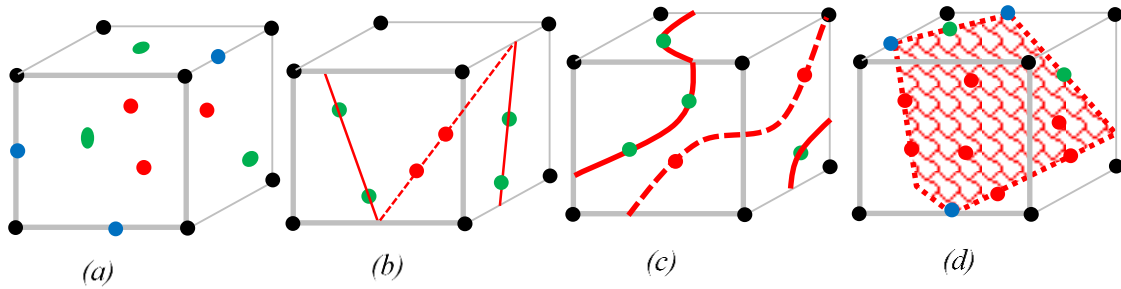


Figure 7. The presence of the $O_{desired}$ value searched in the 3-dimensional output searching operation in the sub-solution space (a) on a point, (b) on a line, (c) on a curve, (d) on a surface

The searched solutions (blue points) can be found between any two of the horizontal or vertical black filled points shown in Figure 7 that define a three-dimensional sub-solution space. Such solutions, shown with blue solid points in Figure 7- a, are the solutions that can also be found in a one-dimensional output search process. The searched solutions (green solid points), can be found between any 4 of the black solid points in the same

space defining two-dimensional subspaces of space. Such solutions, shown with green dots in Figure 7-b, are solutions that can also be found in two-dimensional search operations. Since the solid points shown in red in Figures 7a, 7b, 7c and 7d are located in 3-dimensional volumetric space, they cannot be found by one-dimensional and two-dimensional output search operations. For this, 3-dimensional searching are required.

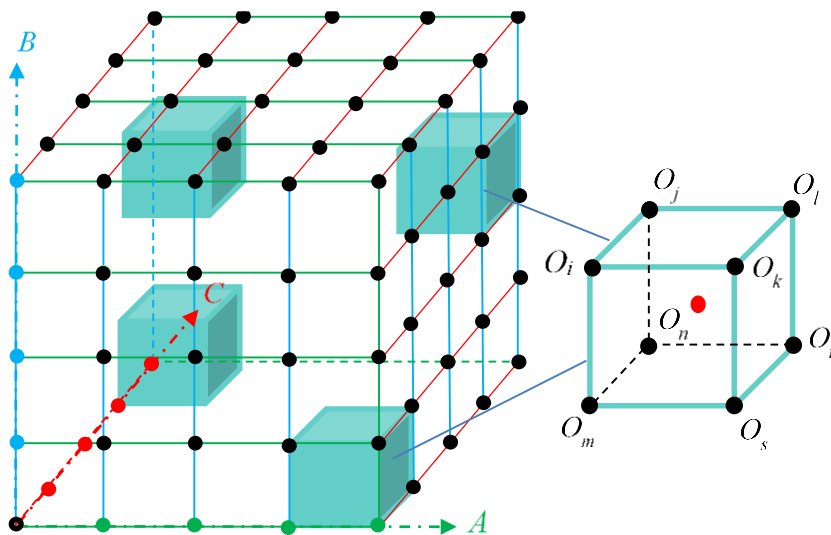


Figure 8. 3 dimensional output searching

For the explanatory problem, considering all input parameters A, B and C as constant, it is investigated whether the $O_{desired}$ value is available in all three-

dimensional subspaces constituted by adjacent $2^3 = 8$ points within small cubes in the big cube shown in Figure-8.

As can be seen from Figure 8 that the $O_i, O_j, O_k, O_l, O_m, O_n, O_s$ and O_t are fuzzy output sets and they correspond to the points i, j, k, l, m, n, s and t respectively. In order to prove the existence of the solution mathematically, $O_{desired}$ is compared with the net output values of $O_i, O_j, O_k, O_l, O_m, O_n, O_s$

$$O_{min} = \min (O_{i-net}; O_{j-net}, O_{k-net}; O_{l-net}; O_{m-net}; O_{n-net}; O_{s-net}; O_{t-net}) \tag{9}$$

$$O_{max} = \max (O_{i-net}; O_{j-net}, O_{k-net}; O_{l-net}; O_{m-net}; O_{n-net}; O_{s-net}; O_{t-net}) \tag{10}$$

$$O_{min} \leq O_{desired} \leq O_{max} \tag{11}$$

3 dimensional output searching operations end because there are 3 variables in this explanatory problem. However, if the number of variables (problem dimension) in the problem were greater than 3, just like in 2 dimensional searching, then 3 dimensional output searching should be performed for all triple combinations of variables.

The number of triple searching combinations to be performed in the 3-dimensional output searching process can be determined by the Equation-12.

$$Sn_{3D} = \frac{N!}{R!(N-R)!} = \frac{3!}{3!(3-3)!} = 1 \tag{12}$$

In Equation 12, N is the numbers of parameters in the problem, R is searching dimension and Sn_{3D} is the number of triple searching combinations.

At the end of this search, if it is revealed that there may be an $O_{desired}$ value on the sub-space constituted by $2^3 = 8$ adjacent points, all the rules whose output corresponds to any of the fuzzy sets in these eight points are valid rules for the solution. Rule groups that define all 3-dimensional sub-solution spaces by scanning the entire global solution space are determined at this stage. In 3 dimensional output searching, 1 rule group consists of 8 valid rules.

3.1.1.5. R dimensional output searching

In an R dimensional output searching, similar operations those of 1D, 2D and 3D is performed. The only difference is the number of variable parameters (dimension) in the searching operations. The solution is searched among all different 2^R adjacent points within the global solution space. In R dimensional output searching, 1 rule group consists of 2^R valid rules.

The number of searching combinations with R parameters to be performed in the R-dimensional

and O_t with 1 membership value. In comparison, if the conditions defined by Eq-9, Eq-10 and Eq-11 is satisfied, the solution for $O_{desired}$ is available in the space constituted by the points i, j, k, l, m, n, s and t .

output searching process can be determined by the Equation-13.

$$Sn_{3D} = \frac{N!}{R!(N-R)!} \tag{13}$$

In Equation 13, N is the numbers of parameters in the problem, R is searching dimension and Sn_{3D} is the number of searching combinations with R variable parameters. As understand from Eq-13 that R can not be greater than N. Thats mean, the biggest value of searching dimension (R) can equal to N.

3.2. Determination of fuzzy coordinates (valid fuzzy sets of input parameters) of sub solution spaces

At the end of sub-solution space searches in different dimensions, the points defining the region(s) where the $O_{desired}$ value can exist are determined. In other words, after all valid rule groups are determined, fuzzy input sets constitutes each rule in each rule group are determined. The most important feature of a sub-solution space is that they are defined by a single fuzzy input set with a membership value of 1 for constant input parameters, and by two consecutive fuzzy input sets for each of the variable input parameters. Since the fuzzy sets of the constant parameters in the problem are known and the value of their membership is equal to 1, their net values are also known. Therefore, there is no need to do anything in FIL for constant parameters.

However, the consecutive fuzzy sets of variable parameter(s) and their memberships must be determined. Since the net value of a variable parameter is searched in 2 consecutive fuzzy sets in FIL calculations, these consecutive fuzzy sets are named as valid fuzzy sets of the parameter in this study. Valid fuzzy sets of input parameters are fuzzy sets of input parameters in the rules that give the points as output that constitute the sub-solution

space determined in the previous step. The determination of these valid fuzzy sets is explained in detail below, depending on the number of variable parameters on the explanatory example or the dimension of the output searching operations.

3.2.1. Determination of valid fuzzy sets in 1 dimensional sub solution space

After 1-dimensional output searching operations, if the existence of the solution is proved by satisfying

the condition in Equation 5, the fuzzy sets such as A_{X1} and A_{X2} corresponding to the fuzzy outputs O_{X1} and O_{X2} (see Figure 9) in the rules that satisfy this condition are valid fuzzy sets of variable A. At that time other B and C variable parameters are constant. If variable parameter is B (A and C parameters are constant) in a 1 dimensional sub solution space then, two valid fuzzy sets belong to only variable B can be determined for an existing solution. Similar expressions can be written here for variable C parameter.

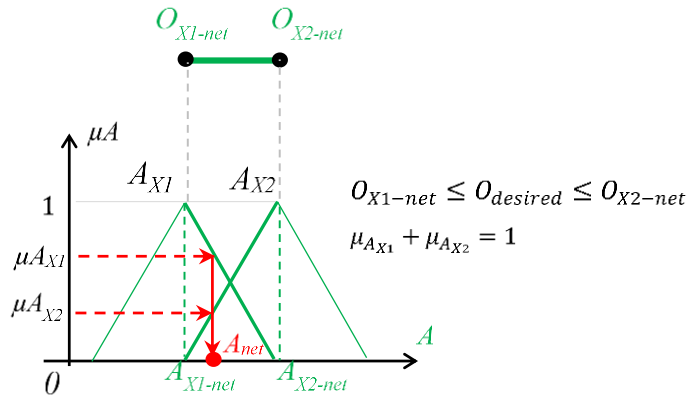


Figure 9. Valid fuzzy input sets and membership values for variable parameter A and A_{net} input value

3.2.2. Determination of valid fuzzy sets in 2 dimensional sub solution space

After 2-dimensional output searching operations, if the existence of the solution is proved by satisfying the condition in Equation 7, there are the two consecutive fuzzy sets such as A_{X1} and A_{X2} called valid fuzzy sets of variable A and also there are two

consecutive fuzzy sets such as B_{Y1} and B_{Y2} called valid fuzzy sets of variable B (See Figure 10). If variable parameters are A and B (C is constant) in a 2 dimensional sub solution space then, two valid fuzzy sets belong to each of the A and B variables can be determined for an existing solution. Similar expressions can be written here for other binary combinations of variables.

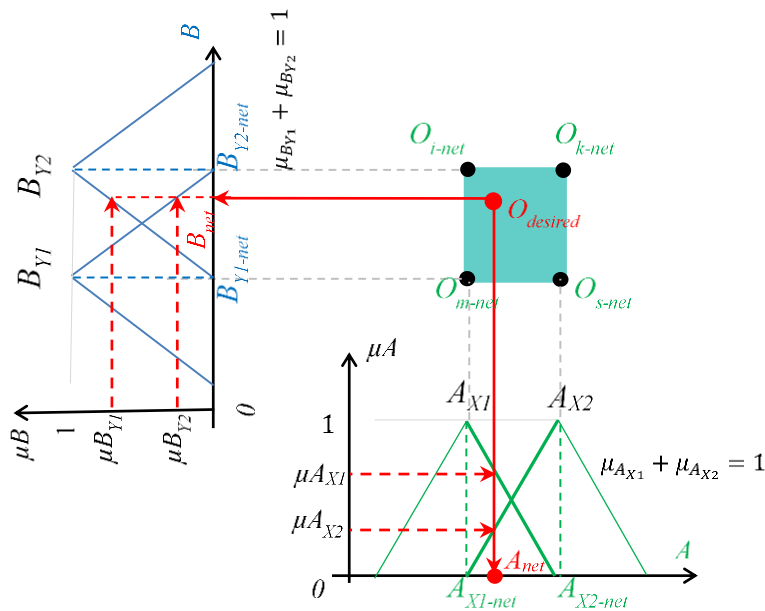


Figure 10. Valid Fuzzy input sets for variable A and B parameters, membership values and A_{net} and B_{net} input values

3.2.3. Determination of valid fuzzy sets in 3 dimensional sub solution space)

After 3-dimensional output searching operations, if the existence of the solution is proved by satisfying the condition in Equation 9, Equation 10 and Equation 11, there are the two consecutive fuzzy sets such as A_{X1} and A_{X2} called valid fuzzy sets of variable A, there are two consecutive fuzzy sets such as B_{Y1} and B_{Y2} called valid fuzzy sets of variable B and also there are two consecutive fuzzy sets such as C_{Z1} and C_{Z2} called valid fuzzy sets of variable C (See Figure 11). If all parameters are variable in a 3 dimensional sub solution space then, two valid fuzzy sets belong to each of the A, B and C variables can be determined for an existing solution. If the number of parameters are bigger than solution dimension, which is 3, similar

expressions can be written here for other triple combinations of variables.

If it needs to be expressed here in general, when R parameters vary in N dimensional sub solution space, the consecutive two consecutive fuzzy sets of each R variable parameters can be valid fuzzy sets. If there exist $(R < N)$, other parameter(s) of the problem is/are constant in this N dimensional sub solution space. When the rules which constitute N dimensional sub solution space are examined for an existing solution, it is understand that the only two consecutive fuzzy sets belong to the each variable are different. Each fuzzy sets of other parameter(s) is/are constant and do not vary. Selection of the two consecutive fuzzy sets belong to the each variable are done in this step.

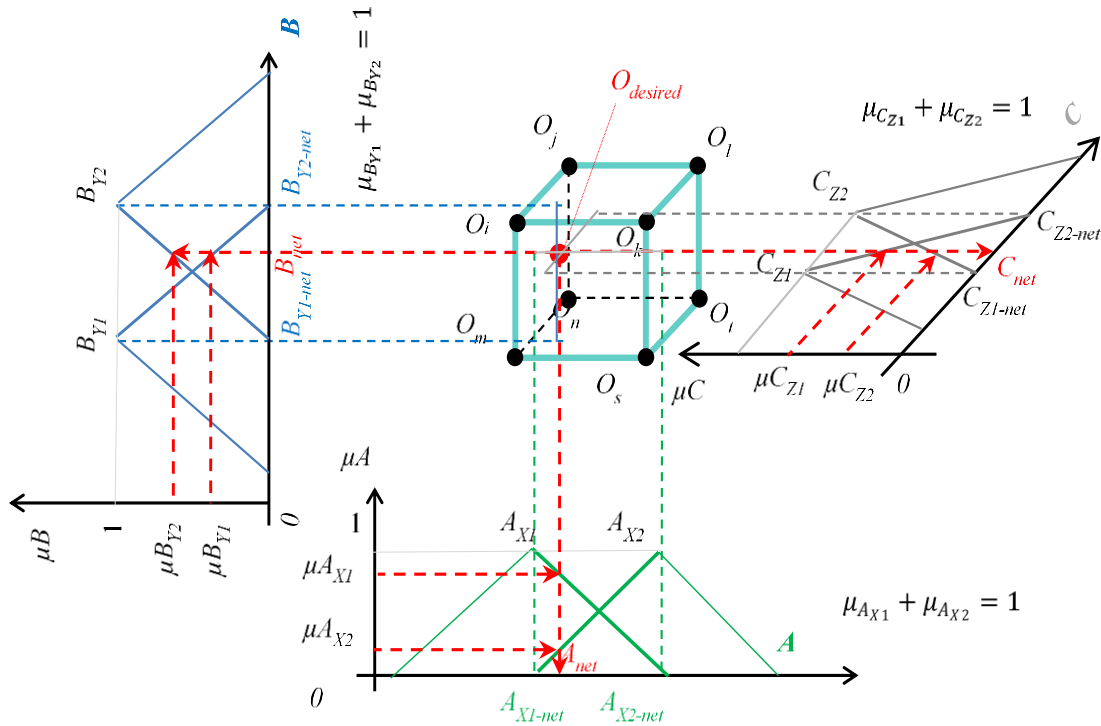


Figure 11. Valid Fuzzy input sets for variable A and B parameters, membersip values and A_{net} and B_{net} input values

3.3. Determination of memberships values of valid fuzzy sets

Memberships values of valid fuzzy sets of input parameters must be known to determine the net values of the input parameters that give the desired $O_{desired}$ value. In 0 dimensional output searching, membership values of valid fuzzy sets for each input parameter are constant and value is 1. For this reason, there is no need to make an extra computation for determining the membership value.

In output searching operations with a dimension greater than 0, the memberships of consecutive fuzzy input sets belonging to the input parameter of a variable are tried to be determined by iteration operations performed with the desired sensitivity between 0 and 1. Relationships between membership functions of consecutive fuzzy input sets are used in iterative determination of membership value.

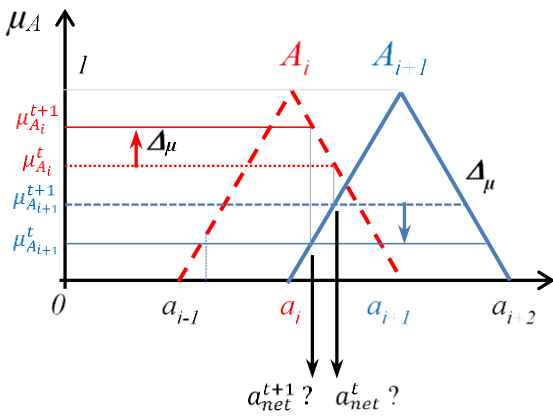


Figure 12. Membership iterations and membership sensitivity

As seen from Figure 12 that, the difference between membership values between two consecutive iterations such as t and t+1 is shown with $\Delta\mu$. The values of $\Delta\mu$ is increased, the membership sensitivity decreases. In order to perform sensitive computations in FIL method, value of $\Delta\mu$ may be chosen as small as possible. However, if the value of μ is chosen too small, too much iteration may be required in FIL calculations. Therefore, one should be careful in the choice of $\Delta\mu$. In addition, there is no need to iterate separately for both A_i and A_{i+1} fuzzy sets given in Figure 12 to determine membership values. The memberships of both A_i and A_{i+1} fuzzy sets can be determined with a single iteration by using the relationships between the membership functions of adjacent fuzzy sets. Since membership functions belonging to A_i and A_{i+1} fuzzy sets in Figure 12 are triangular membership functions, the relationship between membership functions of these two fuzzy sets is as given in equation 14. In addition, the expressions given by Equation-15 and Equation-16 are other relations that can be used for A_i and A_{i+1} fuzzy sets. Similarly, Equation 16- Equation 17 and Equation 18 are used for parameter B and Equation 19, Equation 20 and Equation 21 are used for parameter C in membership iterations in this explanatory example.

$$\mu_{A_{X_i}} + \mu_{A_{X_{i+1}}} = 1 \tag{13}$$

$$0 \leq \mu_{A_{X_i}} \leq 1 \tag{14}$$

$$0 \leq \mu_{A_{X_{i+1}}} \leq 1 \tag{15}$$

$$\mu_{B_{Y_j}} + \mu_{B_{Y_{j+1}}} = 1 \tag{16}$$

$$0 \leq \mu_{B_{Y_j}} \leq 1 \tag{17}$$

$$0 \leq \mu_{B_{Y_{j+1}}} \leq 1 \tag{18}$$

$$\mu_{C_{Z_k}} + \mu_{C_{Z_{k+1}}} = 1 \tag{19}$$

$$0 \leq \mu_{C_{Z_k}} \leq 1 \tag{20}$$

$$0 \leq \mu_{C_{Z_{k+1}}} \leq 1 \tag{21}$$

In FIL computations, iterations are performed for each parameter depending on the solution dimension. For solutions, these iterations are carried out not separately but in combination with each other. Therefore, as the number of parameters increases, an increasing number of iterations may be required. So, the extremely sensitive membership iteration selection may cause unnecessary transaction volume. However, membership iteration, which is not sensitive enough, may cause the solution not to be obtained.

It is not necessary to use only ordinary iterative methods to determine the membership values of the problem's fuzzy input sets. These membership values can be determined using many different methods that are available and widely used in the literature. With any of these methods, FIL analysis can be achieved much more effectively and in a shorter time or with less iteration. Which method or methods will be more effective to use for FIL calculations may be the subject of another study(ies).

3.4. Determination of net values of input parameters

The computations performed at this stage in the FIL method are the same as most computations made in classical FL. However, there are some differences between of them. However, there are some differences in the application of the FIL method. Valid fuzzy sets and membership values of these sets are used to determine the net values of the input parameters in FIL method. These memberships are determined by iterations as described previously, depending on the specific membership sensitivity. By taking into considering the solution dimension of the problem, all combinations of membership values are processed in fuzzy rules that constitute the fuzzy model. Not all fuzzy rules are used for this. Valid rules constituted with valid fuzzy sets of problem variables are used. The number of these valid rules is 2^N in a problem with N variables. The fuzzy outputs obtained from the valid rules are passed through the de-fuzzicator used in the fuzzy model on which the FIL method is applied, and the net

output value (O_{net}) is obtained. If the calculated O_{net} value is equal to the $O_{desired}$ value or is close to the $O_{desired}$ value with an acceptable error (e_a) the net values of the input parameters used in the calculation of the O_{net} value are the values searched in this problem. Since variable memberships in FIL computations are not computed based on the net value of variables, net values must be computed for membership values that provide equations (22) and (23). In FIL method, the computations required to determine the net input values of problem variables are the opposite of the fuzzification computations of net values performed at the beginning of the FL computations.

$$O_{net} = O_{desired} \quad (22)$$

$$O_{net} - O_{desired} \leq e_a \quad (23)$$

4. Summary and evaluations

The application of the FIL method, described in detail in the previous sections, on a FL model is schematically summarized in Figure 13. As can be understood from this figure, while valid fuzzy set memberships in classical FL calculations are obtained depending on the net values of the input parameters, in the case of applying the FIL method, the memberships of the valid fuzzy sets corresponding to the determined sub-solution spaces are determined by iterations between 0 and 1 values. After determining the membership values, the calculations performed in FL and FIL are the same until the net output values are obtained. After this stage, it is checked whether the desired output is achieved with the memberships determined by iterations in the FIL. These computations continue until solution (s) is/are found and/or membership iterations are completed. Net input values are obtained by the reverse application of the fuzzification in FL with the membership values for which the desired output is computed. Determination of sub-solution spaces in FIL method, finding valid rule and valid fuzzy sets, using relations between membership functions of valid consecutive sets, application of fuzzification in FL in reverse are the most important features that reduce the amount of computation volume.

Although the solution can be found in a very short time with FL computations, the solution time in FIL computations can be longer depending on the size and number of dimensions of the sub-space searched and membership iterations and membership sensitivity. This is an indication that humanbeings have more difficulty and need more thinking while inferring backwards. However, this

time is quite small besides the time taken to obtain the solution (s) by scanning the entire solution space by applying methods such as iterative or trial and error directly on a FL model without finding sub-solution spaces. On the other hand, while only one solution can be obtained in FL computations, many solutions can be obtained depending on the membership sensitivity and the dimension(s) and number of the space (s) that are searched in FIL computations. This situation, on the one hand, compensates for the time spent in solution, on the other hand, reveals the importance of the FIL method for problems where alternative solutions are very valuable. These general and brief evaluations, which are made here, are given together with sample applications in the second part of this study in detail. Thus, the validity and usability of the method has also been proven.

5. Conclusions

In this study, contrary to the FL method, which is based on the forward inference of human beings (output estimation from input values), the FIL method, which converts human beings' ability to make backward inferences (estimation of inputs that can give an output) into an algorithm on the same basis, is tried to be given. Some conclusions that can be drawn from this first part of the study are given below.

- The basis of the FIL method is the same as that of FL.
- The data used in the FL method can be used in the FIL method without any changes.
- The FIL method can be applied on a previously developed FL model.
- Unlike most methods, it is possible to make reverse inference and prediction with the FIL method.
- A lot of alternative solutions can be produced with FIL analysis.
- FIL computations can take more time than FL.
- FIL and FL together fully represent human inference behaviors.
- While FL allows one-way inference, its usage with FIL is much more effective and allows two-way inferences.

➤ The sensitivity of the FIL method and its ability to produce accurate results depend on the sensitivity of iterative membership computation and the accuracy and sensitivity of the FL model on which it is applied.

It is thought that the FIL method alone and with FL can be widely used in many areas.

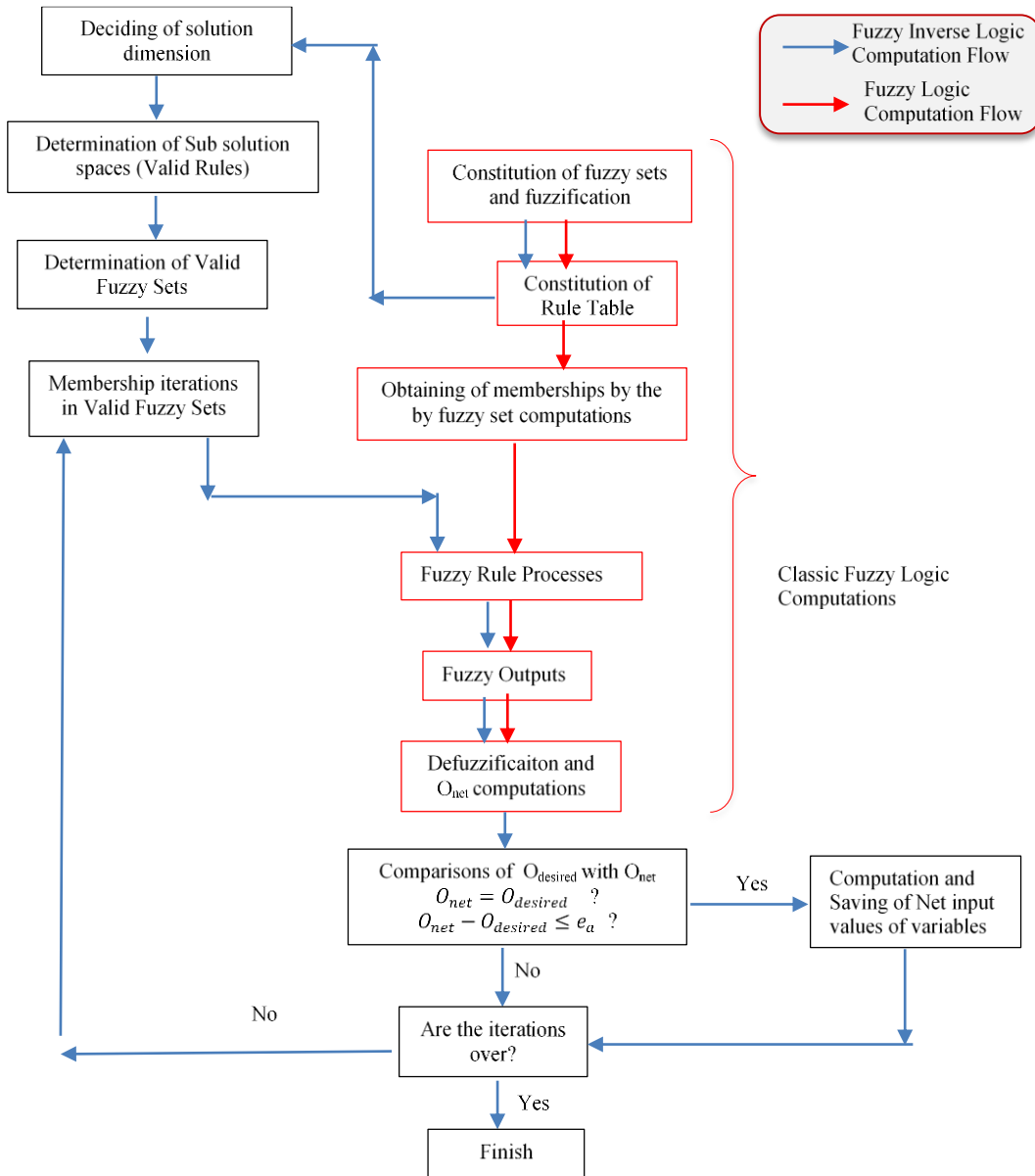


Figure 13. Schematic presentation of the application of FIL method on a fuzzy model

References

Altaş, İ. H. (1999a). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e,62, 80-85.

Altaş, İ. H. (1999b). Bulanık mantık: Bulanık denetim. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 64(1999), 76-81.

Altaş, I. H. (2017). Fuzzy Logic Control in Energy Systems with Design Applications in MATLAB®/Simulink® (91). IET.

Chopard, B. and Droz, M. (1998). Cellular automata (Vol. 1). Berlin, Germany: Springer.

Cvijović, D. and Klinowski, J. (1995). Taboo search: an approach to the multiple minima problem. Science, 267 (5198), 664-666. <https://doi.org/10.1126/science.267.5198.664>

Erdun, H. (2020). Fuzzy Logic Defuzzification (Bulanıklaştırma) Methods with Examples: Erişim adresi https://www.researchgate.net/publication/344196954_Fuzzy_Logic_Defuzzification_Bulaniklastirma_Methods_with_Examples

- Harris, J. (2005). Fuzzy logic applications in engineering science (Vol. 29). Springer Science & Business Media.
- Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44. <https://doi.org/10.1109/2.485891>
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 4, 1942-1948.
- Karaboga, D. and Akay, B. (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1), 108-132. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.090>
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. *International Journal of Man-Machine Studies*, 8(6), 669-678. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(76\)80028-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(76)80028-4)
- Moscato, P., Cotta, C. and Mendes, A. (2004). Memetic algorithms. In *new optimization techniques in engineering* (pp. 53-85). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Öztekin, E. ve Filiz, K. (2015). Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi. *Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, Bayburt.
- Parpinelli, R. S., Lopes, H. S. and Freitas, A. A. (2002). Data mining with an ant colony optimization algorithm. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 6(4), 321-332. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2002.802452>
- Pörge, B. (2019). Investigation of reliabilities of the triaxial concrete compressive strength models by fuzzy logic approach, *Yüksek Lisans Tezi*, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5508-5518.
- Ross, T. J. (2004). Fuzzy logic with engineering applications (Vol. 2). New York: Wiley.
- Terano, T., Asai, K. and Sugeno, M. (1992). Fuzzy systems theory and its applications. Academic Press Professional, Inc.
- Tanaka, K. (1997). An introduction to fuzzy logic for practical applications.
- Van Laarhoven, P. J. and Aarts, E. H. (1987). Simulated annealing. In *simulated annealing: Theory and applications* (pp. 7-15). Springer.
- Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*, 4(2), 65-85. <https://doi.org/10.1007/BF00175354>
- Yager, R. R. and Zadeh, L. A. (Eds.). (2012). An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems (Vol. 165). Springer Science & Business Media.
- Yang, X. S. and Gandomi, A. H. (2012). Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering Computations*, 29(5), 464-483. <https://doi.org/10.1108/02644401211235834>
- Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy Sets*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, (1), 28-44. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information Sciences*, 9(1), 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)

Farklı çimentolardan üretilen köpük betonlarda atık lastiklerin hafif agrega olarak kullanımı

Use of waste tires as lightweight aggregate in foam concrete produced from different cement

Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR^{1,a}, Gökhan KAPLAN^{2*,b}

¹Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 13.01.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 08.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 14.04.2021

Öz

Küresel ısınmanın artmasıyla birlikte günümüzde yapıların ölü yüklerini azaltmak ve ısı yalıtımı özelliklerini iyileştirmek için geleneksel betona alternatif çözümler aranmaktadır. Bu ihtiyaçlardan dolayı düşük birim ağırlık ve üstün termal özellikleri sahip köpük beton ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, farklı çimentolar ile farklı birim ağırlığa sahip köpük betonlar üretilmiştir. Çalışma kapsamında CEM II, CEM III ve CEM IV'den oluşan kompoze çimentolar kullanılmıştır. 30, 60 ve 90 kg/m³ köpük içeriği ile 9 farklı karışım elde edilmiştir. Köpük betonların üretiminde agrega olarak 0-1 mm boyutunda atık lastikler kullanılmıştır. Köpük içeriği arttıkça betonların görünür porozite ve su emme değerleri artarken birim ağırlık değerleri azalmıştır. Köpük betonların birim ağırlıkları 595-980 kg/m³ arasında değişmektedir. 28 günlük basınç dayanımları ise 0.53-1.56 MPa arasında değişmektedir. Köpük betonların köpük içeriği arttıkça su işleme derinliği azalmıştır. Köpük betonların su işleme derinlikleri 2.6-8.2 mm arasındadır. İki yönlü ANOVA analizi sonucunda çimento tipindeki değişim köpük beton özelliklerini etkilememektedir. Ancak köpük içeriğindeki değişim köpük beton özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. CEM III tipi çimentodan üretilen köpük betonların mekanik özellikleri diğer çimento tiplerine göre daha yüksek olmaktadır. Sonuç olarak çevre ve insan sağlığı açısından zararlı olan atık lastiklerin köpük beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Atık lastik agregası ile üretilen köpük betonların tuğladan daha iyi bir termal özellik göstereceği tahmin edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Atık lastik, Görünür porozite, Kılcallık, Köpük beton, Sürdürülebilirlik

Abstract

With the increase in global warming, alternative solutions to traditional concrete are being inquired today to reduce dead loads of structures and improve their thermal insulation properties. Due to these needs, foam concrete with low unit weight and superior thermal properties comes to the fore. In this study, foam concretes with different unit weight were produced with different cements. In the scope of the study, composite cements consisting of CEM II, CEM II and CEM IV were used. 9 different mixtures were obtained with foam contents of 30, 60 and 90 kg/m³. 0-1 mm waste tires were used as aggregate in the production of foam concretes. As the foam content increased, the apparent porosity and water absorption values of concrete increased, while the unit weight values decreased. The unit weights of foam concretes range from 595-980 kg/m³. 28-day compressive strength ranges from 0.53-1.56 MPa. As the foam content of foam concretes increased, the depth of water penetration decreased. Water penetration depths of foam concrete are between 2.6-8.2 mm. As a result of two-way ANOVA analysis, the change in cement type does not affect the properties of foam concrete. But the change in foam content can directly affect the properties of foam concrete. The mechanical properties of foam concrete produced from CEM III type cement are higher than other cement types. As a result, it was determined that waste tires that are harmful to the environment and human health can be used in the production of foam concrete. It is estimated that foam concrete produced with waste rubber aggregate will show a closer thermal property than brick.

Keywords: Waste tire, Apparent porosity, Capillarity, Foam concrete, Sustainability

*b Gökhan KAPLAN; gkaplan@atauni.edu.tr, Tel: (0442) 231 4927, orcid.org/0000-0001-6067-7337

^a orcid.org/0000-0003-0578-6965

1. Giriş

Kentleşme ve sanayileşmenin hızlı büyümesi, dünya çapında ulaşım araçlarının kalitesini ve miktarını artırmıştır. LMC Automotive tarafından yapılan tahminlere göre, 2024 yılına kadar araç filosu dünya çapında %25'ten fazla artacak ve AB'de yılda yaklaşık 355 milyon lastik üretileceği tahmin edilmektedir (Scott, 2016). Artan talepleri karşılamak için, otomobil endüstrisi lastik üretiminde hızlı bir artış göstermiştir. Bu lastikler, servis ömrünün bitiminden sonra açık depolama alanlarında saklanmaktadır (Adhikari vd., 2000). Dünya genelinde yılda yaklaşık olarak 1.5 milyar ton atık lastiğin açığa çıktığı tahmin edilmektedir (Mashiri vd., 2015). Bu kadar yüksek miktarda açığa çıkan atık lastiğin bertarafı için en kolay ve ucuz yöntem yakma işlemleridir. Ancak atık lastiklerin yakılarak bertaraf edilmesi hem yangın tehlikesini arttırmakta hem de çevreye büyük zarar vermektedir (Gesolu ve Güneyisi, 2011). Açık havada depolanan lastikler yağış sularını tutarak toprağa ulaşmasını engellemektedir. Ayrıca çeşitli böcekler için üreme alanları oluşturmaktadır (Dong vd., 2013). Bu yüzden atık lastiklerin ve diğer endüstriyel atıkların açık havada depolanması çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Kaplan vd., 2020; Oikonomou ve Mavridou, 2009). Kağıt veya cam gibi diğer ürünlerin aksine, yeni lastiklerin üretiminde geri dönüştürülmüş lastiklerin kullanılması, güvenlik önlemleri nedeniyle çok uygun olmamaktadır. Ayrıca artan lastik talebi hammadde tüketimini de arttırmaktadır (Pacheco-Torres vd., 2018). Bu yüzden son yıllarda atık lastiklerin inşaat mühendisliği alanında agrega olarak kullanılması çevre ve insan sağlığı için olumlu bir etki yaratmaya başlamıştır (Gupta vd., 2017, 2015, 2014). Atık lastiklerin kırılmış kauçuk formunda betona içerisinde agrega olarak kullanımına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Atık lastiklerin agrega olarak betonda kullanılması tokluk ve durabilite gibi özellikleri iyileştirmiştir (Afshinnia ve Poursaee, 2015; Ganjian vd., 2009; Si vd., 2018). Ancak atık lastik agregalarının yüzeyindeki bazı sorunlardan dolayı aderansa bağlı olarak mekanik özellikler azalmaktadır. Bu yüzden atık lastik agregalarında NaOH gibi bazı kimyasal maddeler kullanılarak yüzey iyileştirme işleminin yapılması önerilmektedir (Sofi, 2018). Yapılan bazı çalışmalarda atık lastik agregasından üretilen betonların taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabilirliğini belirtmiştir (Hassanli vd., 2017; Mendis vd., 2018). Günümüzde, atık lastiklerin çimento esaslı kompozitlerin içerisinde kullanılarak farklı alanlarda kullanılarak bertaraf edilmesi büyük hız kazanmıştır. Atık lastikler;

darbe bariyerleri, asfalt ve beton kaplamaların tasarımında, oyun ve spor alanlarının zeminini gibi potansiyel kullanım alanlarına da sahiptir (Jiang vd., 2018). Yüksek hacimde atık lastik agregası kullanılması ile hafif betonların elde edilebileceği belirtilmiştir (Wakchaure ve Chavan, 2014).

Hafif beton, birim ağırlığı 2000 kg/m³ altında olan ve genellikle hafif agregalar ile üretilen özel bir beton türüdür (Chandni ve Anand, 2018). Son yıllarda bir hafif beton türü olan köpük beton üzerine yapılan çalışmaların sayısı artış göstermektedir. Köpük beton, yapay hava kabarcıkları oluşturan köpük ajanı kullanılarak üretilen bir çimento harcı olarak tanımlanabilir. Birim ağırlığı 300-1800 kg/m³ arasında değişen köpük beton birbirinden bağımsız hücreli boşluklardan oluşmaktadır (Amran vd., 2015). Köpük beton; minimum agrega tüketimi, yüksek akışkanlık, porozite ve ısı yalıtımı, yangına dayanıklılık, düşük birim ağırlık ve yeterli basınç dayanımı gibi özelliklere sahiptir (Raj vd., 2019). Köpük beton hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanların üretiminde kullanılmaktadır. Yalıtım amaçlı hafif blok üretimi, dolgu amaçlı kullanıldığı gibi prefabrik sektöründe de tercih edilen bir beton türüdür (Ghorbani vd., 2019; Tarasov vd., 2010). Köpük beton üretiminde kullanılan köpüğün stabilitesi çok önemlidir. Stabilitate açısından problemlen olan köpük, betonda ayrışmaya ve birim ağırlık açısından homojen olmayan sonuçlara neden olur (Jones vd., 2016). Bununla birlikte köpük stabilitesini etkileyen birçok parametre olduğu için kontrolü oldukça zordur. Köpük ajanı türü ve dozajı, köpük üretim yöntemi, s/ç oranı ve agrega hacmi stabilite üzerinde etkili olan en önemli parametrelerdir (Ramamurthy vd., 2009). Karışım içerisinde kullanılan köpük içeriği betonun yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Köpük içeriği arttıkça porozite artmakta ve buna bağlı olarak basınç dayanımı azalmaktadır. Örneğin: 28 günlük basınç dayanımı 43 MPa'dan 0.6 MPa'ya düştüğünde betonun yoğunluğu 1800 kg/m³'den 280 kg/m³'e düşmüştür (Amran vd., 2015).

Köpük beton genellikle ısı, ses ve yangın yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzde daha çok yapısal olmayan elemanlar olan hafif blok üretimi için tercih edilmektedir. Bu yüzden köpük beton üretiminde agrega ve bağlayıcı olarak birçok endüstriyel atık kullanılmaktadır. Uçucu kül, taban külü, dökümhane cürufaları, atık EPS'ler, atık lastikler ve geri dönüş agregaları köpük beton üretiminde kullanılan bazı endüstriyel atıklardır (Akhund vd., 2017; Bayraktar, 2020; Kim vd.,

2020; Lee ve Hung, 2005; Mehrani vd., 2019; Van Deijk, 1991).

Bu çalışmada, çevresel açıdan büyük sorunlar ortaya çıkaran atık lastiklerin köpük beton üretiminde agrega olarak değerlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda farklı çimento tipleri kullanılarak farklı birim ağırlıklarda köpük betonlar üretilmiştir. Köpük betonların taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir.

2. Malzeme ve yöntem

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada üretilen köpük betonlar için CEM II B/LL 32.5R, CEM III/A 32.5N, CEM IV B/(P-V) 32.5 R tipi 3 farklı çimentolar kullanılmıştır.

Üretilen köpük betonlar yapısal olmadığı için basınç dayanımları 42.5 olan çimentolar tercih edilmemiştir. Köpük betonların tasarımında CO₂ emisyon değerleri ve maliyeti daha düşük olan kompoze çimentolar kullanılmıştır. Çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Köpük betonlarda birim hacim ağırlık (BHA) değerlerini azaltmak için hafif agrega olarak sadece atık lastikler kullanılmıştır. Atık lastiklerin tane boyutu 0-1 mm, tane yoğunluğu (doğru kuru yüzey) 0.90±5 g/cm³’tür. Atık lastiklerin su emme değeri ise %1.40 olarak belirlenmiştir. Atık lastiklerin kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Atık lastik ve çimentoların genel görünümü Şekil 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri

Oksit (%)	CEM II B/LL 32.5R	CEM III/A 32.5N	CEM IV B/(P-V) 32.5 R
CaO	60.2	48.7	41.2
SiO ₂	19.9	31.2	36.3
Al ₂ O ₃	2.9	9.4	9.9
Fe ₂ O ₃	4.0	2.3	5.4
MgO	1.7	3.9	1.4
K ₂ O	0.8	0.6	0.4
Na ₂ O	0.3	0.4	0.3
SO ₃	2.5	1.5	2.1
LOI	7.5	1.2	2.5
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık	2.95	2.96	2.66
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)	3900	3400	5100



Şekil 1. Malzemelerin genel görünümü

Tablo 2. Atık lastiklerin kimyasal özellikleri (Elementel Analizi)

Element	C	Zn	O	S	H	Na
%	93.2	2.2	1.9	1.6	0.8	0.3

Karışımların hazırlanmasında kullanılan köpük ajanına ait teknik özellikler Tablo 3’de verilmiştir. Köpük ajanı kullanılarak üretilen köpüğün yoğunluğu 120±10 g/l olarak belirlenmiştir.

Karışımların hazırlanmasında ve kür işleminde içilebilir nitelikte olan Kastamonu şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 3. Köpük ajanına ait teknik özellikler

Kimyasal bileşim	Sentetik sıvı (Hava sürükleyici esaslı)	
Görünüm (Renk)	Açık kahverengi	
Yoğunluk	1.03 ± 0.02 kg/l.	ISO 758
pH	5.0 ± 1	TS 6365 EN 1262
Klor içeriği (Cl)	< % 0.1	TS EN 480-10
Alkali içeriği	< % 5	TS EN 480-12
Donma noktası	- 5 °C	



2.2. Deneysel yöntemler

Köpük betonlarda çimento dozajı ve s/ç oranı tüm karışımlarda sabittir. Çimento dozajı 300 kg/m³, s/ç

oranı ise 0.75 olarak seçilmiştir. Karışımlarda 3 farklı çimento tipi ve köpük içeriği kullanılarak toplam 9 karışım üretilmiştir. Karışım oranları ve malzeme miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Köpük betonlara ait malzeme miktarları

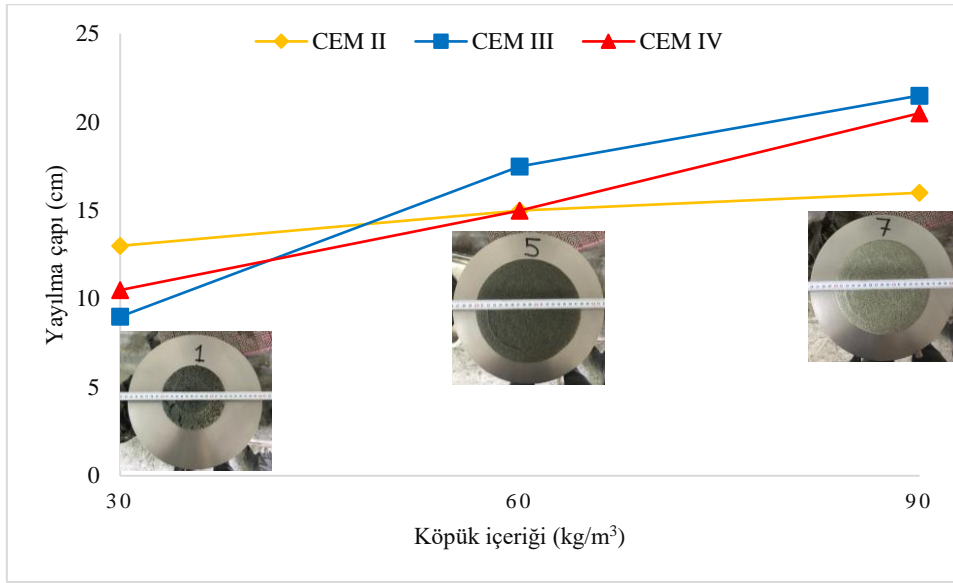
Karışım No.	Karışım özellikleri		Malzeme miktarları (kg/m ³)			
	Çimento tipi	Köpük İçeriği (kg/m ³)	Çimento	Atık lastik agregası	Su	Köpük
1	CEM II	30	300	304.0	225	30
2	CEM III		300	304.2	225	30
3	CEM IV		300	297.3	225	30
4	CEM II	60	300	204.0	225	60
5	CEM III		300	204.2	225	60
6	CEM IV		300	197.3	225	60
7	CEM II	90	300	104.0	225	90
8	CEM III		300	104.2	225	90
9	CEM IV		300	97.3	225	90

Tablo 4'de yer alan karışımlar Hobart tipi mikser ile hazırlanmıştır. Karışımlar üzerinde ilk olarak ASTM C 1437'ye (ASTM C1437, 2013) uygun olarak yayılma çapları belirlenmiştir. Köpük betonlar 24 saat sonra kalıplarından sökülerek deney gününe kadar standart kür işlemine başlanılmıştır. Karışımlar üzerinde 7 ve 28. günlerde eğilme (3 noktalı) ve basınç dayanımları gerçekleştirilerek mekanik özellikleri belirlenmiştir. Eğilme dayanımı deneyi ASTM C 348 (ASTM C348, 1998) standardına uygun olarak 40*40*160 mm³ boyutlu numunelerde gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı belirlendikten sonra ASTM C 349'a (ASTM C349, 2002) göre basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Köpük betonların fiziksel özellikleri ASTM C 642 (ASTM C642-13, 2013) standardına göre belirlenmiştir. Fiziksel özellikler 28. günde 50*50*50 mm³ ayrıtlı küp numunelerde belirlenmiştir. Köpük betonların kılcal yolla emdikleri su miktarı ASTM C 1585 (ASTM C 1585-04, 2004) standardına göre tespit edilmiştir. Kapilarite deneyi 28 günlük köpük betonlarda ve 50*50*50 mm³ boyutlarındaki küp numunelerde gerçekleştirilmiştir. Kapilarite deneyi su işleme derinliğinin belirlenmesi için ilk 24 saatlik zaman aralığında yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Köpük betonların taze hal özellikleri

Şekil 2'de köpük betonların çimento tipi ve köpük içeriğine bağlı olarak yayılma çaplarındaki değişim görülmektedir. Köpük içeriği arttıkça betonların yayılma çapları artmaktadır. CEM II tipi çimento kullanılan köpük betonların yayılma çapları 13-16 cm arasında değişmektedir. CEM III tipi çimento kullanılan köpük betonlarda köpük içeriği arttıkça yayılma nispeten daha çok artış göstermektedir. Köpük içeriğinin 90 kg/m³ olması durumunda yayılma çapı %138.9 oranında artış göstermiştir. CEM IV çimentosunda bu oran %95.2 olarak belirlenmiştir. CEM II çimentosundaki köpük içeriğinin artması yayılma çapını çok etkilememiştir. CEM III ve CEM IV çimentolarının yayılma çapını daha çok arttırmasının nedeni pasta hacmi ile ilişkilidir. CEM III ve CEM IV çimentoları CEM II çimentosuna göre Pasta hacmini daha çok arttırdığı için köpük betonların işlenebilirliği de artmıştır. Köpük içerisinde yer alan hava kabarcıkları da pasta bünyesine girdiğinde yine hacim artışına yol açtığı için işlenebilirlik artmaktadır. Yayılma çapı açısından CEM III ve IV tipi çimentolarda 60 ve 90 kg/m³ köpük içeriği kullanmak daha uygun olmaktadır.



Şekil 2. Köpük betonların yayılma çapları

Köpük betonun işlenebilirliği, viskoziteyi kontrol ederek görsel olarak değerlendirilebilir. Geleneksel betonda yaygın olarak kullanılan slump (çökme) testi düşük yoğunluklu köpük betonlar için uygun değildir (British Standard Institution, 2009). Köpük hacmi arttığında, karışımlar daha sert hale gelir ve işlenebilirliği korumak için daha yüksek su içeriğine ihtiyaç duyarlar (Krishnan ve Anand, 2018). Ayrıca köpük betonların taze birim hacim (BHA) ağırlığı azaldığında köpük betonun kendi kendine yayılma kabiliyeti de azalır, bu durum karışımdaki su ihtiyacını arttırmaktadır (Gowri ve Anand, 2018). Chen ve Li tarafından yapılan çalışmada karışım içerisindeki köpük hacmi arttıkça yayılma çapları artış göstermiştir. Köpüğün içindeki küresel kabarcıklar “bilyalı rulman” etkisi yaratarak karışımların işlenebilirliğini arttırdığı belirtilmiştir (Chen ve Liu, 2013).

3.2. Köpük betonların fiziksel özellikleri

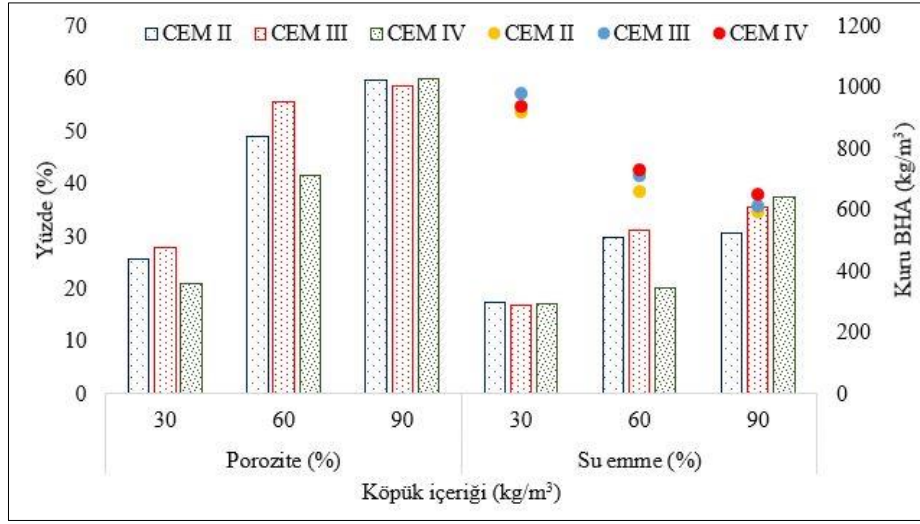
Şekil 3’de köpük betonların görünür porozite, su emme ve kuru BHA özellikleri verilmiştir. Sütun grafikler görünür porozite ve su emme değerlerini (Sol düşey eksen), Daire simgeler ise köpük betonların kuru BHA değerlerini (sağ dikey eksen) vermektedir.

Karışımlardaki köpük içeriği arttıkça köpük betonların görünür porozite ve su emme değerleri artmaktadır. Köpük içeriği 30 kg/m³ olan betonların görünür porozite değerleri %21.2-27.9 arasında değişirken, köpük içeriği 90 kg/m³ olduğunda görünür porozite değerleri %58.5-60

arasında değişmektedir. Köpük içeriğinin 90 kg/m³ olması halinde çimento tipinin görünür porozite üzerinde çok önemli bir etkisi bulunmaktadır. 30 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde CEM III tipi çimentodan üretilen köpük betonların görünür porozite değerleri nispeten daha yüksek olmaktadır. Bu durum CEM III üretiminde kullanılan YFC’nin gözenekliliğinden kaynaklanabilmektedir.

Köpük içeriği arttıkça betonların su emme değerleri artış göstermektedir. CEM IV çimentosundan üretilen köpük betonlarda köpük içeriğinin 30 kg/m³’den 60 kg/m³’e çıkarılması durumunda su emme değeri yaklaşık %18.8 oranında artmıştır. Köpük içeriği 90 kg/m³ olduğunda ise su emme oranı %116.6 artmıştır. 30 kg/m³ köpük içeriğine sahip köpük betonların su emme değerleri %20’nin altında iken 90 kg/m³ köpük içeriğine sahip köpük betonların su emme değeri %30’dan fazla olmaktadır. CEM II çimentosundan üretilen köpük betonların su emme ve görünür porozite değerleri genellikle diğer çimento tiplerine göre daha azdır.

Şekil 2’de görüldüğü gibi çimento tipinin kuru BHA üzerinde çok etkisi görülmemiştir. Köpük içeriği 30 kg/m³ olan karışımların BHA değerleri 920-980 kg/m³ arasında değişmektedir. BHA değerleri, 60 kg/m³ köpük içeriğinde 660-730, 90 kg/m³ köpük içeriğinde ise 590-640 kg/m³ arasında değişmektedir. Köpük içeriği arttıkça betonların içerisindeki hava kabarcığı oranı artmakta ve bunun sonucunda görünür porozite artmaktadır. Görünür porozitenin artması BHA değerlerini azaltırken su emme değerlerini arttırmaktadır.



Şekil 3. Köpük betonların fiziksel özellikleri (Sütün grafikler: Yüzde– Simgeler: Kuru BHA)

Chen ve Li, köpük hacmi arttıkça karışımların BHA değerlerinin azaldığını belirtmiştir (Chen ve Liu, 2013). Liv d. Tarafından yapılan çalışmada da köpük içeriği arttıkça karışımların görünür porozite değerleri artmış ve ısıl iletkenlik katsayıları azalmıştır (Li vd., 2019). Benzer sonuçlar Ahmed ve Chen tarafından yapılan çalışmada da gözlenmiştir (Ahmad ve Chen, 2019).

3.3. Köpük betonların mekanik özellikleri

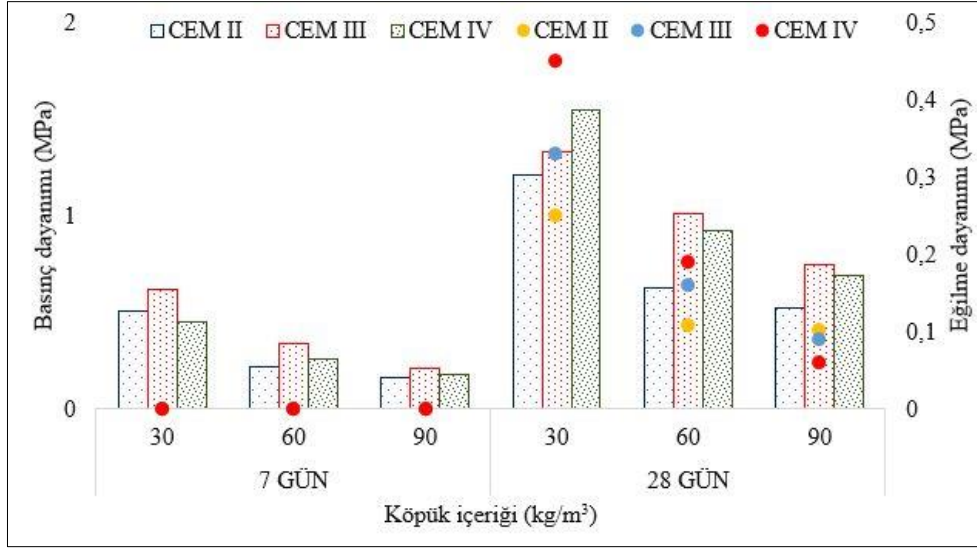
Köpük betonların 7 ve 28. günlerdeki basınç ve eğilme dayanımları Şekil 4’de sunulmuştur. Köpük betonlarda 7. günde gerçekleştirilen üç noktalı eğilme dayanım gözlenmemiştir. 28 günlük köpük betonlarda eğilme dayanımı 0.1-0.4 MPa arasında elde edilmiştir. Köpük içeriği arttıkça betonların eğilme dayanımları azalmaktadır. CEM IV tipi çimentolardan üretilen betonların daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu gözlenmiştir. CEM IV tipi çimentolardan üretilen köpük betonların görünür porozite değerleri daha düşük olduğu için eğilme dayanımları daha yüksektir. Görünür porozite değeri nispeten daha yüksek olan CEM II tipi çimentosundan üretilen köpük betonların eğilme dayanımı 0.24-0.10 MPa arasında değişmektedir. Köpük betonların 7 günlük basınç dayanımları 0.62-0.16 MPa, 28 günlük basınç dayanımları ise 0.63-1.55 MPa arasında değişmektedir. Köpük içeriğindeki artış hem 7 hem de 28 günlük basınç dayanımlarını azaltmıştır. Çimento tipleri açısından CEM III tipi çimento kullanımı genellikle basınç dayanımlarını daha çok arttırmaktadır. Kompoze çimentolarda kullanılan mineral katkıları puzolanik ya da filler etki göstererek dayanıma katkı sağlamaktadır. CEM III tipi çimentolarda kullanılan YFC kendi başına bağlayıcı olduğu için hidrolik özellikleri nispeten daha fazladır. Bu yüzden köpük beton üretiminde

CEM II ve CEM IV çimentolarına göre daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. 7 günlük basınç dayanımlarında CEM II ve CEM IV çimentolarının benzer özellik gösterdiği görülmektedir. 28. günde köpük içeriği arttıkça CEM III tipi çimento kullanımı daha uygun olmaktadır. CEM III tipi çimentonun özgül yüzey alanı fazla olduğu için işlenebilirlik problemlerine yol açabilmektedir. Bu yüzden CEM III tipi çimentolardan üretilen köpük betonlarda köpük içeriğinin artması işlenebilirlik açısından önem kazanmaktadır. CEM III ile üretilen köpük betonlarda işlenebilirlik artışı için köpük içeriği artırılmalıdır. 90 kg/m³ köpük içeriğinde CEM II çimentosu yerine CEM III çimentosu kullanılması durumunda 28 günlük basınç dayanımı %41.6 artmaktadır. 30 kg/m³ köpük içeriğinde ise CEM IV çimentosu kullanımı 28 günlük basınç dayanımını %28.1 arttırmıştır. CEM III tipi çimentonun atık lastik içerikli köpük betonlarda kullanımı daha uygun olmaktadır. Ayrıca YFC’nin pasta-agrega ara yüzeyini iyileştirdiğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Gao et al., 2005; Majhi and Nayak, 2020). Bu çalışmada da CEM III içerisinde yer alan YFC’nin pasta ve agregası arasındaki aderansı arttırdığı düşünülmektedir. CEM IV tipi çimentolarda puzolanik aktivite gelişimi tamamlanmadığı için basınç dayanımları daha düşük değerler almıştır.

Nambiar ve Ramamurthy tarafından yapılan çalışmada köpük içeriği arttıkça karışımların BHA değerleri azalmış ve buna bağlı olarak da basınç dayanımları azalmıştır. Köpük beton üretiminde görünür porozitenin basınç dayanımı üzerinde doğrudan etkili olduğu vurgulanmıştır (Nambiar ve Ramamurthy, 2006). Eltayeb vd., %30’a kadar atık lastikleri ince agregası yerine kullanarak farklı yoğunluklarda köpük betonlar üretmişlerdir. Atık

lastik içeriği arttıkça köpük betonların basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir (Eltayeb vd., 2020). Khan vd. yaptıkları çalışmada kuru BHA ve dayanım arasında $R^2=0.72$ değeri ile korelasyon

elde etmiştir. Köpük betonların BHA değerleri arttıkça basınç dayanımları da artış göstermektedir (Khan vd., 2019).

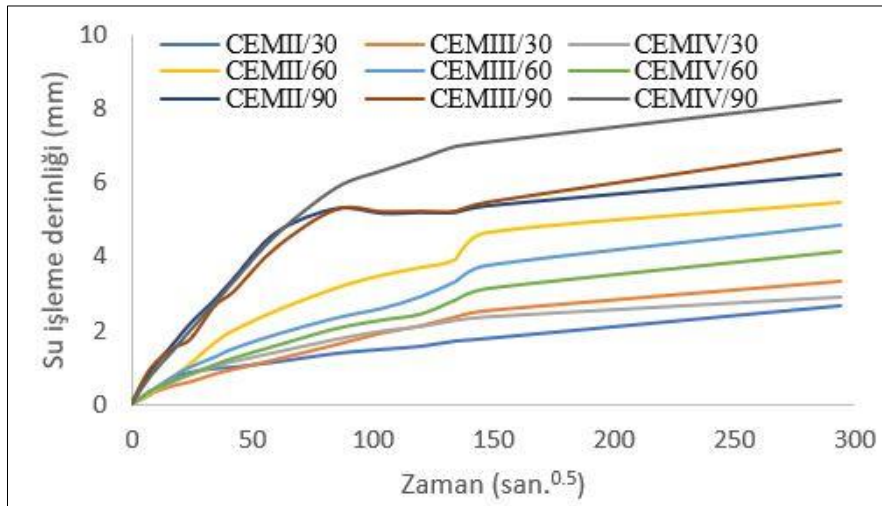


Şekil 4. Köpük betonların mekanik özellikleri (Sütün grafikler: Basınç dayanımı – Simgeler: Eğilme dayanımı)

3.4. Köpük betonların kapilarite özellikleri

Şekil 5’de 24 saat boyunca gerçekleştirilen kapilarite deneyi için su işleme derinlikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi köpük içeriği arttıkça su işleme derinlikleri azalmaktadır. 90 kg/m³ köpük içeriğine sahip betonların su işleme derinlikleri 2.6-3.3 mm arasında değişmektedir. Su işleme derinliği 60 kg/m³ köpük içeriğinde 4.1-5.4, 30 kg/m³ köpük içeriğinde ise 6.2-8.2 mm arasında değişmektedir. 90 kg/m³ köpük içeriğinde CEM II çimentosu su işleme derinliğini CEM IV çimentosuna göre %25.8 oranında azaltmıştır. Bu oran 30 kg/m³ köpük içeriğinde %31.3 olarak

belirlenmiştir. CEM IV çimentosundan üretilen köpük betonların su işleme derinlikleri genellikle daha fazladır. Su işleme derinlikleri açısından çimento tipleri CEM IV>CEM III>CEM II olarak sınıflandırılmıştır. Köpük içeriği arttıkça kılcal yolla emilen su miktarı azalmaktadır. Köpük içerisinde yer alan yapay hava kabarcıkları kılcal boşluklar ile bağlantıyı azalttığı için su emme oranı azalmaktadır. Köpük içeriği betonların görünür porozitesini arttırmakta ancak su işleme derinliğini azaltmaktadır. Hava kabarcıklarının birbirinden bağımsız olması bu özelliği ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 5. Köpük betonların zamana bağlı su işleme derinlikleri

Prim ve Wittmann gazbetonların kapilarite özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Gaz betonların kılcal yolla su emme özelliklerinin gözenek yapısı ile ilgili olduğunu belirlenmiştir. Yapay hava gözenekleri arttıkça gaz betonların kılcallık katsayıları azalmıştır (Prim ve Wittmann, 1983). Ayrıca literatürde köpük hacmi arttıkça kılcal yolla su emiliminin azaldığını belirten çalışmalar mevcuttur (Giannakou ve Jones, 2002; Nambiar ve Ramamurthy, 2007). Madjoudj vd. köpük betonların yoğunluğu azaldıkça kılcal yolla emilen su miktarının azaldığını belirtmiştir (Giannakou ve Jones, 2002).

3.5. Köpük betonların termal özellikleri

Literatürde köpük betonların termal özelliklerini inceleyen birçok çalışma yer almaktadır. Çalışmalarda termal özelliklerden olan ısı iletkenlik katsayısı (λ) dikkate alınmıştır. Pan vd. tarafından yapılan çalışmada köpük betonların basınç dayanımları 0.33-1.10 MPa, λ değeri ise 0.05-0.07 W/mK arasında değişmektedir (Pan vd., 2014). Jiang vd. 0.25-0.74 MPa basınç dayanımı aralığı için yaklaşık 0.050 W/mK λ değeri ölçmüştür (Jiang vd., 2016). Kılınçarslan vd tarafından yapılan çalışmada kuru BHA değeri 600

kg/m³ olan köpük betonların λ değeri 0.14-0.16 W/mK arasında değişmektedir (Kılınçarslan vd., 2018). Li vd. Tarafından yapılan çalışmada BHA değerleri 250-700 kg/m³ arasında değişen köpük betonlar üretilmiştir. Köpük betonların λ değeri 0.070-0.164 arasında değişmektedir (Li vd., 2019). Wei vd. tarafından üretilen köpük betonların görünür poroziteleri 0.11-0.84 arasında değişirken λ değeri 0.08-0.43 W/mK arasında değişmektedir (Wei vd., 2013).

Bu çalışmada atık lastiklerden üretilen köpük betonların λ değeri deneysel olarak belirlenememiştir. Üretilen köpük betonların BHA ve basınç dayanımı değerleri Kılınçarslan vd. (Kılınçarslan vd., 2018) ve Li vd. (Li vd., 2019) tarafından üretilen köpük betonlara benzerlik göstermektedir. Bu çalışmalarda BHA ile λ değeri arasında önerilen ampirik formüller kullanılarak atık lastik içerikli köpük betonların termal özellikleri yaklaşık olarak (tahmini) belirlenmiştir. Tablo 5'te atık lastikli köpük betonların yaklaşık λ değeri diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Tablo 5'te yer alan λ değerleri malzemelerin yoğunluklarına göre değişkenlik göstermektedir.

Tablo 5. Bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları

Yapı Malzemesi	Yöntem	λ (W/mK)
Bu çalışma	Li	0.14-0.22
(Atık lastikli köpük betonlar)	Kılınçarslan	0.15-0.20
Düsey delikli tuğla (EN 771-3, 2003)		0.50-1.40
Yatay delikli tuğla (EN 771-3, 2003)		0.18-0.45
Gazbeton (EN 771-3, 2003)		0.09-0.29
Bims blok (EN 771-3, 2003)	Deneysel	0.28-0.74
XPS (Vo vd., 2011)		0.030-0.040
EPS (Vo vd., 2011)		0.035-0.040

3.6. İstatistiksel analiz

Deneysel sonuçlara bağlı olarak gruplar arasındaki farklılığın belirlenebilmesi için iki yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA analizi ile çimento tipi ve köpük içeriğinin köpük beton özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. ANOVA analizi; yayılma çapı, görünür porozite, su emme, kuru BHA, 28 günlük basınç dayanımı ve su işleme derinlikleri için gerçekleştirilmiştir. İki yönlü ANOVA analizine ait sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'da görüldüğü gibi çimento tipi köpük beton özellikleri üzerinde etkili değildir. Ancak köpük içeriğinin değişmesi köpük betonun özelliklerini oldukça etkilemektedir. Hafif blok üretiminde kullanılan köpük betonda kompoze çimento tipinin çok önemli olmayacağı belirlenmiştir. Çünkü çimento tipine bağlı α değerleri 0.05 değerinden büyüktür. Ancak köpük içeriğindeki değişim fiziksel ve mekanik özellikleri değiştirmektedir. Köpük içeriğine bağlı α değerleri 0.05 değerinden küçüktür. Bu yüzden yapısal olmayan köpük beton tasarımında köpük içeriğine daha çok dikkat edilmelidir.

Tablo 6. İki yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Köpük beton özellikleri	İki Yönlü ANOVA ($\alpha=0.05$)							
	Değişkenler							
	Çimento tipi				Köpük içeriği (kg/m ³)			
	α	F	Etki (%)	Anlamlılık	α	F	Etki (%)	Anlamlılık
Yayıma çapı	0.833	0.20	2.4	Hayır	0.043	8.16	97.6	Evet
Görünür porozite	0.610	0.56	3.6	Hayır	0.011	14.96	96.4	Evet
Su emme	0.731	0.34	2.9	Hayır	0.024	11.26	97.1	Evet
Kuru BHA	0.229	2.30	5.1	Hayır	0.002	42.96	94.9	Evet
Basınç dayanımı (28 gün)	0.134	3.48	7.8	Hayır	0.002	41.29	92.2	Evet
Su işleme derinliği	0.902	0.11	0.9	Hayır	0.012	17.78	99.1	Evet

4. Sonuçlar

Köpük betonların üretimindeki köpük hacmi arttıkça yayılma çapları artmaktadır. Köpük içeriğinin 60 kg/m³ ve üzeri olması durumunda yayılma çapları 15 cm'den fazla olmaktadır. CEM III tipi çimentodan üretilen köpük betonların işlenebilirlikleri daha uygun olmaktadır. CEM II ve CEM IV çimentolarının Blaine değerlerinin yüksek olması işlenebilirliği nispeten azaltmıştır.

60 ve 90 kg/m³ köpük içeriğinde görünür porozite değerleri %50'den fazladır. Köpük içeriği arttıkça yapay hava kabarcıklarının sayısı artmakta buna bağlı olarak ta boşluk oranı artmaktadır. CEM IV çimentosundan üretilen köpük betonların görünür porozite değerleri daha düşük değerler almıştır. Bu durum çimentonun Blaine değerinin yüksek olması ile ilişkilidir. Köpük betonların görünür porozite değerleri arttıkça su emme değerleri de artış göstermektedir.

Köpük betonların BHA değerleri 595-980 kg/m³ arasında değişmektedir. Köpük içeriği arttıkça betonların BHA değerleri azalmaktadır. 90 kg/m³ köpük içeriğine sahip betonların BHA değerleri 645 kg/m³ değerinin altındadır. CEM IV tipi çimentolar görünür porozite değerini azalttığı için BHA değerlerini de nispeten arttırmıştır.

Köpük içeriğindeki artış köpük betonların mekanik özelliklerini azaltmaktadır. 30 kg/m³ köpük içeriğine sahip köpük betonların 28 günlük basınç dayanımları 1.3-1.5 MPa arasında değişirken 90 kg/m³ içeriğinde bu aralık 0.53-0.75 MPa arasında olmaktadır. Köpük betonların basınç dayanımları arttıkça 28 günlük eğilme dayanımları da artış göstermektedir. CEM III çimentosundan üretilen köpük betonlarda daha yüksek basınç dayanımları gözlenmiştir. Bu durum CEM III üretiminde kullanılan YFC ile açıklanabilmektedir. CEM II üretiminde kullanılan kalker sadece dolgu (filler) görevi yapmaktadır. CEM IV bünyesinde yer alan puzolanik malzemeler ise 28 günlük basınç

dayanımına etki edememiştir. YFC ise kendi başına bağlayıcılık gösterebilmesi ve bu malzemelere göre daha yüksek hidrolik özellikleri olması nedeniyle basınç dayanımını nispeten arttırmıştır.

Köpük içeriğindeki artış köpük betonlardaki su işleme derinliğini azaltmıştır. Birbirinden bağımsız olan yapay hava kabarcıkları kılcal yolla emilen su miktarını azaltabilmektedir. Çimento tipleri arasında ise su işleme derinliği açısından belirgin bir fark gözlenmemiştir.

İstatistiksel analiz sonucunda; çimento tipindeki değişim atık lastiklerden üretilen köpük betonların taze ve sertleşmiş özelliklerini etkilememektedir. Ancak köpük içeriğindeki değişim köpük beton özelliklerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Köpük beton üretiminde kompoze çimentoların kullanımı hem maliyeti azaltacak hem de CO₂ emisyonlarını azaltacaktır.

Sonuç olarak, agrega yerine atık lastiklerden üretilen köpük betonlara ait deneysel verilerin literatürdeki diğer köpük betonlara yakın olduğu gözlenmiştir. Köpük beton üretiminde atık lastik agregası kullanılarak gaz betona yakın bir blok eleman üretme imkanının olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Adhikari, B., De, D. and Maiti, S., (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. Progress in Polymer Science, 25, 909-948. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4)
- Afshinnia, K. and Poursaee, A., (2015). The influence of waste crumb rubber in reducing the alkali-silica reaction in mortar bars. Journal of Building Engineering, 4, 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.10.002>
- Ahmad, M.R. and Chen, B., (2019). Experimental research on the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay

- aggregate. *Composites Part B Engineering* 171, 46-60.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.025>
- Akhund, M.A., Khoso, A.R., Pathan, A.A., Memon, U. and Siddiqui, F.H., (2017). Influence of biomass aggregate on strength of foam concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 8 (8), 1645-1653.
- Amran, Y.H.M., Farzadnia, N. and Ali, A.A.A., (2015). Properties and applications of foamed concrete; A review. *Construction and Building Materials*, 101, 990-1005.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- ASTM C1437, (2013). Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, ASTM International.
- ASTM C 1585-04, (2004). Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes. ASTM International.
- ASTM C348, (1998). Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. ASTM International.
- ASTM C349, (2002). Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (Using portions of prisms broken in flexure). ASTM International.
- ASTM C642-13, (2013). Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, ASTM International. ASTM International.
- Bayraktar, O.Y., (2020). Piriñ kabuğu atıklarının köpük beton üretiminde kullanılması. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science*, 8(12), 2716-2722.
<https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i12.2716-2722.4010>
- Chandni, T.J. and Anand, K.B., (2018). Utilization of recycled waste as filler in foam concrete. *Journal of Building Engineering*, 19, 154-160.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.032>
- Chen, B. and Liu, N., (2013). A novel lightweight concrete-fabrication and its thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 44, 691-698.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.091>
- Dong, Q., Huang, B. and Shu, X., (2013). Rubber modified concrete improved by chemically active coating and silane coupling agent. *Construction and Building Materials* 48, 116-123
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.072>
- Eltayeb, E., Ma, X., Zhuge, Y., Youssf, O. and Mills, J.E., (2020). Influence of rubber particles on the properties of foam concrete. *Journal of Building Engineering*, 30, 101217.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101217>
- EN 771-1, (2003). Specification for masonry units - Part 1: Clay masonry units. European Standard.
- Ganjian, E., Khorami, M. and Maghsoudi, A.A., (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 23 (5), 1828-1836
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.020>
- Gao, J.M., Qian, C.X., Liu, H.F., Wang, B. and Li, L., (2005). ITZ microstructure of concrete containing GGBS. *Cement and Concrete Research* 35 (7), 1299-1304
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.042>
- Gesolu, M. and Güneyisi, E., (2011). Permeability properties of self-compacting rubberized concretes. *Construction and Building Materials*, 25 (8), 3319-3326
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.021>
- Ghorbani, Saeid, Ghorbani, Sahar, Tao, Z., de Brito, J. and Tavakkolizadeh, M., (2019). Effect of magnetized water on foam stability and compressive strength of foam concrete. *Construction and Building Materials*, 197(10) 280-290.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.160>
- Giannakou A. and Jones M.R., (2002). Potential of foamed concrete to enhance the thermalperformance of low-rise dwellings. *Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction: Proceedings of the International Conference* (pp. 533–544). Dundee.
- Gowri, R. and Anand, K.B., (2018). Utilization of fly ash and ultrafine GGBS for higher strength foam concrete, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012070>
- Gupta, T., Chaudhary, S. and Sharma, R.K., (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 73 (30), 562-574.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.102>

- Gupta, T., Sharma, R.K. and Chaudhary, S., (2015). Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume. *International Journal of Impact Engineering*, 83, 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2015.05.002>
- Gupta, T., Tiwari, A., Siddique, S., Sharma, R.K. and Chaudhary, S., (2017). Response assessment under dynamic loading and microstructural investigations of rubberized concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001905](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001905)
- Hassanli, R., Youssf, O. and Mills, J.E., (2017). Experimental investigations of reinforced rubberized concrete structural members. *Journal of Building Engineering*, 10, 149-165. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.006>
- Jiang, J., Lu, Z., Niu, Y., Li, J. and Zhang, Y., (2016). Study on the preparation and properties of high-porosity foamed concretes based on ordinary Portland cement. *Materials & Design*, 92, 949-959. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.068>
- Jiang, Y., Ling, T.C., Shi, C. and Pan, S.Y., (2018). Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete—A review. *Resources, Conservation and Recycling* 136, 187-197 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.023>
- Jones, M.R., Zheng, L. and Ozlutas, K., (2016). Stability and instability of foamed concrete. *Magazine of Concrete Research*, 68 (11) 542-549. <https://doi.org/10.1680/mac.15.00097>
- Kaplan, G., Öztürk, A.U. ve Uğur Kaplan, A.B., (2020). Çimento ve uçucu kül bünyesindeki ağır metallerin etkilerinin hidrasyon ve çevre sağlığı açısından incelenmesi. *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 305-313. <https://doi.org/10.21923/jesd.512389>
- Khan, Q.S., Sheikh, M.N., McCarthy, T.J., Robati, M. and Allen, M., (2019). Experimental investigation on foam concrete without and with recycled glass powder: A sustainable solution for future construction. *Construction and Building Materials*, 201, 369-379. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.178>
- Kilincarslan, Ş., Davraz, M. and Akça, M., (2018). The effect of pumice as aggregate on the mechanical and thermal properties of foam concrete. *Arabian Journal of Geosciences* 11. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3627-y>
- Kim, D.V., Cong, L.N., Van, L.T. and Bazhenova, S.I., (2020). Foamed concrete containing various amounts of organic-mineral additives. *Journal of Physics: Conference Series*, 1425. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012199>
- Krishnan, G. and Anand, K.B., (2018). Industrial waste utilization for foam concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012062>
- Lee YL, Hung YT., (2005). *Exploitation of solid wastes with foamed concrete*. London: Thomas Telford.
- Li, P., Wu, H., Liu, Y., Yang, J., Fang, Z. and Lin, B., (2019). Preparation and optimization of ultra-light and thermal insulative aerogel foam concrete. *Construction and Building Materials*, 205, 529-542. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.212>
- Majhi, R.K. and Nayak, A.N., (2020). Production of sustainable concrete utilising high-volume blast furnace slag and recycled aggregate with lime activator. *Journal of Cleaner Production*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120188>
- Mashiri, M.S., Vinod, J.S., Sheikh, M.N. and Tsang, H.H., (2015). Shear strength and dilatancy behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Soils and Foundations*, 55(3), 517-528. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.04.004>
- Mehrani, S.A., Bhatti, I.A., Bhatti, N.B., Jhatial, A.A. and Lohar, M.A., (2019). Utilization of Rubber powder of waste tyres in foam concrete. *Journal of Applied Engineering Sciences* 9(22), 87-90. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0011>
- Mendis, A.S.M., Al-Deen, S. and Ashraf, M., (2018). Flexural shear behaviour of reinforced Crumbed Rubber Concrete beam. *Construction and Building Materials*, 166, 779-791. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.150>
- Nambiar, E.K.K. and Ramamurthy, K., (2007). Sorption characteristics of foam concrete. *Cement and Concrete Research*, 37(9), 1341-1347. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.05.010>
- Nambiar, E.K.K. and Ramamurthy, K., (2006). Influence of filler type on the properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 28(5), 475-480. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.12.001>
- Oikonomou, N. and Mavridou, S., (2009). The use of waste tyre rubber in civil engineering works. *Sustainability of Construction Materials*, 213-238. <https://doi.org/10.1533/9781845695842.213>

- Pacheco-Torres, R., Cerro-Prada, E., Escolano, F. and Varela, F., (2018). Fatigue performance of waste rubber concrete for rigid road pavements. *Construction and Building Materials*, 176, 539-548.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.030>
- Pan, Z., Li, H. and Liu, W., (2014). Preparation and characterization of super low density foamed concrete from Portland cement and admixtures. *Construction and Building Materials*, 72, 256-261.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.078>
- Prim, P. and Wittmann, F. H., (1983). Structure and water absorption of aerated concrete. Wittmann F.H. (Ed.), *Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties*, (pp. 55-69). Elsevier.
- Raj, A., Sathyan, D. and Mini, K.M., (2019). Physical and functional characteristics of foam concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 221, 787-799.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
- Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E.K. and Indu Siva Ranjani, G., (2009). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388-396.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>
- Scott, E., (2016). End-of-life tyre report, european tyre & rubber manufacturers association, ETRMA.
- Si, R., Wang, J., Guo, S., Dai, Q. and Han, S., (2018). Evaluation of laboratory performance of self-consolidating concrete with recycled tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 180, 823-831.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.180>
- Sofi, A., (2018). Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 2691-2700.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.08.007>
- Tarasov, A.S., Kearsley, E.P., Kolomatskiy, A.S. and Mostert, H.F., (2010). Heat evolution due to cement hydration in foamed concrete. *Magazine of Concrete Research*, 62(12), 895-906.
<https://doi.org/10.1680/mac.2010.62.12.895>
- Van Deijk, S. (1992)., *Foamed Concrete*. Blackwater: A Dutch View, British Cement Association,
- Vo, C. V., Bunge, F., Duffy, J. and Hood, L., (2011). Advances in thermal insulation of extruded polystyrene foams. *Cellular Polymers*, 30(3), 137-156.
<https://doi.org/10.1177/026248931103000303>
- Wakchaure, M.R. and Chavan, P.A., (2014). Waste tyre crumb rubber particle as a partial replacement to fine aggregate in concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(6), 1206-1209.
- Wei, S., Yiqiang, C., Yunsheng, Z. and Jones, M.R. (2013). Characterization and simulation of microstructure and thermal properties of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1278-1291.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.027>

Çörtlerin betonun alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisi

The effect of cherts on alkali silica reaction of concrete

Hasan EKER*^{1,a}, Demet DEMİR ŞAHİN^{2,b}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

² Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 18.02.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 01.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 14.04.2021

Öz

Betonun durabilitesini etkileyen kimyasal reaksiyonlardan biri de alkali silika reaksiyonudur (ASR). Gümüşhane ilinde yer alan taş ocaklarının birçoğunda bol miktarda çörtler yer almaktadır. Bu çörtler delme patlatma yöntemiyle ana kayaktan ayrılarak elde edilen ince ve kaba agregalarla birlikte beton bileşeni olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Gümüşhane ilinin 3 farklı bölgesinden alınan çörtler (Akçakale, Gümüşhane ve Besyo), Gümüşhane üniversitesinde yer alan beton laboratuvarına getirilmiştir. Daha sonra farklı bölgelerden alınan 3 farklı çört ve referans numunesi için beton karışım hesabı yapılmış ve bu karışım hesaplarına göre ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu standardına göre beton örnekleri hazırlanmıştır. 3, 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için 3 adet hızlandırılmış harç çubuğu numunesi hazırlanmıştır. Her bir bölgenin çört karışımlarına ait harç numunelerinin 3, 7, 14 ve 28 gün sonundaki ASR ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; çört ile üretilen tüm numunelerin, referans numunesine göre daha yüksek boy değişimi değerine sahip olduğunu, kür süresine bağlı olarak boy değişim değerlerinin arttığını göstermiştir. 14 günlük boy uzama sonuçlarının ASTM C 1260'ta belirtilen % 0.1 zararsız agregalar için boy uzama limitini ve 28 günlük boy uzama sonuçlarının da % 0.2'den fazla boy uzaması değerlerini aştığı görülmüştür. Sonuç olarak; Akçakale, Gümüşhane ve Besyo çörtlerinin 14 ve 28 günlük kür süreleri göz önüne alındığında ASR açısından zararlı olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Agreg, Alkali silika reaksiyonu (ASR), Beton, Çört, Gümüşhane

Abstract

One of the most important chemical reactions affecting the durability of concrete is the alkali silica reaction (ASR). There are plenty of cherts in many of the quarries in Gümüşhane province. These cherts are used as concrete component together with fine and coarse aggregates obtained by separating from the bedrock by drilling and blasting method. In this study; The cherts (Akçakale, Gümüşhane ve Besyo) taken from 3 different regions of our province of Gümüşhane were brought to the concrete laboratory in our Gümüşhane University. Later, 3 different cherts and reference concrete mixtures taken from different regions were prepared and concrete samples were prepared according to ASTM C 1260 accelerated mortar bar standard. ASR measurements of the mortar samples belonging to the chert mixtures of each region at the end of 3, 7, 14 and 28 days were performed. The results are; it has shown that all samples produced with cherts have a higher length change value than the reference sample, and the length change values increase depending on the curing period. It is observed that 14-day lengthening results exceed the lengthening limit for 0.1 % hazardous aggregates specified in ASTM C 1260 and 28-day lengthening results exceeding the lengthening values of more than 0.2 %. As a result; It was understood that Akçakale, Gümüşhane and Besyo cherts were harmful to ASR considering the curing times of 14 and 28 days.

Keywords: Aggregate, Alkali silica reaction (ASR), Concrete, Chert, Gümüşhane

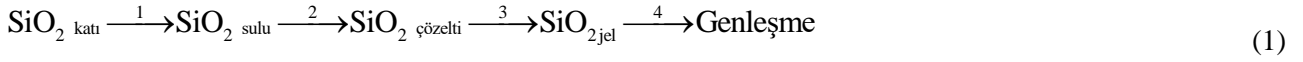
*a Hasan EKER; eker_hasan78@hotmail.com, Tel: (0544)7397903, orcid.org/0000-0003-2644-4681

^b orcid.org/0000-0003-0338-65621

1. Giriş

Beton; agregası (ince ve kaba agregası), çimento, suyun, kimyasal ve mineral katkı maddelerin ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak karıştırılması sonucu elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olan ve zamanla katılaşıp sertleşen yapı malzemesi olarak ifade edilmektedir (Baradan, 2004). Betonda bazı reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlardan biri de alkali silika reaksiyonudur.

Alkali-silika reaksiyonu 1940'lı yıllarda Stanton (1940) tarafından ortaya konulmuştur. Alkali silika reaksiyonu (ASR), betonun durabilitesini etkileyen en önemli kimyasal reaksiyonlardan biridir (Karakurt ve Topçu, 2011; Demir ve Arslan, 2013; Gökçe vd., 2013; Yurtdas vd., 2013; Adıgüzel vd. 2019; Gökçe vd., 2019). Bu ASR reaksiyonu;



Betonda ASR; genleşme, çatlama, yüzeysel tortu oluşumuna, parça atmasına ve yer değiştirmelere sebep olmaktadır. Bu durumların oluşumu betonda istenmemektedir. ASR oluşumu; kullanılan agreganın özelliklerine, betonun alkali içeriğine, betonun geçirimsizliğine, nem durumuna, ortam sıcaklığına gibi faktörlere bağlıdır (Rajabipour vd., 2015). ASR'nin gerçekleşmesi; reaktif agregalar, yüksek su içeriği ve yüksek konsantrasyon sahip alkali varlığının aynı anda ortamda olması ile oluşmaktadır (Charpin ve Ehrlacher, 2012).

ASR çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler; agregası özellikleri, betonun alkali içeriği, betonun geçirimsizliği, nem durumu, ortam sıcaklığı, dış alkaliler, buz çözücü tuzlar, deneysel koşullar, reaktif silika içeriğidir (Lindgard vd., 2012; Gao vd., 2013). Agregası içeriğinin de bulunan çörtte, ASR'ünü etkileyen faktörlerden biridir.

Çört, bir grup olarak, silisli kayalar için kullanılan genel bir terimdir. Bir çört, kimyasal olarak çöktürülmüş bir tortul kaya olup, esasen monomineraliktir ve başlıca mikrokristalin, kalsedonik kuvars ile birlikte alt megakuvarsdan oluşmaktadır (Folk, 1980). Çörtler, % 95 veya daha fazla silika içerebilir. Kimyasal olarak etkisiz, yıpranmaya ve değişime karşı oldukça dirençli, jeokimyasal çalışmalar için uygundur (Eker vd., 2012). Bu kayalar Prekambriyenden Tersiyere kadar değişik yaşlardaki dizilerde yaygın olarak bulunmalarına karşın, tüm tortul kayaların yaklaşık % 1'den daha az bir kısmını oluşturmaktadırlar. Çoğunlukla mikrokristalen

betonun bünyesinde bulunan nem ile birlikte genişleyen bir jelin oluşmasını sağlayarak yeterli derecede ve miktarda alkali etkisinin oluşmasına neden olur. Bu jel hacim artışına ve şişmeye sebep olduğundan betonda çatlakların oluşmasına neden olan çekme gerilmelerini oluşturmaktadır (Demir, 2010; Demir ve Arslan, 2013; Çelik ve Şahbaz, 2017).

ASR hasarı, Eşitlik 1'de verilen bir dizi ardışık reaksiyonun sonucudur: bu reaksiyon; yarı kararlı silikanın çözünmesi (1), nano-koloidal silika çözeltisinin oluşumu (2), çözeltinin jelleşmesi (3) ve jelin şişmesi (4) (Rajabipour vd., 2015) şeklinde meydana gelir. Bu reaksiyonlar arasında, silika çözünmesi genellikle en yavaş olanıdır (Brantley vd., 2008) ve bu nedenle, öncelikle betondaki ASR oranı kontrol edilmelidir.

kuvarstan meydana gelmektedirler. Buna çok az miktarlarda kalsedon ve olasılıkla opal de eşlik etmektedir. Opal duraysız olup, zamanla kuvarsa dönüşür (Çörtler, 2020).

Betonda kullanılan agregaların bünyesinde bulunan çörtün alkali reaktif olabileceği belirtilmektedir. Japonya, ABD ve İngiltere'de yapılan bazı çalışmalarda çört içeren betonların alkali silika reaksiyonuna neden olduğu belirtilmektedir (Gogte, 1973; Williams vd., 1982; Nishiyama vd., 1989; Jones, 1989; Morino, 1989; Swamy, 1992; Strogon, 1993; Wakizaka, 2000; Larbi ve Visser, 2002; Bektas vd., 2004, 2008; McNally vd., 2004; Richardson, 2005; Iwatsuki ve Morino, 2008).

Gümüşhane ilinde yer alan taş ocaklarının birçoğunda agregası malzemesi olarak bol miktarda çörtler yer almaktadır. Bu çörtler delme patlatma yöntemiyle ana kayaktan ayrılarak elde edilen ince ve iri agregalarla birlikte beton bileşeni olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Gümüşhane ilinin 3 farklı bölgesinden alınan çörtlerin, betonda agregası bileşeni olarak kullanılması ile hazırlanan harçlarının alkali silika reaksiyonu (ASR) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Böylece; Gümüşhane bölgesinde çört içeren ocaklardan alınan agregaların, beton üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metod

Deneysel çalışmalarda çimento, agrega, Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B) bölgelerinden elde edilen çörtler ve şebeke suyu kullanılmıştır.

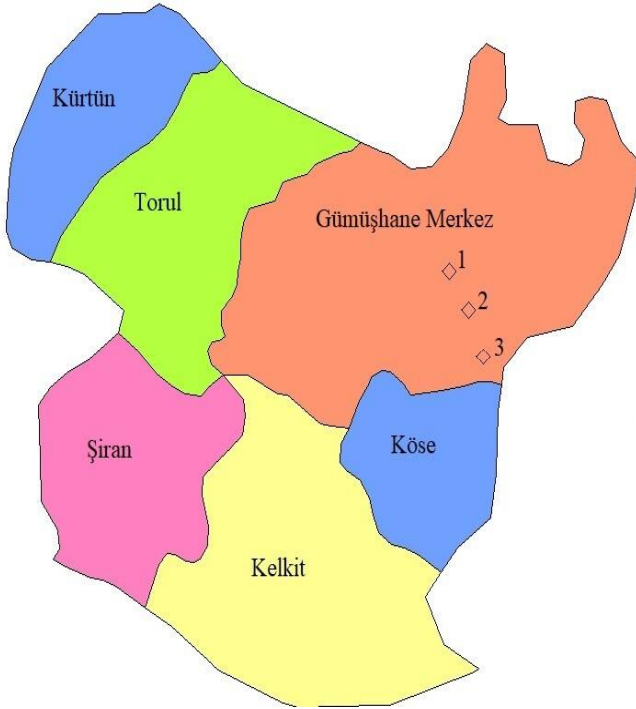
2.1. Kullanılan malzemelerin özellikleri

Hazırlanan harç karışımlarında CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmış ve Gümüşhane

Aşkale çimento fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3.08 g/cm^3 , özgül yüzey alanı $4145 \text{ cm}^2/\text{g}$, 45μ elek üstü % 8.58'dir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre; kızdırma kaybı % 7.19, serbest CaO % 0.38, SiO₂ % 18.59, SO₃ % 2.89'dir. Çimentonun kendine özgü fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R tipi çimentonun özellikleri

Kimyasal Analizler (%)		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.59	İncelik (45μ elek üstü %)	8.58
Al ₂ O ₃	4.69	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3.08
Fe ₂ O ₃	3.04	Özgül Yüzey (cm^2/gr)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2s-33 dk
MgO	1.92	Priz Sonu (saat-dk)	3s-18 dk
SO ₃	2.89	Hacim Genişlemesi (mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı %	29.9
Na ₂ O	0.11		
K ₂ O	0.64		
CI	0.0189	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	
Ölçülemeyen	0.57	2.Gün	23.9
Toplam	100	28.Gün	51.1
s.CaO	0.38		
Katkı%	17.87		



Şekil 1. Çalışmada kullanılan çörtlerin yer buldur haritası

Referans beton harçlarının bileşiminde kullanılan agregalar Gümüşhane yöresine ait kireçtaşlarından oluşmaktadır. Referans olarak tabir edilen kireçtaşı agregası; Gümüşhane ilindeki taş ocaklarında yer alması ve beton santrallerinde bu kayacın kullanılması nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmada

kullanılan çörtler ise Gümüşhane ilinde yer alan Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B) bölgelerinden tedarik edilmiştir (Şekil 1). Tablo 2'de G, B ve A bölgelerinden alınan çörtlerin kimyasal özellikleri verilmiştir. G, B ve A bölgelerinin ve kireçtaşının (kullanılan agrega)

sırasıyla özgül ağırlıkları 2.69 g/cm³, 2.64 g/cm³, 2.67 g/cm³ ve 2.77 g/cm³'tür. Özgül yüzey alanları ise 1108 cm²/g, 1280 cm²/g, 889 cm²/g ve 952 cm²/g'dır.

Tablo 2'de hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde kullanılan agrega ve çörtlerin kimyasal özellikleri verilmiştir. Ayrıca karışımlarda Gümüşhane ili şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 2. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde kullanılan agrega ve çörtlerin kimyasal özellikleri

Çörtler	Kızdırma Kaybı (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
Gümüşhane	18.14	54.43	2.36	4.17	14.43	5.04	0.03	0.55	0.11
Akçakale	1.38	90.54	2.41	1.88	0.66	0.09	0.00	0.42	0.10
Besyo	10.09	54.83	0.55	0.70	14.32	7.01	0.01	0.05	0.00
Kireçtaşı (Agrega)	43.67	3.64	1.40	0.41	30.16	18.19	0.00	0.39	0.00

Tablo 3. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde kullanılan agrega ve çörtlerin karışım miktarları

Malzeme Türü	Elek Serisi					S/C*	Su (ml)	Çimento (g)
	No:4 (4.75-2.36 mm)	No:8 (2.36-1.18 mm)	No:16 (1.18 mm- 600 µm)	No:30 (600-300 µm)	No:50 (300-150 µm)			
	% 10	% 25	% 25	% 25	% 15			
Doğal agrega	99 g	247.5 g	247.5 g	247.5 g	148.5 g	0.47	206.8	440
Çörtler	99 g	247.5 g	247.5 g	247.5 g	148.5 g	0.47	206.8	440

* S/C, su/çimento oranı olarak ifade edilmiştir.

2.2. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

Gümüşhane ilinin 3 farklı bölgesinden alınan çörtler (Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B)), Gümüşhane üniversitesinde yer alan beton laboratuvarına getirilmiştir. 3 farklı bölgeden elde edilen çörtler, ilk önce çeneli kırıcı vasıtasıyla boyut küçültme işlemine tabi tutularak 5 mm altına düşürülmüştür. ASTM C 1260 standardında belirtilen ve her bir elek aralıkları için belirlenen miktarda çört agregası hazırlanmıştır (Tablo 3). Daha sonra Tablo 3'te verilen elek serilerine ve verilen miktarlara göre çört içermeyen referans numuneleri ve 3 farklı bölgeden alınan çörtlerden oluşan beton numuneleri ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu standardına göre hazırlanmıştır. 3, 7, 14 ve 28 gün kür süreleri için 3 adet hızlandırılmış harç çubuğu numunesi üretilmiştir. Hazırlanan harç çubukları saf su içerisine yerleştirilerek 80 ± 2.0 °C sabit ısıdaki etüvde 24 saat bekletildikten sonra numunelerin ilk boy değerleri ölçülmüştür. 900 ml saf suya, 40 g sodyum hidroksit eklenerek NaOH çözeltisi hazırlanmıştır ve bu çözelti ASR kabini içerisine konulmuştur. Sonrasında hazırlanan numuneler,

çözeltiyle dolu kabin içerisine yerleştirilmiştir. Bu kabinin sıcaklığı standart gereği 80 °C'de sabit ısıda tutulmuş ve belirlenen kür süresine kadar harç numuneleri bu kabin içerisinde bekletilmiştir. Her bir bölgenin çört karışımlarına ait harç numunelerinin 3, 7, 14 ve 28 gün sonundaki ASR boy değişim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de hızlandırılmış harç çubuğu deneyi aşamaları gösterilmiştir. Birim boy değişim yüzdeleri belirlemede Eşitlik 2 kullanılmıştır:

$$\% L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (2)$$

Eşitlikte;

%L = Boy değişim yüzdesi,

ΔL = Örneğin boy değişimi (mm),

L = Örneğin ilk uzunluğunu (mm) göstermektedir.

ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu standardına göre harç numunelerinin 14 gün bekletildikten sonra limit değeri ≤ % 0.10 ise reaktif olmadığı, % 0.10 - % 0.20 arasında ise şüpheli, ≥ % 0.20 ise reaktivite potansiyeli olduğu belirtilmektedir (ASTM C 1260, 2014).

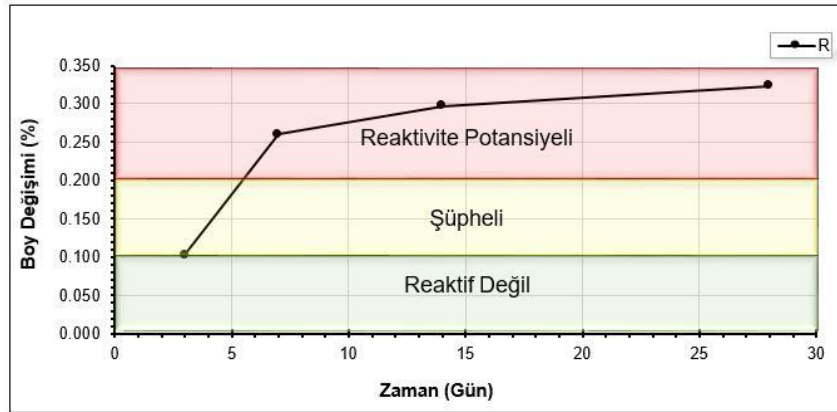


Şekil 2. Hızlandırılmış harç çubuğu deney aşamaları

3. Bulgular ve tartışma

Referans (R) beton harcı, Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B) çörtlerini içeren beton harç karışımlarının 3, 7, 14 ve 28 gün sonundaki ASR sonuçları Şekil 3-Şekil 6'da verilmiştir.

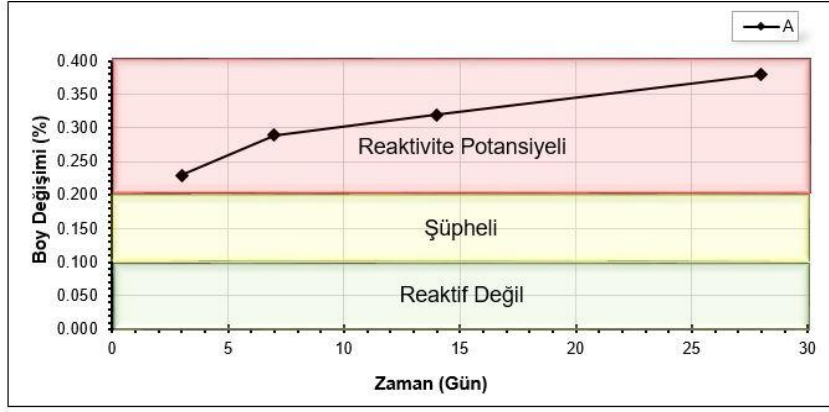
Şekil 3'te görüldüğü üzere; referans numunesinin kür süresine bağlı olarak boy değişiminin zamanla arttığı görülmektedir. 3. gün ASR ölçümünden 7. gün ölçümüne 2.5 kat, 7. günden 14. güne 1.1 kat, 14. günden 28. güne ise 1.08 kat artış gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Referans beton numunesi ASR sonuçları

Akçakale (A) çört numunesi ASR sonuçlarında da kür süresi bağlı olarak boy değişim değerlerinde bir artış söz konusudur. 3. gün ASR ölçümünden 7. gün ölçümüne 1.26 kat, 7. günden 14. güne 1.1 kat, 14. günden 28. güne ise 1.2 kat artış

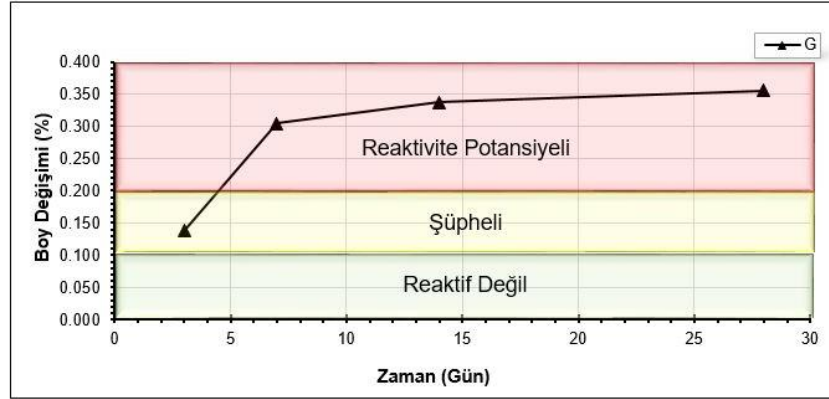
gerçekleşmiştir. Referans numunesine göre A olarak adlandırılan çörtün ASR geliştirmesi açısından etkisinin fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Akçakale çört numunesi ASR sonuçları

Şekil 5'te görüldüğü üzere; Gümüşhane (G) çört numunesinde de diğer numunelerde olduğu gibi ASR sonucu kür süresine bağlı olarak ASR boy değişim değerlerinde artış meydana gelmiştir. 3. gün ASR ölçümünden 7. gün ölçümüne 2.21 kat, 7.

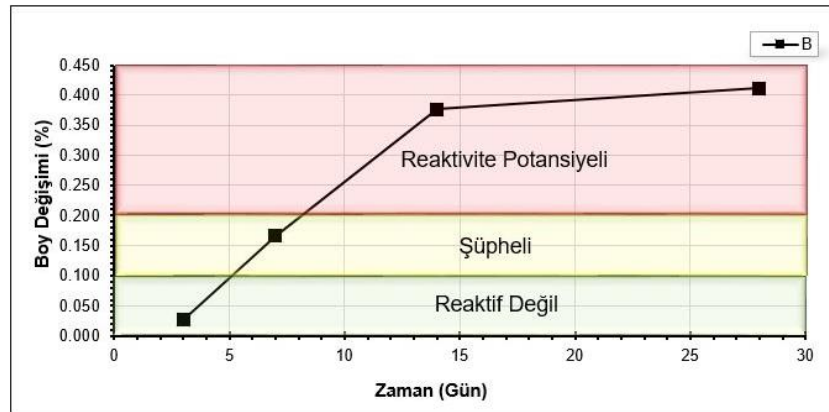
günden 14. güne 1.11 kat, 14. günden 28. güne ise 1.05 kat artış gerçekleşmiştir. Referans numunesine göre G olarak adlandırılan çörtün ASR etkisini artırdığı görülmektedir.



Şekil 5. Gümüşhane çört numunesi ASR sonuçları

Besyo (B) çört numunesinde de diğer numunelerde olduğu gibi ASR sonuçları kür süresine bağlı olarak boy değişim değerlerinde artış meydana gelmiştir. 3. gün ASR ölçümünden 7. gün ölçümüne 6.29 kat, 7. günden 14. güne 2.26 kat, 14.

günden 28. güne ise 1.09 kat artış gerçekleşmiştir. Referans numunesine göre B olarak adlandırılan çörtün de ASR oluşturma etkisini artırdığı görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Besyo çört numunesi ASR sonuçları

Gümüşhane ilindeki 3 farklı bölgeden alınan Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B) çörtlerinin beton harcında kullanımı karışımı olumsuz etkileyerek daha fazla ASR oluşmasına sebep olmuştur. Abd-Allah vd. (2018) çalışmasında belirttiği üzere; mevcut karbonat ve çört agregalarının kimyasal bileşimleri, üretilen betonda ASR reaksiyonlarının meydana gelmesine ortam hazırlamaktadır. ASR, beton gözeneklerindeki alkaliler (Na^+ , K^+) arasında oluşmaktadır ve agregalardan çözünen silika alkali-silika jel oluşturmaktadır. Böylece oluşan jel suyu emerek ve sertleşmiş betonun parçalanması için gerekli genleşme (şişme) kuvvetinin oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca Prezzi vd. (1997), Bektas vd., (2004), Bektas vd., (2008), Moundougou vd., 2014 Baingam vd., (2015) çalışmalarında olduğu gibi çörtlerin bünyesinde alkali iyonlarının yer alması ASR etkisinin referans numunesine göre daha fazla olmasına yol açmıştır. Bununla birlikte; ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu standardına göre A, G, B çörtlerinden oluşan harç numunelerinin 14 gün bekletildikten sonra limit değerlerinin \geq % 0.20 üzerinde olduğu ve reaktivite potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu standardına göre Gümüşhane ilinin 3 farklı bölgesinden alınan çörtler (Akçakale, Gümüşhane ve Besyo) ve kireçtaşı agregası kullanılarak hazırlanan numuneler; 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda ASR ölçümlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak;

- 1) Kullanılan bütün çörtlerin, referans numunesine göre daha yüksek boy değişimi değerine sahip olduğu, ASR'nu artırarak beton özelliklerini olumsuz etkilediği,
- 2) Kür süresine bağlı olarak boy değişim değerlerinin arttığı,
- 3) 14 günlük boy uzama sonuçlarının ASTM C 1260'ta belirtilen % 0.10 zararsız agregalar için boy uzama limitini aştığı ve % 0.20 değerini de aşarak reaktivite potansiyeline sahip olduğu,
- 4) Akçakale (A), Gümüşhane (G) ve Besyo (B) çörtlerinin tamamının 14 ve 28 günlük kür sürelerinde ASTM C 1260 standardında belirtilen sınır değerlerini aştığından dolayı betonda kullanılmaları durumunda alkali silika

reaksiyonu ile betonu olumsuz yönde etkileyecekleri anlaşılmıştır.

Teşekkür

Yazarlar olarak bu çalışmamızda bizlerden yardımlarını esirgemeyen Gümüşhane Aşkale Çimento Sanayii T.A.Ş ve çalışanlarına, Ustaoglu Grup Hazır Beton ve çalışanlarına, Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Bölümü Öğr. Gör. İbrahim AKPINAR hocamıza teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- Abd-Allah, A. M. A., Baghdady, A. R. and Dawood, Y. H. (2018). Adequacy of carbonate aggregates as an alternative for chert aggregates in concrete manufacture. *Construction and Building Materials*, 181, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.019>.
- Adiguzel, D., Bascetin, A. and Baray, S., A. (2019). Determination of Optimal Aggregate Blending to Prevent Alkali-Silica Reaction Using the Mixture Design Method. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(1), 20160441. <https://doi.org/10.1520/jte20160441>.
- ASTM C 1260-14 (2014). Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- Baingam, L., Nawa, T., Iwatsuki, E. and Awamura, T. (2015). ASR formation of reactive chert in conducting model experiments at highly alkaline and temperature conditions. *Construction and Building Materials*, 95, 820-831. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.179>.
- Baradan, B., (2004). Yapı malzemesi II, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:207, ss:222, İzmir.
- Bektas, F., Topal, T., Goncuoglu, M. C. and Turanlı, L. (2008). Evaluation of the alkali reactivity of cherts from Turkey. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1183-1190. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.02.002>.
- Bektas, F., Turanlı, L., Topal, T. and Goncuoglu, M., C. (2004). Alkali reactivity of mortars containing chert and incorporating moderate-calcium fly ash. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2209-2214. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.007>.
- Brantley, S., L., Kubicki, J., D. and White, A., F. (2008). *Kinetics of water-rock interaction*, Springer, New York, 2008.

- Charpin, L. and Ehrlacher, A. (2012). A computational linear elastic fracture mechanics-based model for alkali-silica reaction. *Cement and Concrete Research*, 42(4), 613-625. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.01.004>.
- Çelik, M. Y. and Şahbaz, A. (2017). Ilıca (Kütahya) Bazaltının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 887-898. <https://doi.org/10.2339/politeknik.369061>
- Çörtler (2020, Ağustos 4), Silisli sedimanter kayaçlar (Çörtler) ve demirli sedimanter kayaçlar, Türkçe jeoloji bilgi sayfası, https://www.jeolojitr.com/2011/09/silisli-sedimanter-kayaclarcortler-ve_27.html, (04.08.2020)
- Demir, İ., (2010). Alkali-silika reaksiyonu etkisine maruz aynioranda silis dumani ve uçucu kül içerenharçların mekanik özellikleri. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 749-758.
- Demir, İ. and Arslan, M. (2013). The mechanical and microstructural properties of Li₂SO₄, LiNO₃, Li₂CO₃ and LiBr added mortars exposed to alkali-silica reaction. *Construction and Building Materials*, 42, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.059>
- Eker, C. S., Sipahi, F. and Kaygusuz, A. (2012). Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. *Geochemistry*, 72(2), 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2011.11.004>.
- Folk, R.L., (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill, Austin, TX, 79.
- Gao, X. X., Multon, S., Cyr, M. and Sellier, A. (2013). Alkali-silica reaction (ASR) expansion: Pessimism effect versus scale effect. *Cement and Concrete Research*, 44, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.10.015>.
- Gogte BS. (1973). An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali aggregate reactions. *Engineering Geology*, 7, 135-54.
- Gökçe, H. S., Şimşek, O. and Korkmaz, S. (2013). Reduction of alkali-silica reaction expansion of mortars by utilisation of pozzolans. *Magazine of Concrete Research*, 65(7), 441-447. <https://doi.org/10.1680/macr.12.00118>.
- Gökçe, H. S., Üzümlü, O., Hosseinnazhad, H., Hatungimana, D. and Ramyar, K. (2019). Optimising high lime fly ash content by means of silica fume incorporation to control alkali-silica reaction and drying shrinkage of mortars. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.444036>.
- Iwatsuki, E. and Morino, K. (2008). Characteristics of alkali silica reaction of siliceous sedimentary rocks, *Journal of the Society of Materials Science*, 57 (10), 967-972. <https://doi.org/10.2472/jsms.57.967>
- Jones, TN., (1989). Mechanism of reactions involving British chert and flint aggregates. In: Okada K, Nishibayashi S, Kawamura M, editors. *Proceedings of the eighth international conference on alkali-aggregate reaction*, Japan, Kyoto, p. 135-40.
- Karakurt, C. and Topçu, İ. B. (2011). Effect of blended cements produced with natural zeolite and industrial by-products on alkali-silica reaction and sulfate resistance of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1789-1795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.087>.
- Larbi, J.A. and Visser, J.H.M. (2002). A study of the ASR of an aggregate with high chert content by means of ultra accelerated mortar bar test and pore fluid analysis. *Heron*, 47(2):141-59.
- Lindgård, J., Andiç-Çakır, Ö., Fernandes, I., Rønning, T. F. and Thomas, M. D. A. (2012). Alkali-silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing. *Cement and Concrete Research*, 42(2), 223-243. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.004>.
- McNally C., Richardson, MG., Carr, AJ. and Strogon, P. (2004). Domain size as parameter for studying the potential alkali-silica reactivity of chert bearing aggregates. *Magazine of Concrete Research*, 56(4):201-9.
- Morino, K., (1989). Alkali aggregate reactivity of cherty rock. In: Okada K, Nishibayashi S, Kawamura M, editors. *Proceedings of the eighth international conference on alkali-aggregate reaction*, Japan, Kyoto, p. 501-6.
- Moundougou, I., Bulteel, D., Garcia-Diaz, E., Thiéry, V., Dégrugilliers, P. and Hammerschlag, J. G. (2014). Reduction of ASR expansion in concretes based on reactive chert aggregates: Effect of alkali neutralisation capacity. *Construction and Building Materials*, 54, 147-162. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.036>.
- Murray, R.W., (1994). Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general

- principles and applications. *Sedimentary Geology*, 90, 213–232.
- Nishiyama, T., Kusudai H. and Nakano, K. (1989). A few remarks on alkalireactive chert aggregates. In: Okada K, Nishibayashi S, Kawamura M, editors. *Proceedings of the eighth international conference on alkali-aggregate reaction*, Japan, Kyoto, p. 543–8.
- Prezzi, M., Monteiro, P.J.M. and Sposito, G. (1997). The alkali –silica reaction: Part I. Use of the double-layer theory to explain the behavior of reaction-product gels, *ACI Materials Journal* 94(1) 10–17.
- Rajabipour, F., Giannini, E., Dunant, C., Ideker, J. H. and Thomas, M. D. A. (2015). Alkali–silica reaction: Current understanding of the reaction mechanisms and the knowledge gaps. *Cement and Concrete Research*, 76, 130-146. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.024>.
- Richardson, M., (2005). Minimising the risk of deleterious alkali–silica reaction in Irish concrete practice. *Construction and Building Materials*, 19(9): 654–60.
- Stanton, T., (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 66(10), 1781–1811.
- Strogen, P., (1993). Studies of chert in fine and coarse aggregates in Ireland. *Concrete*, 27(2):26–9.
- Swamy R., N., (1992), *The Alkali– Silica reaction in concrete*, Blackie and Son, Glasgow, pp. 128, 234, 273.
- Wakizaka, W., (2000). Alkali–silica reactivity of Japanese rocks. *Engineering Geology*, 56(1–2), 211–21.
- Williams, H., Turner, FJ. And Gilbert, CH. (1982). *Petrography*. New York: WH Freeman and Company; 1982.
- Yurtdas, I., Chen, D., Hu, D. W. And Shao, J. F. (2013). Influence of alkali silica reaction (ASR) on mechanical properties of mortar. *Construction and Building Materials*, 47, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.046>.

Shear strength parameters of sand-tire chips mixtures

Kum-öğütülmüş araç lastiği karışımlarının kayma mukavemeti parametreleri

Hüseyin Suha AKSOY*^{1,a}, Nichirvan Ramadhan TAHER^{2,b}, Halmat Ahmed AWLLA^{3,c}

^{1,2} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 23119, Elaziğ, Turkey

³ Erbil Polytechnic University, Choman Technical Institute, Department of Information Technology, 44010, Choman

• Geliş tarihi / Received: 20.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 14.04.2021

Abstract

Used tires are unwanted wastes especially in urban areas and their extent is growing every year. With the development of human societies and the increasing use of automobiles, every year millions of used tires are collected as garbage around the world and leave the consumption cycle. However, they can be used by mixing with soil, one of the basic building materials, to improve their mechanical properties. This article discusses the effect of adding tire chips on the shear strength properties of high-friction sand. Different mixing ratios of the sand-tire chips mixture by weight (100: 0, 97.5: 2.5, 95: 5, 92.5: 7.5 and 90:10) were used. The Maximum Dry Density (MDD) and Optimum Moisture Content (OMC) of sand and different sand-tire chip mixtures were determined by the standard Proctor test. Samples were prepared under OMC and MDD conditions and direct shear box test was performed on sand and sand-tire chip mixtures under three different axial stresses. The results showed that when the percentage of tire chips reaches 5%, the internal friction angle was increased by 13.8% and cohesion was decreased by 66.4%. After this point internal friction angle was decreased and cohesion increased slightly.

Keywords: High friction sand, Proctor compaction test, Shear strength parameters, Shear box test, Tire chips

Öz

Kullanılmış lastikler, özellikle kentsel alanlarda istenmeyen ve miktarı her yıl artan atıklardır. İnsan toplumlarının gelişmesi ve artan otomobil kullanımıyla birlikte dünya genelinde her yıl milyonlarca kullanılmış lastik, tüketim döngüsünden çıkarak atık olarak toplanmaktadır. Oysaki bu atıkların, temel yapı malzemelerinden biri olan zeminle karıştırılarak zeminin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılması mümkündür. Bu makalede, yüksek sürtünmeli bir kumun kayma mukavemeti parametrelerine, öğütülmüş araç lastiği eklenmesinin etkisi incelenmiştir. Kum- öğütülmüş araç lastiği karışımı için ağırlıkça (100: 0, 97.5: 2.5, 95: 5, 92.5: 7.5 ve 90:10) oranları kullanılmıştır. Katkısız kumun ve kum-öğütülmüş araç lastiği karışımlarının maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (MDD) ve optimum su muhtevası (OMC) değerleri standart Proktor deneyi ile belirlenmiştir. Proktor sıklığında hazırlanan numuneler, üç farklı eksenel gerilme altında kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, içsel sürtünme açısının öğütülmüş araç lastiği yüzdesi %5'e ulaştığında %13.8 artış gösterdiğini ve kohezyonun ise öğütülmüş araç lastiği yüzdesi % 5'e ulaştığında %66.4 azaldığını göstermiştir. Bu noktadan sonra içsel sürtünme açışı azalmış ve kohezyon ise düşük bir oranda artmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek sürtünmeli kum, Proktor deneyi, Kayma mukavemeti parametreleri, Kesme kutusu deneyi, Öğütülmüş araç lastiği

*^a Hüseyin Suha AKSOY; saksoy@firat.edu.tr, Tel: (0532) 296 34 40, orcid.org/ 0000-0003-0564-457X

^b orcid.org/ 0000-0002-1295-080X

^c orcid.org/ 0000-0002-0545-0962

1. Introduction

Due to the development of communities and the excessive use of vehicles, millions of used tires become a problem every year and need appropriate treatment (Rahgozar and Saberian, 2016). The storage of used tires is highly undesirable due to the occurrence and fire risks and the cost of hygienic disposal. Avoiding of used tires is a difficult mission because they have a long life and are not biodegradable. There are some traditional methods for managing unwanted tires such as illegally dumping, landfilling, and stockpiling, but the problem is that all of these methods are short-term solutions. Therefore, recycling used tires is an essential task to be done to avoid excess-storing that huge amount of used tires worldwide (Akbulut et al., 2007; Marto et al., 2013)

Many researchers have devoted great effort to examine the influence of the inclusion of waste tire shreds and tire chips on the engineering properties of different types of soils such as shear strength, permeability, compressibility, compaction properties, poison's ratio and modulus of elasticity. They reported that tire chips are good material for backfilling retaining walls and embankments because of their lightweight (Ahmed and Lovell, 1993; Lee et al., 1999; Tweedie et al., 1998; Youwai and Bergado, 2003; Cabalar, 2011; Edinçliler et al., 2010; Rahgozar and Saberian, 2016). On the other hand, some researchers have argued and demonstrated that the aforementioned parameters have a great influence on the serviceability behavior under normal loads and dynamic loads, and reduce vibrations in structures due to the high damping behavior of rubber. (Tsang et al., 2010; Edinçliler et al., 2013; Boominathan et al., 2015; Chenari et al., 2017; Edinçliler and Toksoy, 2017; Edinçliler et al., 2018; Awwa et al., 2020). Ahmed (1992) investigated the properties of sand-tire chips by performing triaxial test. He reported that the percentage of tire chips and confining pressure have a considerable impact on shear resistance parameters of the mixture of sand-tire chips. Rao and Dutta (2006) studied the effect of rectangular tire chips on the shear strength parameters of sand. They suggested that when the length/width ratio of the tire chips is 2 and 20% tire chips is used by weight, the maximum shear strength of sand-tire chips mixture obtained. Tire chips are considered to have good engineering properties due to their flexibility, high durability and low specific gravity. Tire chips have many different geotechnical engineering applications, they can be used for backfilling materials behind retaining walls, soil reinforcement, and

construction of highways (Cabalar et al., 2014). In order to analyze the shear resistance properties of the mixture of sand-tire chips, Ghazavi et al., (2011) applied large scale shear box test. For this purpose, different percentages of tire chips were mixed with the sand (15%, 25%, 30% and 35%) by volume. The results revealed that as the tire chips content increased by up to 30 percent, the value of the internal friction angle (ϕ) of the sand increased and then decreased. Naval et al., (2013) examined the effect of the inclusion of used tire fibers on the shear strength properties of sand using the drained triaxial test. To do this, various percentages of tire chips (0.25%, 0.50%, 0.75% and 1.0%) were used and prepared samples with different relative densities (60%, 70%, 80% and 90%). According to the experimental results, it was observed that by adding fibers from used tires to sand, the value of the (ϕ) gets increased. The best improvement was found at a relative density of 60% with a fiber content of 0.75%. Marto et al., (2013) applied several shear box tests on sand-tire chips mixture, it was stated that the (ϕ) of sand reinforced with tire chips is greater than unreinforced sand. It was also found that the optimum percentage of rubber chips to increase the shear strength properties of the sand is 20% by weight. They reported that the percentage of tire chips, unit weight of sand and the value of the axial stress have a considerable influence on the shear resistance properties of the mixture of sand-tire chips. Annadurai and KannanRajkumar (2014) reported that the MDD of the soil determined from the standard Proctor test decreased with increasing percentage of tire chips. This may be due to the lightness of the tire chips. Tiwari et al., (2017) investigated the effect of tire chips on shear strength parameters of dune sand using a shear box test. For this purpose, they used various percentages of tire chips (25%, 50% and 75%) by dry weight of the sand. Based on their experimental results, they concluded that addition tire chips improve the (ϕ) of the dune sand. Anvari et al., (2017) investigated the relationship between (ϕ) of the sand-tire chips mixture and the relative density. The results showed that at high relative densities, the value of (ϕ) decreases with increasing tire chips content. However, at low relative densities, it rises with increasing tire chips content. The optimum granular rubber content was found to be 5% by weight. Li et al., (2020) conducted a series of triaxial tests to investigate the effect of tire chips content on the (ϕ) and material stiffness. Based on the test results, they said that with the same tire chips content, the presence of bigger tire chips particles improves the stiffness of the material. Rouhanifar et al., (2020) studied the deformation and shear strength properties of the

sand-tire chips mixture at relative density 30%, they stated that the (ϕ) was increased until tire chip content reached 20 %, until this point cohesion intercept (c) was decreased. After this point (ϕ) was started to decrease and (c) was started to decrease.

Most previous studies have explored the effect of tire chips on the shear strength characteristics of loose or dense dry soil. However, in most cases, there is water with soil, which means it is not dry completely. Also in most cases, the soil must be compacted to a good extent to withstand the incoming loads from the superstructure. For this reason, Proctor density soils with optimum moisture content have been used in this research. This study intends to investigate the shear strength parameters of the sand and sand-tire chips mixture with various mixing ratios (100: 0, 97.5: 2.5, 95: 5, 92.5: 7.5 and 90:10) by weight of the sand. For this purpose, a series of shear box tests were conducted on sand-tire chips mixtures. Specimens were prepared and arranged under the conditions of MDD and OMC.

2. Material and method

The sand used in the study was taken from the Murat River in Elazig in Turkey. The tire chips were provided by the geotechnical staff of Firat University. In Figure 1 the sand, tire chips and their mixture can be seen after adding water with OMC. The angle of repose of the sand was found to be 35° measured in accordance with ASTM-C1444-00, as shown in Figure. A sieve analysis test based on ASTM D422-63 was performed to obtain a gradation of sand and tire chips as shown in Figure 3. According to the sieve analysis results, the percentage of fines is 4.7%, sand fraction 89.6% and gravel fraction 5.7%. Standard Proctor test was applied as reported by ASTM D-698 to find MDD and OMC of sand and sand-tire chips mixture with different percentages introduced previously. The minimum dry density for sand was measured by experiment in agreement with ASTM D4254. The specific gravity of sand was measured conforming to ASTM D854-14. The measured index parameters of the sand are listed in Table 1. The sandy soil used in this study was grouped as well-graded sand (SW) in accordance with the unified soil classification system (USCS). The tire chips were angular surface and its maximum dry density was 0.634 gr/cm^3 and has an OMC of 4.6% by conducting Proctor test. Physical and chemical properties of tire chips are listed in Table 2. The shear box test according to ASTM D-3080 was performed on the samples of sand and sand-tire chips mixture to determine their shear strength

parameters. Specimens for the shear box test with dimensions $6.0 \times 6.0 \times 2.0 \text{ cm}$ were prepared under conditions of MDD and OMC. All tests were performed with strain-controlled shear box test machine with constant shearing rate of 1 mm/min . The shear stress and horizontal displacement were recorded.

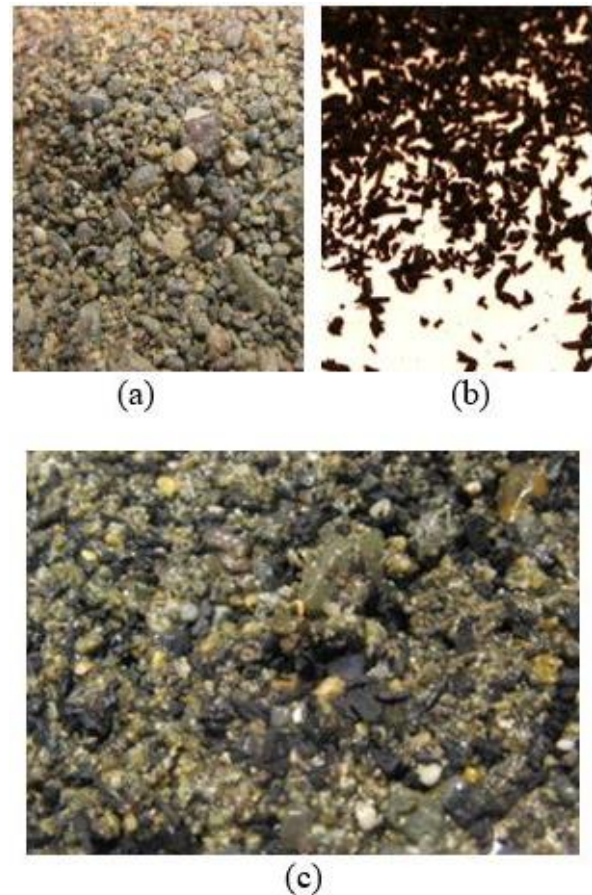


Figure 1. (a) Sandy soil, (b) Tire chip, (c) Sand-tire chips mixture



Figure 2. The angle of repose of the sand

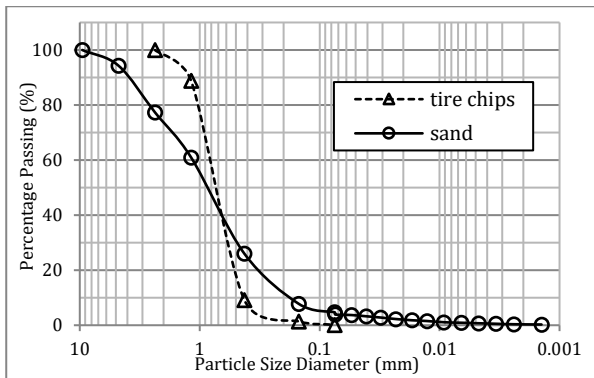


Figure 3. The particle size distribution of sand and tire chips

Table 1. Index properties of the sand.

Property	Value
Effective size, D_{50} (mm)	0.9
Uniformity Coefficient (C_u)	6.315
Curvature Coefficient (C_c) (USCS)	1.096
Specific Gravity (G_s)	2.74
MDD(gr/cm^3)	2.03
Minimum dry density (gr/cm^3)	1.49
Maximum void ratio (e_{max})	0.839
Minimum void ratio (e_{min})	0.350

Table 2. Physical and chemical properties of tire chips (Celik, 1996).

Property	Value
G_s	1.153-1.198
Elastic modulus, (MPa)	22.96
Tensile strength, (MPa)	28.1
Softening temperature, ($^{\circ}C$)	175
Component Styrene butadienecopolymer, (%)	62
Carbon black, (%)	31
Extender oil, (%)	1.9
Zinc oxide, (%)	1.9
Stearic acid, (%)	1.2
Sulphur, (%)	1.1
Accelerator, (%)	0.7

3. Results and discussion

From the Proctor compaction tests, the OMC and MDD of sand and various sand-tire chips mixtures were measured and are listed in Table 3. With increasing the content of the tire chips, it was noticed that the MDD decreased while the OMC increased. Figure 4 shows the change of void ratio versus various tire chips content. It is clear that by adding 2.5% tire chip content, the void ratio of the sand-tire chips mixture is reduced to a minimum

value, but by adding more tire chips, it starts to increase. This phenomenon is due to the fact that the addition of low tire chips content makes it possible to rearrange the particle size distribution of the sand to a denser state. Anvari et al., (2017) found a similar relationship between tire chip percentage and void ratio. However, the minimum void ratio was achieved for 5% tire chips, but the size of the tire chips used by them is much larger than the sand particle's sizes. Therefore, the percentage of tire chips obtained is different from this study.

Table 3. OMC and MDD corresponding to the tire chips percentage.

Tire chip percentage (%)	MDD (gr/cm^3)	OMC (%)
0	2.033	11
2.5	1.99	11.1
5.0	1.905	11.4
7.5	1.84	11.8
10	1.78	12

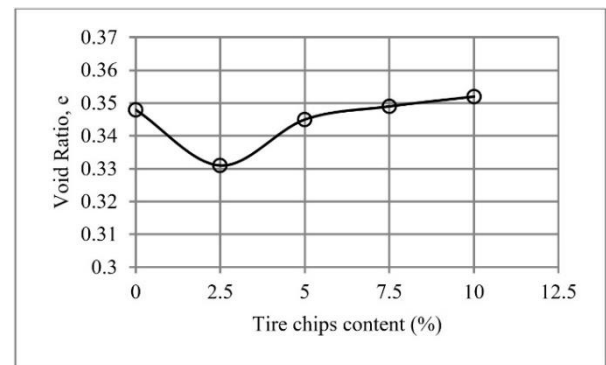


Figure 4. Variation of void ratio corresponding to the tire chips content

Relationships between the shear stress-horizontal displacement for three different axial stresses for sand and sand-tire chips mixtures obtained from shear box tests are given in Figure 5 through Figure 7. It can be seen that by adding more tire chips, the ductility of the sand-tire chips mixture increases. In addition, the variation of the peak shear stress corresponding to the different axial stresses for different tire chips content is presented in Figure 8. It can be concluded that by adding the tire chips, the slope between shear stress and axial stress becomes steeper until the percentage of tire chips reaches between 2.5% and 5.0%. Thus, the value of the (ϕ) of sand-tire chips mixture increases while the (c) decreases. Moreover, when the percentage of tire chips rises above 5%, the slope of shear stress and axial stress changes to gentle. Consequently, the value of the (ϕ) of sand-tire

chips mixture gets lower while the (c) increases slightly.

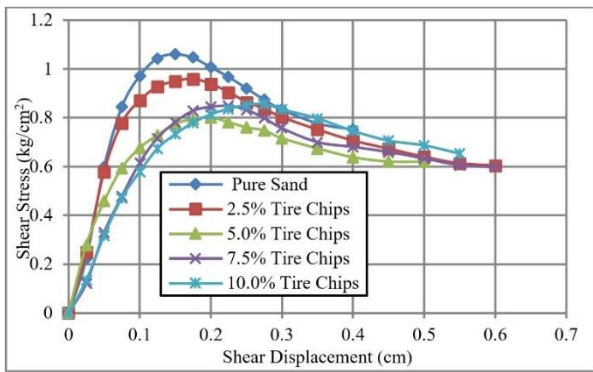


Figure 5. Shear stress-horizontal displacement for sand and different ratios of sand-tire chips mixture to the normal stress of (0.556 kg/cm²)

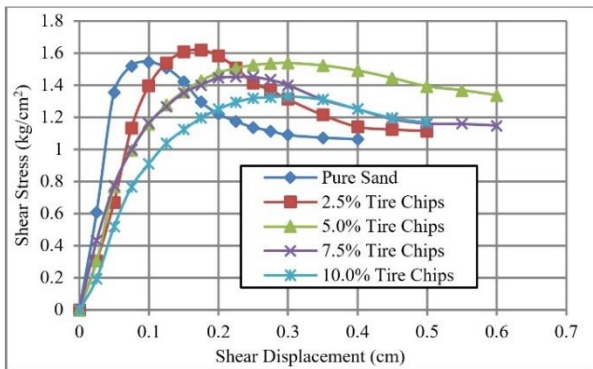


Figure 6. Shear stress-horizontal displacement for sand and different ratios of sand-tire chips mixture to the normal stress of (1.111 kg/cm²)

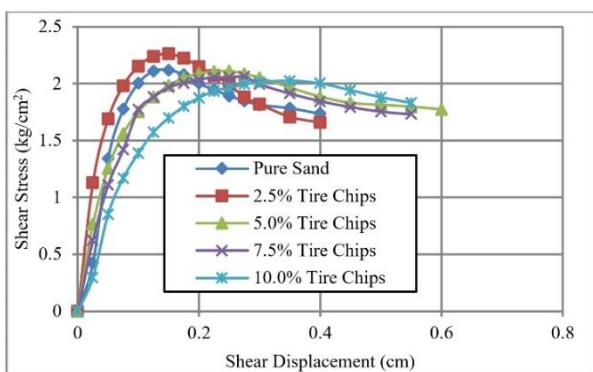


Figure 7. Shear stress-horizontal displacement for sand and different ratios of sand-tire chips mixture to the normal stress of (1.667 kg/cm²)

Figure displays the change of the (ϕ) of the sand with various tire chips content. The (c) values are also changed with increasing tire chips content as

shown in Figur. It was observed that when the tire chips ratio reaches up to 5%, there is a maximum value of (ϕ) and minimum value of (c), but after this percentage the (ϕ) decreases and (c) increases. These properties of the sand-tire chip mixture were also noticed by Rouhanifar et al., (2020), but the difference is that they found the optimum percentage of tire chips to be 20%. This difference is possible because they used loose sand-tire chips mixture while in this study shear box test samples of sand-tire chips mixture were prepared by MDD and OMC. The (c) value in the mentioned study is lower compared to this study, this is due to the fact that the particle size of sand and tire chips is different and the percentage of fines in the sand used in this study is higher compared to the sand used by them.

The reason for the increase in friction angle of the mixture at low values of tire chips content cannot be easily explained. The numerical study by Valdes and Evans (2008) indicates that the tire chips content in a sand-tire chips mixture have a strong influence on the microstructure of force transmission between the particles. On the other hand, higher flexibility of the sand specimens with small values of tire chips content, might provide a greater chance for the particles to move relative to each other to finally reach more stable and stronger critical state situation compared to that for pure sand specimens.

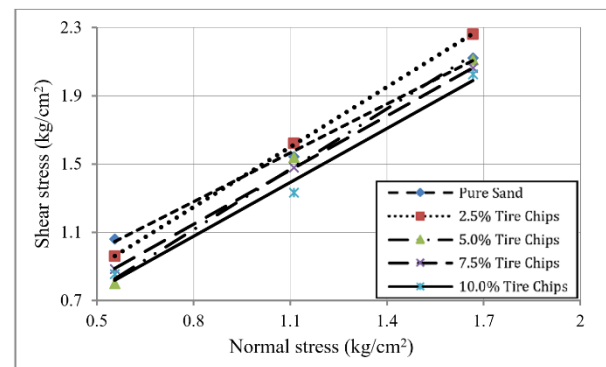


Figure 8. Peak shear stress versus normal stress for different tire chips content

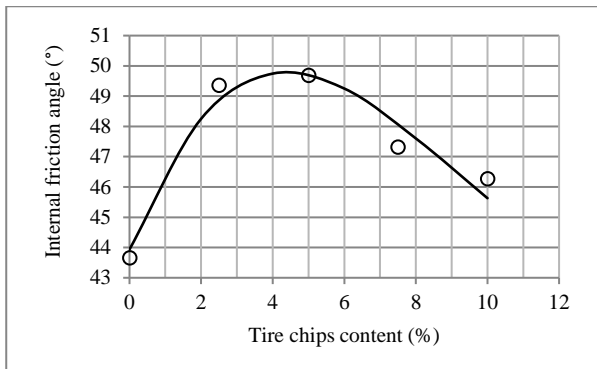


Figure 9. Change of (ϕ) of sand versus different tire chips content

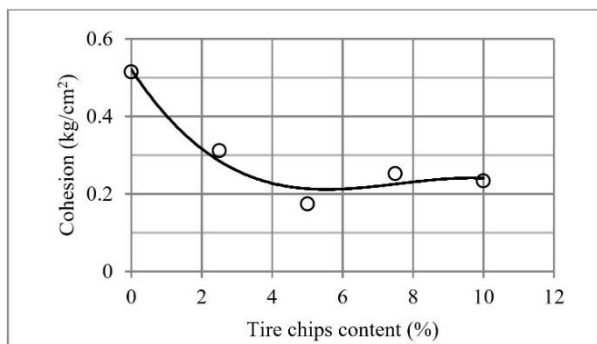


Figure 10. Change of (c) of sand versus different tire chips content.

Many researchers have worked on the shear strength characteristic of the sand-tire chips mixture to study how the tire chips content influence the shear strength parameters of the sand. For this purpose, most of them used the shear box test like this study. Table 4 shows the optimum percentage of the tire chips that causes the increase of the (ϕ) of the sand-tire chips mixture found in literature. From Table 4, It is evident that the results found by the researchers are different as there is a difference in the particle size of the sand and tire chips used by each of them, as well as different relative densities (D_r). Edinçliler et al., (2010) used triaxial test sytem to research tire chips effect on sand. They found that increasing tire chips content caused decrease in internal friction angle.

It can be seen clearly from the table that optimum percentage of tire chips is varying from 5% to 25% by weight. It can be said that the optimum percentage of tire chips which results in an increase in the (ϕ) of the sand-tire chip mixture depends on the tire chip content, the relative density of the mixture, normal stress and the grain size of sand and tire chips. In this study, optimum tire chips percentage also found as 5% by weight. It is clear that the results of this study are compatible with the results found by Anvari et al., (2017).

Table 4. The optimum percentage of tire chips for increasing the (ϕ) of sand found by some researchers.

Reference	The particle size of the Sand (mm)	The particle size of the Tire chips (mm)	The optimum percentage of tire chips (%)	Relative density of soil (D_r)	(ϕ) of sand alone (°)	(ϕ) of sand-tire chips mixture (°)
Edinçliler et al., (2010)	0.07-2	0.07-5	5% by weight	$D_r \cong 70\%$	41.5	38.2
Ghazavi et al., (2011)	0.07-1.2	0.07-10.5	30% by volume	Loose	39.7	43
Marto et al., (2013)	0.06-5	1-4	20% by weight	$D_r = 70\%$	32.8	34.2
Tiwari et al., (2017)	0.07-1.3	0.07-5	25% by weight	Loose	30	35
Tiwari et al., (2017)	0.07-1.3	0.07-5	25% by weight	Dense	37	39
Anvari et al., (2017)	0.08-1	1-5	5% by weight	$D_r = 50\%$	35.1	39.2
Rouhanifar et al., (2020)	0.3-1.25	0.075-0.3 0.3-1 1.2-5	20% by volume	$D_r = 30\%$	30.7 30.7 30.7	31.8 35 33.8
This study	0.0015-9.5	0.075-2.5	5% by weight	Proctor density	43.6	49.7

4. Conclusion

A series of standard Proctor compaction tests and shear box tests were applied to study the effect of inclusion of tire chips on shear strength properties of dense and high friction sand, the following conclusion can be drawn:

- The MDD of sand-tire chips mixture decreased with increasing tire chips content, due to lightweight of the tire chips.
- The OMC of the sand tire chips mixtures remains nearly same with increasing tire chips content because the particle size of the sand and tire chips almost the same.
- When the content of tire chips reaches 5% by weight, the value of the (ϕ) of sand-tire chips mixture increased by 13.8%, after that it starts to decrease.
- The (c) of sand-tire chips mixtures decreases by 66.4% at the 5% of tire chips, and then increases slightly with increasing tire chips content, but it is still lower than that of unreinforced sandy soil. It appears that tire chips cannot improve the (c) of the sand, which may be due to the use of dense sand in the experiments. However, the (c) is not important when sandy soil concern.
- From the experimental results, it is possible to improve the (ϕ) of the sand by adding a low percentage of tire chips, this improvement can be used in geotechnical engineering applications such as backfill material behind the retaining wall, construction of embankment, etc.

References

- Ahmed, I. (1992). *Laboratory study on properties of rubber-soils*. Final report. Department of Civil Engineering, Purdue University, Indiana, USA, 47907.
- Ahmed, I. and Lovell, C. (1993). Rubber soils as lightweight geomaterials. *Transportation Research Record*, 1422, 61-70.
- Akbulut, S., Arasan, S. and Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*, 38(1-2), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.02.001>
- Annadurai, R. and KannanRajkumar, P. (2014). Study on effect of crumb rubber on behavior of soil. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 4(3), 579-584.
- Anvari, S. M., Shooshpasha, I. and Kutanaei, S. S. (2017). Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 936-944. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.008>
- ASTM C1444-00. (2001). *Standard method for measuring the angle of repose of free-flowing mold powders*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D3080. (2011). *Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D854. (2014). *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D4254-91. (2006). *Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D698. (2007). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D422-63. (2007). *Standard test method for particle-size analysis of soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Awlla, H.A., Taher, N.R. and Mawlood, Y.I. (2020). Effect of fixed-base and soil structure interaction on the dynamic responses of steel structures. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(9), 6298- 6305. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/223892020>
- Boominathan, A., Banerjee, S. and Dhanya, J. (2015). Performance of soil-rubber tyre scrap mixture as seismic base isolators for foundations. *6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering* (pp. 1-4).
- Cabalar, A. F. (2011). Direct shear tests on waste tires–sand mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29(4), 411-418. <https://doi.org/10.1007/s10706-010-9386-5>
- Cabalar, A. F., Karabash, Z. and Mustafa, W. S. (2014). Stabilising a clay using tyre buffings and lime. *Road materials and pavement design*, 15 (4), 872-891. <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2014.939697>
- Çelik, O. N. (1996). *The engineering properties and fatigue behaviour of asphaltic concrete made with waste shredded tyre rubber modified binders*. Doctoral dissertation, University of Leeds. Leeds.

- Chenari, R. J., Poursalimi, N. and Sosahab, J. S. (2017). Dynamic properties of sand-tire crumb mixtures with large cyclic direct shear apparatus. *Electronic Journal Geotechnical Engineering*, 22, 5085-5106. <https://doi.org/10.1080/14680629.2014.939697>
- Chesner, W. H., Collins, R. J., MacKay, M. H. and Emery, J. (2002.) User guidelines for waste and by-product materials in pavement construction. (No. FHWA-RD-97-148, Guideline Manual, Rept No. 480017). Recycled Materials Resource Center.
- Edincliler, A., Cabalar, A. F., Cagatay, A. and Cevik, A. (2010). Triaxial compression behavior of sand and tire wastes using neural networks. *Neural Computing and Applications*, 21(3), 441-452. <https://doi.org/10.1007/s00521-010-0430-4>
- Edincliler, A. and Toksoy, Y. (2017). Effects of ground motion characteristics on the seismic performance of retaining walls with tire waste cushion. *16th World Conference on Earthquake Engineering*, 16WCEE.
- Edincliler, A., Cabalar, A. F. and Cevik, A. (2013). Modelling dynamic behaviour of sand-waste tires mixtures using Neural Networks and Neuro-Fuzzy. *European journal of environmental and civil engineering*, 17(8), 720-741. <https://doi.org/10.1080/19648189.2013.814552>
- Edincliler, A., Cabalar, A. F., Cevik, A. and Isik, H. (2018). New formulations for dynamic behavior of sand-waste tire mixtures in a small range of strain amplitudes. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 92-101. <https://doi.org/10.3311/PPci.8698>
- Ghazavi, M., Ghaffari, J. and Farshadfar, A. (2011). Experimental determination of waste tire chip-sand-geogrid interface parameters using large direct shear tests. *5th Symposium on Advances in Science and Technology*.
- Lee, J., Salgado, R., Bernal, A. and Lovell, C. (1999). Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill. *Journal of geotechnical and Geoenvironmental engineering*, 125 (2), 132-141. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1999\)125:2\(132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1999)125:2(132))
- Li, W., Kwok, C.Y. and Senetakis, K. (2020). Effects of inclusion of granulated rubber tires on the mechanical behaviour of a compressive sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 57 (5), 763-769. <https://doi.org/10.1139/cgj-2019-0112>
- Marto, A., Latifi, N., Moradi, R., Oghabi, M. and Zolfeghari, S.Y. (2013). Shear properties of sand-tire chips mixtures. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18 (2), 325-334.
- Naval, S., Kumar, A. and Bansal, S. (2013). Triaxial tests on waste tire rubber fiber mixed granular soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 1623-1641.
- Rahgozar, M. and Saberian, M. (2016). Geotechnical properties of peat soil stabilised with shredded waste tyre chips. *Mires & Peat*, 18, 1-12. <https://doi: 10.19189/MaP.2015.OMB.205>
- Rao, G.V. and Dutta, R. (2006). Compressibility and strength behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24 (3), 711-724. <https://doi: 10.1007/s10706-004-4006-x>
- Rouhanifar, S., Afrazi, M., Fakhimi, A. and Yazdani, M. (2020). Strength and deformation behaviour of sand-rubber mixture. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/19386362.2020.1812193>
- Tiwari, S.K., Sharma, J.P. and Yadav, J.S. (2017). Geotechnical properties of dune sand-waste tires. *Composite Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9851-9855. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.280>
- Tsang, H. H., Lam, N.T., Yaghmaei-Sabegh, S., Sheikh, M.N. and Indraratna, B. (2010). Geotechnical seismic isolation by scrap tire-soil mixtures. Proceedings of the 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California, U.S., 1-9.
- Tweedie, J.J., Humphrey, D.N., Sandford, T.C. and Consortium, N.E.T. (1998). Tire chips as lightweight backfill for retaining walls--phase II. New England Transportation Consortium.
- Valdes, J. R. and Evans, T. M. (2008). Sand-rubber mixtures: experiments and numerical simulations. *Canadian Geotechnical Journal*, 45(4), 588-595. <https://doi.org/10.1139/T08-002>
- Youwai, S. and Bergado, D.T. (2003). Strength and deformation characteristics of shredded rubber tire sand mixtures. *Canadian Geotechnical J.*, 40(2), 254-264. <https://doi.org/10.1139/t02-104>

Yayla alanlarındaki yapılaşma değişiminin incelenmesi: Gümüşhane örneği

Examination of change in summer pasture areas: Gümüşhane case

Fatih DÖNER*^{1,a}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 05.06.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.04.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 14.04.2021

Öz

Bu çalışmada yayla alanlarındaki yapılaşma değişimi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) verilerinin birlikte kullanımıyla incelenmektedir. Gümüşhane ilinde bulunan Ernek, Güvende, Kadırğa ve Kazıkbeli isimli dört yayla alanında 2013 ile 2018 yılları arasındaki değişim incelenmiştir. İncelenen yayla alanlarında 2013 ile 2018 yılları arasında yapı sayısının %21.48, yol ağının %6.94 artışı belirlenmiştir. Bu artışın temel sebeplerinin yayla alanlarına yönelik turizm faaliyetleri ve İmar Barışı düzenlemesinin olduğu değerlendirilmektedir. Yayla alanlarının sürdürülebilir kullanımı için koruma-kullanma dengesini gözetten bir arazi kullanım politikasına ve daha etkin bir denetim mekanizmasına ihtiyaç vardır. CBS ve UA verileri yayla alanlarındaki değişimin izlenerek kontrol edilmesi çalışmalarına destek sağlamak için kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri, Turizm, Uzaktan algılama, Yayla

Abstract

In this study, the change of built areas in summer pasture is analyzed by using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) data together. The change between 2013 and 2018 was examined in the four summer pasture areas named Ernek, Güvende, Kadırğa and Kazıkbeli in Gümüşhane. Between 2013 and 2018, the number of buildings increased by 21.48% and the road network increased by 6.94% in the study area. It is considered that the main reasons for this increase are tourism activities for summer pasture areas and Development Peace regulation. For the sustainable use of the summer pasture areas, there is a need for a land use policy and a more effective control mechanism that considers the conservation-use balance. GIS and RS data can be used to support studies to monitor and control changes in summer pasture areas.

Keywords: Geographic information systems, Tourism, Remote sensing, Summer pasture

*^a Fatih DÖNER; fatihdoner@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 17 65, orcid.org/0000-0002-3620-5687

1. Giriş

Arazi bütün yaşamsal ve ekonomik faaliyetlerin temelini oluşturmaktadır. Tarım, ormancılık, ulaşım ve barınma gibi faaliyetler için arazi kullanılmakta ve bu faaliyetlere bağlı olarak zamanla arazi kullanımında değişiklikler olmaktadır. Arazi kullanımındaki bu değişiklikler iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, hava, su ve toprak kirlenmesi gibi pek çok çevre sorununa yol açabilmektedir (EEA, 2010). Tarım devrimi döneminde insanların barınma ve beslenme ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için bir varlık kaynağı olarak kabul edilen arazi, zamanla ulaşım olanaklarının gelişmesiyle önce alınıp satılabilen ticari bir varlık olarak kabul edilmiş, İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde kıt bir kaynak olarak değerlendirilmiş ve 1980'li yıllardan itibaren 'Sürdürülebilir Kalkınma' kavramıyla birlikte toplumsal bir kıt kaynak olarak ele alınmıştır (Ting ve Williamson, 1999).

Türkiye'nin önemli arazi kaynaklarından olan yaylalar, Mera Kanunu'nda çiftçilerin hayvanları ile birlikte yaz mevsimini geçirmeleri, hayvanlarını otlatmaları ve otundan yararlanmaları için tahsis edilen araziler olarak tarif edilmektedir (RG, 1998). Yaylalar Türkiye'nin birçok bölgesinde bulunmakta ve yem ihtiyacının karşılandığı alanlar olarak ülke hayvancılığına önemli katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, geçmişte hayvancılık faaliyetleri için kullanılan yaylalar zaman içerisinde hayvancılıkla uğraşan nüfusun azalması ve göç gibi nedenlerle hayvancılık yerine tatil ve turizm amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda da yaylardaki arazi kullanımında önemli değişiklikler meydana gelmiştir (Yonca, 2014; Türk, 2019).

Şakar ve Kurucuca (2019)'da Türkiye'de yaylalarla ilgili olarak yapılmış lisansüstü çalışmaların bibliyometrik analizi yapılmıştır. Buna göre, doğrudan yaylarla ilgili olarak yaklaşık 150 lisansüstü (yüksek lisans ve doktora) çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların 4'te 3'ünü Biyoloji, Coğrafya, Jeoloji, Mimarlık, Orman Mühendisliği ve Ziraat alanlarında yapılmış tezler oluşturmaktadır. Yaylardaki değişimin belirlenmesine yönelik çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Somuncu vd., (2010)'da 1973 ile 2004 yılları arasında Gümüşhane ili Kazıkbeli ve Alistire yaylarındaki arazi kullanımı ve işlev değişimi değerlendirilmiştir. Akar (2014)'te Trabzon ili Akçaabat ilçesindeki yayla ve mera alanlarının 1973 ile 2013 yılları arasındaki değişimi hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak tespit edilmiştir. Ceylan (2014)'te Gümüşhane ilinde

bulunan Bezendi, Eylence, Gürpınar ve Karışık yayla alanlarının 1982-2011 yılları arasındaki değişimi hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak izlenmiştir. Cin (2019)'da Giresun ilinde seçilen üç yayla alanında İmar Barışı düzenlemesinin etkileri uydu görüntüleri ile belirlenmiştir. Başer (2019)'da Giresun ilinde seçilen üç yayla alanında arazi kullanım değişimi Coğrafi Bilgi Sistemleri ile analiz edilmiştir.

Zaman içerisinde yaylacılık yapan nüfusun azalması, yaylaları ilgilendiren yasal düzenlemeler, denetim eksiklikleri ve yaylalara yönelik turizm politikaları gibi nedenler yaylalardaki arazi kullanımını değiştirerek yapılaşmanın ve yol ağının artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, yayla alanlarındaki değişimin belirlenmesine yönelik güncel çalışmalara ihtiyaç vardır. Gümüşhane, toplam 440 yayla ile Doğu Karadeniz Bölgesi'nde en çok yaylaya sahip olan ildir (Gümüşhane Valiliği, 2017). Yayla alanlarındaki değişime etki edebilecek güncel gelişmelerden biri, 2013 yılında başlatılan Gümüşhane'nin de aralarında bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki sekiz ilin yaylarını birbirine bağlayarak bir yayla koridoru oluşturmayı amaçlayan Yeşil Yol Turizm Projesi'dir. Yayla alanlarına etki edebilecek diğer gelişme ise 2018 yılında yürürlüğe giren ve İmar Barışı olarak duyurulan 7143 sayılı yasadır. Bu çalışmada, Gümüşhane ili yayla alanlarında 2013 ile 2018 yılları arasındaki yapılaşma değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) verileri ile belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde turizm faaliyetleri ve yasal düzenlemeler ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, kullanılan materyal ve yöntem tanıtılmaktadır. Çalışmanın bulguları dördüncü bölümde sunulmaktadır. Çalışma sonuç bölümüyle sona ermektedir.

2. Turizm faaliyetleri ve yasal düzenlemelerinin yaylalara etkisi

Bu bölümde turizm faaliyetlerinin ve izinsiz yapıların yasallaştırılmasına yönelik yasal düzenlemelerin yaylalara etkisi ele alınmaktadır.

2.1. Turizm faaliyetleri

Türkiye'de yaylaların turizm amaçlı kullanımı ilk kez 1990'lı yılların başlarında gündeme gelmiştir. Turizmi Teşvik Kanunu esas alınarak, Turizm Bakanlığı'nca (TB) 1990 yılında Karadeniz Bölgesi'nde 12 yayla, turizm merkezi ilan edilerek bu yaylalar için çevre düzeni planları hazırlanmıştır (RG, 1990; Bay, 2014). 2019 yılı itibarıyla Turizmi

Teşvik Kanunu kapsamında yayla turizm merkezi ilan edilen yayla sayısı 21'e ulaşmış olup bunların 18 tanesi Karadeniz Bölgesi'ndeki illerde yer almaktadır (Şekil 1, TB, 2020). Bununla birlikte, yaylaların turizm ve rekreasyon amaçlı değerlendirilmesi konusunun Türkiye'nin uzun vadeli turizm politikalarına yansması 2000'li yılların sonlarında gerçekleşmiştir. TB tarafından 2007 yılında hazırlanan 'Türkiye 2023 Turizm Stratejisi Eylem Planı'nda 2013 yılı sonuna kadar Karadeniz Bölgesi'nde Samsun ilinden Artvin iline kadar uzanan bölge bir 'yayla koridoru' (Şekil 1) olarak tanımlanarak bu bölgede yayla turizminin geliştirileceği ve buna yönelik altyapının oluşturulacağı ifade edilmiştir. Eylem planında yer alan bu politikanın uygulamaları olarak Karadeniz Bölgesinde 'yayla turizmi' temasıyla yeni taşıt yollarının açılması, ulaşım altyapısının tamamlanması ve güzergâh haritalarının oluşturulması gibi hedefler belirlenmiştir (RG, 2007).

2007 yılında yayınlanan eylem planında belirtilen hedefleri hayata geçirmek için, Turizm Master Planı kapsamında, 2013 yılında Kalkınma Bakanlığı, Doğu Karadeniz Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (DOKAP) tarafından yürütülecek 'Yeşil Yol Projesi'ni başlatmıştır. Bu proje Karadeniz Bölgesi'ndeki sekiz ilin (Artvin, Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Trabzon) önemli yaylalarını ve turizm merkezlerini birbirine bağlamayı amaçlayan doğa ile bütünleşik bir turizm projesi olarak tarif edilmiştir. DOKAP eylem planı kapsamında 2023 yılına kadar tamamlanması hedeflenen Yeşil Yol Projesi toplamda 4000 km'lik bir yol ağından oluşmaktadır. 2019 yılı itibariyle 1300 km'lik kısımda DOKAP tarafından yol iyileştirme çalışmaları tamamlanmıştır. Yol iyileştirme çalışmaları kapsamında 285 km yol asfalt kaplama yapılmış, 177 km yol stabilize kaplama yapılmış, 99 km yol beton kaplama yapılmış, 18 km yol parke kaplama yapılmış, geri kalan kısımda ise bakım-onarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kalan 2700 km'lik bölümün 2023 yılına kadar Karayolları Genel Müdürlüğü ve DOKAP tarafından birlikte tamamlanması planlanmaktadır (DOKAP, 2020). Projenin temel amaçlarından biri standardı artırılacak yol ağıyla yaylalarda yılın belirli aylarına sıkışan turizm talebinin daha geniş bir takvime yayılmasıdır. Bunun yanında, doğu-batı doğrultusunda bir yol güzergahıyla birbirine bağlanacak yaylaların bölgeye gelen turistlere daha çok alternatif sunması hedeflenmektedir. Turistler yanında, yaylacılık yapan yerel halkın da ulaşım olanaklarının kolaylaştırılması ve gelir düzeyinin

artırılması Yeşil Yol Projesinin hedefleri arasındadır.

2.2. Yasal düzenlemeler

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) verilerine göre Türkiye'de bulunan 26.4 milyon yapının (bağımsız birim) yaklaşık %50'si mevzuata aykırı yapı kapsamındadır (ÇŞB, 2018). Özellikle kentlerin gelişme bölgelerinde yoğunlaşan bu yapılar kentsel alanların gelişimini engellerken tarım, mera ve orman alanlarına da zarar vermektedirler. Bugüne kadar hazırlanan kalkınma planları incelendiğinde Türkiye'de mevzuata aykırı yapılaşmanın sürekli olarak artmasının temel nedenleri arasında kadastro çalışmalarının zamanında tamamlanmamış olmasının, kadastro verilerindeki içerik probleminin ve mera kanununun zamanında çıkarılmamış olmasının sıklıkla ifade edildiği görülmektedir (RG, 1989; RG, 1995).

Kalkınma planlarında da sıklıkla yer bulan kayıt dışı yapılaşma problemine çözüm bulmak amacıyla Türkiye'de yasallaştırma politikalarının günümüze kadar benimsendiği görülmektedir (Cengiz vd., 2019; Arslanoğlu, 2019; Gürbüzürk, 2017). Türkiye'de 1948 ile 2018 yılları arasında yürürlüğe giren toplam 16 yasanın kentlerde ve kırsal alanlardaki araziler üzerinde bulunan mevzuata aykırı yapıları kayıt altına almak için hükümler içerdiği anlaşılmaktadır. Bu yasalar dışında kayıt dışı yapılara altyapı hizmeti götürülmesini sağlayan ve yasallaştırmada süre uzatımına imkân veren 7 ayrı yasa daha bulunmaktadır. Bu yasalardan sonuncusu olan ve 2018 yılında yürürlüğe giren 7143 sayılı yasa hem önceki yasalardan daha geniş kapsamlı olması hem de bu makalenin konusunu oluşturan yaylalar üzerinde bir etki yapması bakımından önemlidir.

08.05.2018 tarihinde yürürlüğe giren 7143 sayılı yasa 'İmar Barışı' olarak duyurulmuştur. Bu yasa 31.12.2017 tarihinden önce yapılmış kentsel ve kırsal arazilerdeki tüm izinsiz yapıları kapsamaktadır. İzinsiz yapı sahiplerinin başvurusu sonucunda hazırlanacak Yapı Kayıt Belgesi (YKB) ile tapu kütüğüne tescil işlemleri gerçekleştirilmek olanaklı hale gelmiştir. Ayrıca, hazine arazileri üzerinde bulunan izinsiz yapılar da YKB almak için başvuru hakkına kavuşmuştur. YKB, izinsiz yapı sahiplerine yapıları için daha önce alınmış yıkım kararlarını durdurma, para cezalarının iptali, elektrik, doğalgaz gibi altyapı hizmetlerinden yararlanma ve tapuya tescil yoluyla mülkiyet güvencesi imkânları sağlamaktadır. YKB almak için başlangıçta 31.10.2018 olarak belirlenen son

başvuru tarihi iki kez uzatılarak 15.06.2019 olarak güncellenmiştir. YKB almak için ödenmesi gereken bedelin son ödeme tarihi ise 31.12.2019 olmuştur. YKB başvuruları internet üzerinden e-Devlet uygulamasıyla izinsiz yapı sahibinin beyanı esas alınarak toplanmıştır. Başvuru sırasında hesaplanan YKB bedelinin bankaya yatırılması ardından YKB hazırlanarak hak sahiplerine verilmiştir. İmar Barışı olarak duyurulan bu yasanın temel amacı yasa dışı kullanımları yasallaştırmak olarak tarif edilmiştir. Bunun yanında, kentsel dönüşüm projeleri için ihtiyaç duyulan ekonomik kaynağın üretilmesi de yasanın temel hedeflerinden biri olmuştur.

Yasanın yürürlüğe girmesinin ardından özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki yayla ve mera alanlarında hızlı bir yapılaşma yaşanmıştır. 31.12.2017 tarihinden sonra yapılan yapılar daha

önce yapılmış gibi gösterilerek YKB başvuruları gerçekleştirilmiştir. Bunun üzerine, Tarım ve Orman Bakanlığı'nca valiliklere bir uyarı gönderilerek bu yapıların Mera Kanunu'na göre işgal kapsamında değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu uyarının ardından, ÇŞB ekiplerince tespit edilen yapılar için YKB iptal ve yıkım süreci başlatılmıştır. Trabzon ili sınırları içerisindeki yaylalarda yasaya aykırı şekilde inşa edilmiş 160 bina ve Gümüşhane ili sınırları içindeki yaylalarda 91 bina öncelikli olarak yıkılmıştır. ÇŞB yaptığı açıklamada YKB almak için yaklaşık 7.4 milyon yapının (bağımsız birim) başvuru yaptığı, bu yapılardan 20158 tanesinin yasaya aykırılık nedeniyle YKB'nin iptal edildiği duyurulmuştur. ÇŞB bu konudaki denetimlerin devam ettiğini, tespit edilecek usulsüz başvurular için yasal işlem başlatılacağını duyurmuştur (AA, 2020).



Şekil 1. Türkiye'de Turizm Bakanlığı'nca turizm merkezi ilan edilen yaylanın bulunduğu iller ve 'Yayla Koridoru' illeri

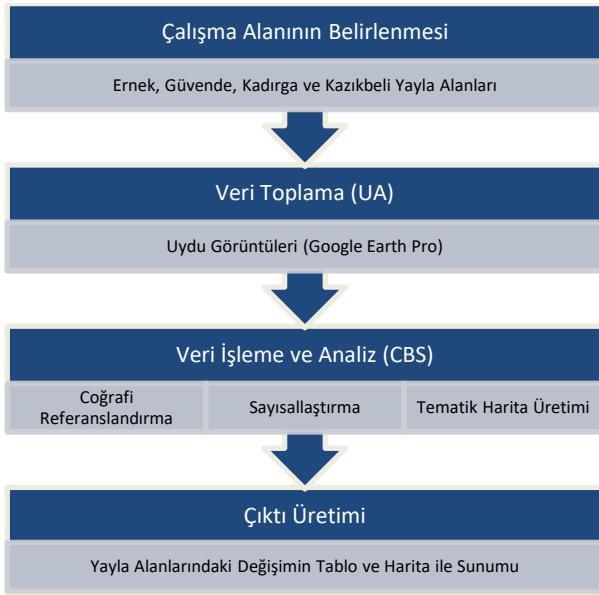
3. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada yayla alanlarındaki değişimi belirlemek için CBS ve UA verileri kullanılmaktadır. Şekil 2'de çalışmada takip edilen işlem adımları gösterilmektedir. Çalışma alanı olarak Gümüşhane ili Ernek, Güvende, Kadırga ve Kazıkbeli yayla alanları belirlenmiştir. Bu yayla alanlarının belirlenmesinin nedeni dört yaylanın da geleneksel yaylacılık faaliyetleri yapılan yaylalar olması yanında İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü tarafından hazırlanan rehberde yer alan yaylalar olmasıdır. Turizm potansiyelinin yüksek olduğu bu yaylalar her yıl yaz aylarında Gümüşhane ve çevre illerden çok sayıda kişi tarafından ziyaret edilmektedir. Ayrıca, bu yayla alanlarına ulaşımın sağlanması için yol yapım ve iyileştirme çalışmaları 2013 yılı sonrası Yeşil Yol Projesi

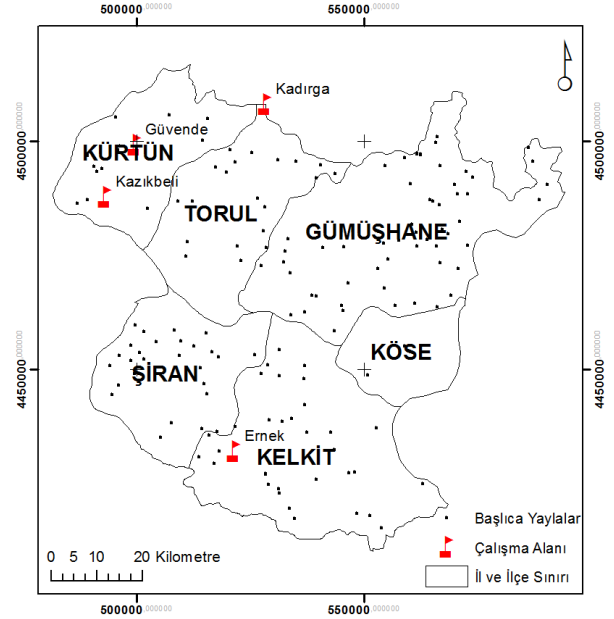
kapsamında tamamlanmıştır. Çalışma alanı Şekil 3'de Gümüşhane ilindeki başlıca yaylalarla birlikte gösterilmektedir.

Belirlenen yayla alanları için 2013 ile 2018 yılları arasındaki uydu görüntüleri Google Earth Pro (GEP) yazılımından elde edilmiştir. GEP, UA uydularından elde edilmiş değişik çözünürlükteki uydu görüntülerinin incelenebildiği bir bilgisayar yazılımıdır. Çalışma alanı olarak belirlenen yaylalara ait geçmiş yıllara ait uydu görüntülerini de içermesi ve görüntü çözünürlüğünün bina ve yol ağının belirlenmesine imkân verecek düzeyde olması nedeniyle GEP tercih edilmiştir. Ayrıca günümüzde CBS yazılımları ile GEP verileri girdi olarak kullanılarak CBS işlem ve analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

CBS, konuma dayalı gözlemlerle elde edilen bilgilerin toplanması, depolanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir. CBS sahip olduğu konumsal analiz yetenekleri sayesinde konum bilgisiyle alakalı her türlü uygulamada kendisine yer bulmaktadır. Özellikle, kentsel ve bölgesel planlama, çevrenin izlenmesi ve çevresel etki değerlendirmede, tarım, peyzaj, jeoloji, savunma, güvenlik, turizm vb. birçok uygulamalı meslek dallarında CBS önemli bir ortak kavram olarak kullanılmaktadır (Yomralıoğlu, 2000). Çalışma alanına ait toplanan veriler ArcMap yazılımında analiz edilerek sonuç ürünler elde edilmiştir. GEP'dan elde edilen uydu görüntüleri CBS yazılımında Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyon sistemi 37 N dilimi ve World Geodetic System (WGS) 1984 datumunda koordinatlandırılmıştır. Koordinatlandırma işleminin ardından yayla alanları için rektifiye edilmiş uydu görüntüleri üzerinden yol ve binalar sayısallaştırılarak (manüel olarak) vektör harita katmanları üretilmiştir. Son aşamada, yayla alanlarının zamansal değişimini ifade etmek için tablo ve haritalar hazırlanmıştır.



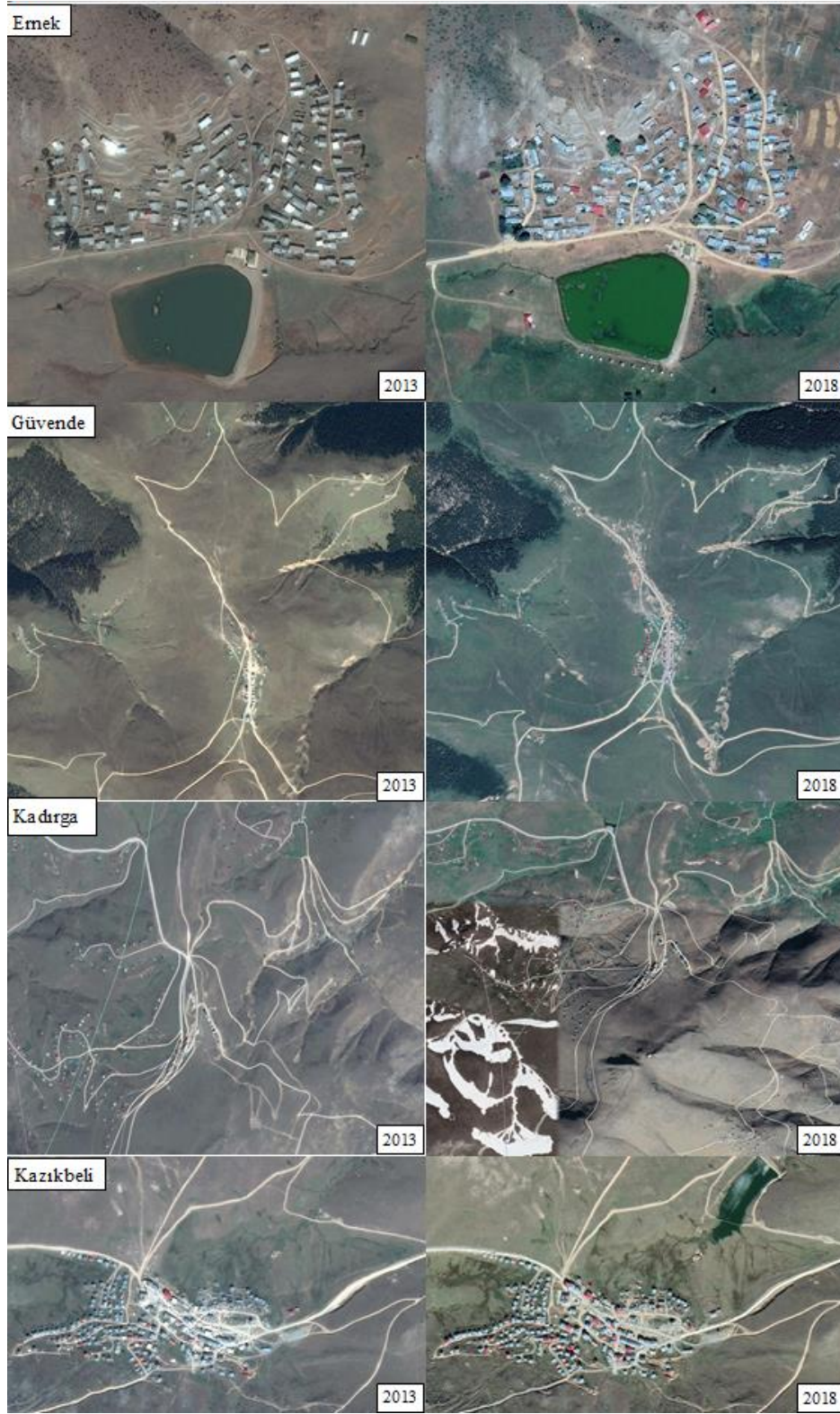
Şekil 2. Yayla alanlarındaki yapılaşma değişiminin belirlenmesinde işlem adımları



Şekil 3. Gümüşhane ilindeki başlıca yaylalar ve çalışma alanı

4. Bulgular

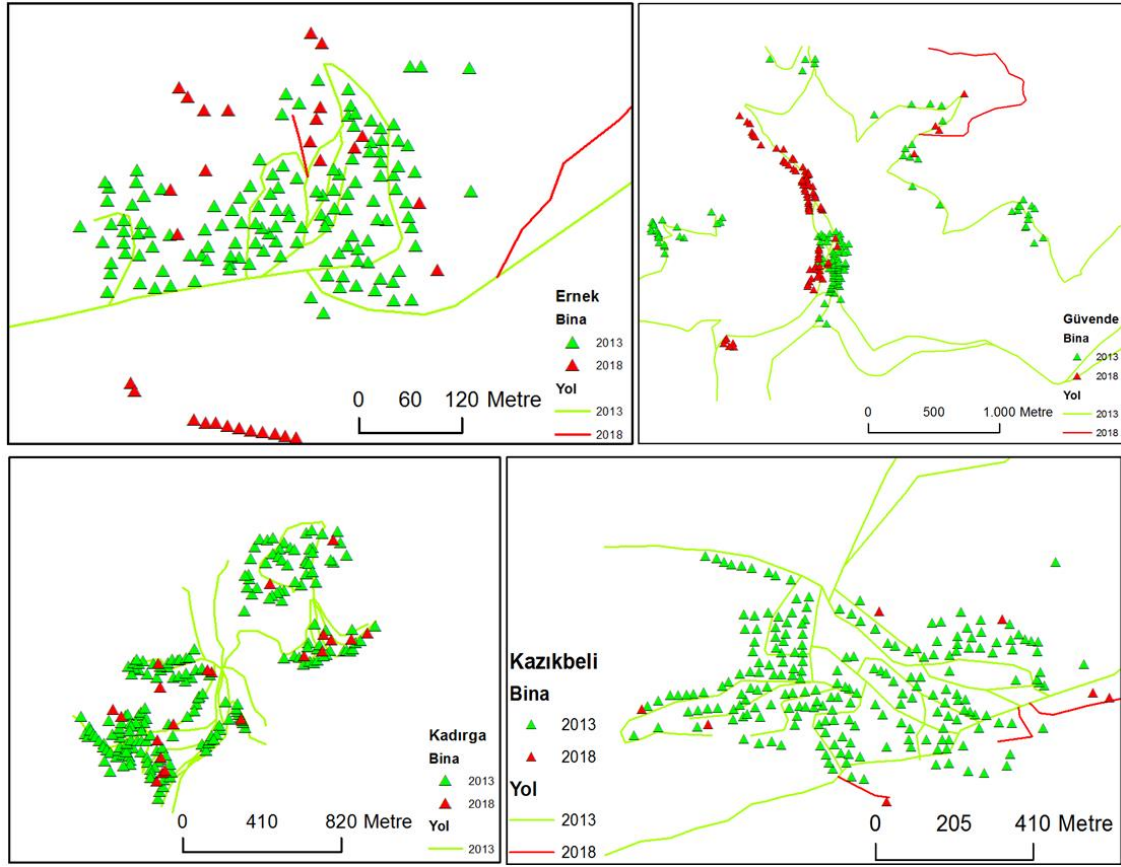
Çalışma alanı olarak belirlenen dört yayla alanındaki yapılaşma değişimini belirlemek için kullanılan uydu görüntüleri Şekil 4'te, bu uydu görüntülerinden yararlanılarak CBS ortamında üretilen değişim haritaları Şekil 5'te gösterilmektedir. Uydu görüntülerinin tarihleri Ernek için 21.10.2013 ve 17.07.2018, Güvende için 01.10.2013 ve 25.08.2018, Kadırga için 12.09.2013 ve 17.05.2018, Kazıkbeli için 11.09.2013 ve 07.10.2018'dir. Şekil 5'te değişim haritaları üzerinde gösterilen bina sayısı ve yol uzunluğunda meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri Tablo 1'deki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4. Yayla alanlarına ait uydu görüntüleri (ölçeksiz)

Tablo 1 incelendiğinde tüm çalışma alanında bina sayısı 2013 yılında 661 olarak belirlenirken bu değer 2018 yılında 142 (%21.48) artışla 803 olduğu görülmektedir. Çalışma alanı geneli için 2013 yılında toplam 44077.16 metre olarak

hesaplanan yol uzunluğu 2018 yılında 3059.25 metre (%6.94) artışla 47136.41 metre olmuştur. Bina sayısında en büyük artış 84 bina ile Güvende yayla alanında en küçük artış ise 7 bina ile Kazıkbeli yayla alanındadır.



Şekil 5. Yayla alanı değişim haritaları

Tablo 1. Yayla alanlarında bina sayısı ve yol ağı uzunluğu değişimi

Yayla Adı	2013		2018		Değişim (2013–2018)			
	Bina (adet)	Yol (m)	Bina (adet)	Yol (m)	Bina (adet)	Bina (%)	Yol (m)	Yol (%)
Ernek	134	2450.78	164	3023.09	30	22.39	572.31	23.35
Güvende	118	22014.39	202	23932.09	84	71.19	1917.7	8.71
Kadirga	196	10817.73	217	10817.73	21	10.71	0	0
Kazıkbeli	213	8794.26	220	9363.50	7	3.29	569.24	6.47
Toplam	661	44077.16	803	47136.41	142	21.48	3059.25	6.94

5. Sonuçlar

Türkiye’de geçmişte geleneksel olarak hayvancılık faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yayla arazilerinde, artan ulaşım olanakları ve turizm faaliyetlerinin etkisiyle günümüzde tatil ve turizm amaçlı, çoğunlukla yasadışı, bir arazi kullanımı ve yapılaşma söz konusudur. Bu çalışmada yayla alanlarındaki yapılaşma değişimi CBS ve UA verilerinin birlikte kullanımıyla incelenmiştir. Gümüşhane ilinde bulunan Ernek, Güvende, Kadirga ve Kazıkbeli isimli dört yayla alanında 2013 ile 2018 yılları arasındaki değişim haritaları üzerinde ve sayısal değerlerle belirlenmiştir. Buna göre, incelenen yayla alanlarında 2013 ile 2018 yılları arasında yapı sayısının %21.48, yol ağının

%6.94 artışı belirlenmiştir. Bu artışın temel sebeplerinin yayla alanlarına yönelik turizm faaliyetleri ve İmar Barışı düzenlemesinin olduğu değerlendirilmektedir. Yayla alanlarının sürdürülebilir kullanımı için koruma-kullanma dengesini gözetilen bir arazi kullanım politikasına ve daha etkin bir denetim mekanizmasına ihtiyaç vardır. CBS ve UA verileri yayla alanlarındaki yapılaşma değişiminin izlenerek kontrol edilmesi çalışmalarına destek sağlamak için kullanılabilir.

Kaynaklar

AA-Anadolu Ajansı. (2020, 20 Mayıs). Erişim adresi <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/imar-barisinda-30-bini-askin-yapi-kayit-belgesi-iptal-edildi/1735457>.

- Akar, A. (2014). *Mera ve yayla alanlarındaki değişimin tespiti ve yeni bir mera yönetim modeli yaklaşımı: Trabzon ili Akçaabat ilçesi örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslanoğlu, U. (2019). *The role of spatial designer in the prestigious housing projects: the case of Ankara*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Şehir Planlama Bölümü, Ankara,
- Bay, A. (2014). *Uludağ yöresinde (Bursa) alternatif turizm türü olarak yayla turizmi*. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Başer, V. (2019). Yaylalardaki arazi kullanım değişiminin coğrafi bilgi sistemi ile analizi: Giresun örneği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 167-175. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.446264>
- Cengiz, S., Atmış, E. ve Görmüş, S. (2019). The impact of economic growth oriented development policies on landscape changes in İstanbul province in Turkey. *Land Use Policy*, 87, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104086>
- Ceylan, M. (2014). *Uzaktan algılama ve CBS ile yayla alanlarındaki değişimin izlenmesi: Gümüşhane örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Cin, M. (2019). İmar barışının yayla yerleşmeleri üzerindeki etkisinin uydu görüntüleri ile belirlenmesi: Giresun Karagöl Dağı örneği. *Uluslararası Yaylacılık ve Yayla Kültürü Sempozyumu*, 26-28 Eylül, Giresun.
- ÇŞB-Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2018, 20 Mayıs). Erişim adresi <https://webdosya.csb.gov.tr/db/imarbarisi/icerikler/brosur-20180603111057.pdf>.
- DOKAP-Doğu Karadeniz Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. (2020, 20 Mayıs). Erişim adresi <https://www.dokap.gov.tr/projeler/yesilyol-projesi/1/Detay>.
- EEA, (2010). *The European environment-state and outlook* (2nd ed.). Copenhagen: European Environment Agency.
- Gümüşhane Valiliği. (2017, 20 Mayıs). Erişim adresi <http://gumushane.gov.tr/mera-ve-yaylalardaki-kacak-yapilasmayla-etkin-1mucadele-masaya-yatirildi>.
- Gürbüzürk, A. (2017). *Social housing policy and the welfare regime in Turkey: a comparative perspective*. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- RG. (1989). Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1990-1994). *T.C. Resmi Gazete* (20217, 6 Temmuz 1989).
- RG. (1990). Turizmi Teşvik Kanunu. *T.C. Resmi Gazete* (20452, 5 Mart 1990).
- RG. (1995). Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000). *T.C. Resmi Gazete* (22354, 25 Temmuz 1995).
- RG. (1998). Mera Kanunu. *T.C. Resmi Gazete* (23272, 28 Şubat 1998).
- RG. (2007). Türkiye 2023 Turizm Stratejisi Eylem Planı. *T.C. Resmi Gazete* (26450, 2 Mart 2007).
- Somuncu, M., Akpınar, N., Kurum, E., Kaya, N. Ç. ve Ecerel, T. (2010). Gümüşhane ili yaylalarındaki arazi kullanımı ve işlev değişiminin değerlendirilmesi: Kazıkbeli ve Alistire yaylaları örneği. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2), 107-127. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000031
- Şakar, M. ve Kuruca, N. (2019). Yayla ve yaylacılık Bibliyografyası. *Uluslararası Yaylacılık ve Yayla Kültürü Sempozyumu*, 26-28 Eylül, Giresun.
- TB-Turizm Bakanlığı. (2020, 20 Mayıs). Erişim adresi <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-11533/yayla-turizm-merkezleri.html>.
- Ting, L. and Williamson, I. (1999). Cadastral trends: a synthesis. *The Australian Surveyor*, 4 (1), 46-54. <https://doi.org/10.1080/00050351.1999.10558772>
- Türk, M. (2019). *Sinop Boyabat yayla yerleşimlerindeki kırsal mimari, koruma sorunları ve çözüm önerilerinin Alıç Yaylası örneğinde incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamalar* (1.baskı). Trabzon: Seçil Ofset.
- Yonca, Y. (2014). *Kadirli'de yaylacılık faaliyetleri*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Microthermometric characteristics of vein type U-Th enrichment observed in the Fault Zones in Northwest of Arıklı (Çanakkale-Turkey)

Arıklı (Çanakkale-Türkiye) kuzeybatısında fay zonlarında gözlenen damar tipi U-Th zenginleşmesinin mikrotermometrik özellikleri

Sercan ÖZTÜRK^{1,a}, Cihan YALÇIN^{*2,b}, Mustafa KUMRAL^{1,c}

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34100, İstanbul*

²*Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, 06100, Ankara*

• Geliş tarihi / Received: 21.01.2021 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 21.04.2021

Abstract

U-Th enrichments are observed in many regions in Western Anatolia. There are also U and Th enrichments in the fault zones developed in the tuffs in Arıklı in Biga Peninsula. The characterization of the mineralization is vein type and epigenetic formation. Çetmi Ophiolitic Melange forms the basis of the region. Küçükkuyu formation, which consists of Arıklı tuff member and shale-sandstone member, is located on this unit. The youngest unit in the region is diabase dykes. The study area was affected by deformations during the Paleogene period and E-W and NE-SW extended dip slip fault systems were developed. In the fault zone around Örencik Tepe, 64-1640 ppm values for U and 302-11813 ppm values for Th were obtained respectively. At the same time, hydrothermal magnesite breccias developed in this fault zone. Because of microthermometric assessments in these breccias associated with mineralization, it was determined that the homogenization temperatures (Th, °C) were between 282-348 °C and the % NaCl salinity equivalents were between 4.2-8.0 respectively. It was identified that the solution system of the liquid inclusions is as H₂O-MgCl₂-CaCl₂ and the density of the liquids is between 0.58-0.74 g/cm³.

Keywords: Arıklı tuff member, Hydrothermal magnesite, Microthermometric measurements, Vein type U-Th mineralization

Öz

Batı Anadolu'da birçok bölgede U-Th zenginleşmeleri gözlenir. Biga Yarımadası sınırları içindeki Arıklı ve civarındaki tüflerde gelişen fay zonlarında da U ve Th zenginleşmeleri bulunur. Cevherleşme damar tipi şeklinde ve epigenetik oluşumludur. Bölgenin temelini Çetmi Ofiyolitik Melanji oluşturur. Bu birim üzerinde Arıklı tuf üyesi ve şeyl-kumtaşı üyesinden oluşan Küçükkuyu formasyonu yer alır. Bölgedeki en genç birim ise diyabaz dayklarıdır. İnceleme alanı Paleojen dönemindeki deformasyonlardan etkilenmiş ve E-W ve NE-SW uzanımlı eğim atımlı fay sistemleri gelişmiştir. Örencik tepesi civarındaki fay zonunda U için 64-1640 ppm ve Th için ise 302-11813 ppm değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda bu fay zonunda hidrotermal magnezit breşleri gelişmiştir. Cevherleşme ile ilişkili olan bu breşlerde mikrotermometrik ölçümler sonucunda homojenleşme sıcaklıklarının (Th, °C) 282-348 °C arasında olduğu ve % NaCl tuzluluk eşdeğerlerinin de 4.2-8.0 arasında olduğu belirlenmiştir. Sıvı kapanımların çözelti sisteminin H₂O- MgCl₂-CaCl₂ şeklinde olduğu ve sıvıların yoğunluğunun da 0.58-0.74 g/cm³ arasında olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Arıklı tuf üyesi, Hidrotermal manyezit, Mikrotermometrik ölçümler, Damar tipi U-Th cevherleşmesi

*^b Cihan YALÇIN; cihanyalcinjeo@gmail.com, Tel: (0535) 773 05 73, orcid.org/ 0000-0002-0510-2992

^a orcid.org/ 0000-0003-4478-2908

^c orcid.org/ 0000-0001-7827-8721

1. Introduction

Uranium and Thorium are important radioactive elements. Turkey has significant uranium enrichment in western Anatolia (Şaşmaz, 2008). The International Atomic Energy Agency (IAEA), has classified the uranium deposits into 14 groups (Anonymous, 2009). This classification was made according to age, tectonic, origin rock and location. Granitic and volcanic rocks constitute important lithologies for uranium enrichment (Zhang and Zhang, 1991; Qin and Liu, 1998). According to the wall rocks, U deposits are divided into 4 groups as granite-rock type (G-type), volcanic-rock type (V-type), carbon-silica-pelitic-rock type (CSP-type) and sandstone type (Li et al., 2002).

Uranium exploration in Turkey was initiated by General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) in 1953 and has continued to work after (the Contencin, 1960; Uçmak, 1969; Kaplan, 2011; Yörükoğlu, 2014, Günaydın, 2017). U_3O_8 value is 0.08% in Miocene aged carbonated rocks in Ayvacık-Küçükkuyu field near Çanakkale province (MTA, 2009; MTA 2010c). Natural radiation sources are found in the volcanic tuffs surfacing between Küçükkuyu and Ayvacık with phosphate nodules (Atabey, 2006). There are magnetite, thorite, zircon and titan minerals in the sands at the Geyikli beach close to the region with uranium and thorium contents in geochemical analysis, and the minerals that cause radioactivity are in the form of thorite and uraninites (Andaç, 1971). The origin of these radioactive minerals are the granitic rocks surfacing around Geyikli (Andaç, 1971). It has been determined that the radiated sands in the vicinity of Aladağ village in Ezine district are granitoidic rocks and they are rich in U and Th (Yılmaz-Şahin et al., 2004, 2006; Örgün et al., 2005; Atabey, 2008a; Atabey and Ünal, 2008). Günaydın (2017) stated that U enrichment in and around Arıklı is related to phosphate, that phosphates in this region are sedimentary and are of hydrothermal type associated with fault lines. The uranium minerals observed in the X-Ray Diffractometers analysis (XRD) of the fault lines are in the composition of bayleite and ningyoite in the old works of MTA (Günaydın, 2017). High natural radiation values were reached in the fault zones near Örencik and Feyzullah Tepe in the northwest of Arıklı (Atabey, 2008a). Magnesite breccias located in the northwest of Arıklı were formed by the effect of hydrothermal solutions and there are up to 700 ppm of U anomalies and greater than 1000 ppm of Th anomalies in this fault zone (Günaydın, 2017). Fluid inclusion studies have not yet been carried out for mineralization in fault

zones developing due to the opening tectonics in the region. In this paper we put forward for the first time the microthermometric data obtained from magnesites observed in these fault zones will also shed light on uranium and thorium mineralization.

2. Material and method

It is aimed to determine the relationship between the discontinuity structures of U-Th enrichments, which were previously detected around Arıklı region, to determine the U and Th values in this discontinuity, and to reveal the microthermometric properties of hydrothermal magnesites in the fault lines with high U and Th values.

2.1. Analyses

2.1.1. Geochemical analysis

Geochemical analyzes were carried out at the Istanbul Technical University Geochemistry Research Laboratory (ITU-JAL). Major oxides were determined by XRF (X-Ray Floresance) method in BRUKER S8 TIGER device, and trace elements were determined by ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy) method in PerkinElmer ELAN 6000 DRC-e device.

2.1.2. Fluid inclusion studies

Microthermometric measurements from magnesite related to mineralization were made at ITU JAL using Leica DFC-320, Leica DM 2500, Nikon SMZ800N microscopes integrated into Linkam THMG-600 heating-cooling system. 5 samples were prepared for fluid inclusion study from magnesites located in the fault zone associated with U-Th enrichment in the study area. Among the primary inclusions observed in these samples, Eutectic Temperature ($T_e^{\circ}C$), Final Ice Melting Temperatures ($T_m\text{-ice}^{\circ}C$) and Homogenization Temperature ($T_h^{\circ}C$) were measured.

3. Regional geology

The study area is located in Northwest Anatolia, within the boundaries of Biga Peninsula, east of Ayvacık (Çanakkale) district. The study area is located in the Sakarya zone as a geodynamic location (Figure 1.1a). Okay et al., (1990) defined the units in Çanakkale region as pre-Tertiary and post-Tertiary units. In their subsequent studies, it was divided into three pre-Tertiary tectonic zones observed in NE-SW direction (Okay et al., 2001, Okay and Altın, 2004). These zones are from

northeast to southwest; Ezine Zone, Ayvacık-Karabiga Zone and Sakarya Zone.

There are many metamorphic facies along with ophiolitic rock groups, magmatic, volcanic and sedimentary rock groups located in the north of

Edremit Bay (Figure 1.b) (Okay and Satır, 2000a; Şengün et al., 2011). In the vicinity of Arıklı, the Miocene Pliocene aged continental sediments and Cretaceous aged Çetmi melange are outcrop (Figure 1.b).

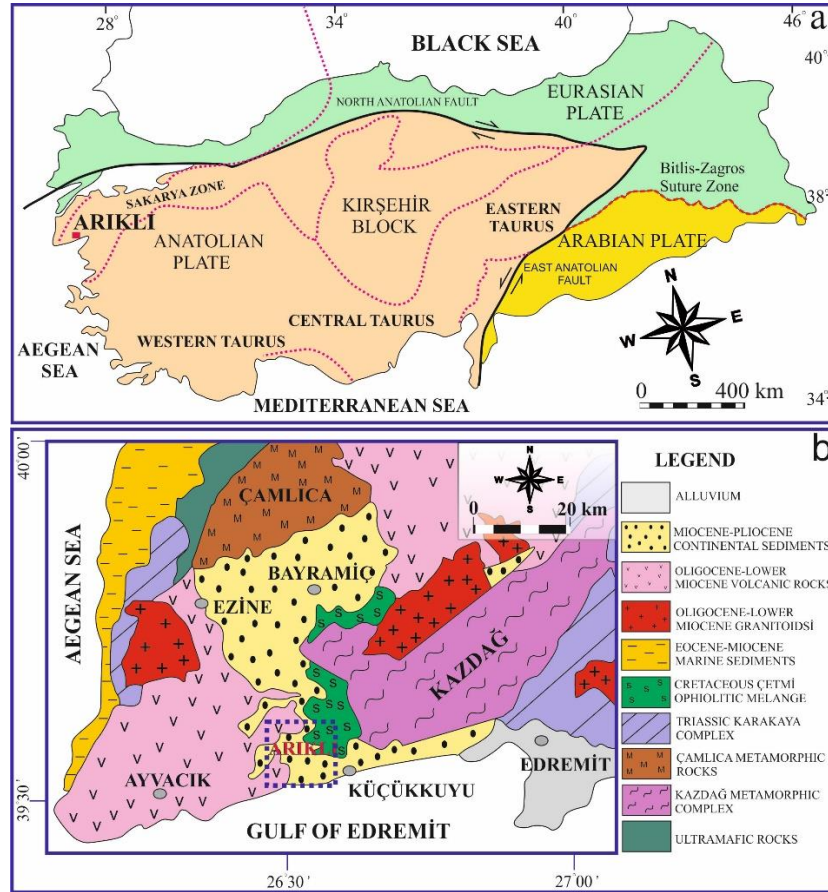


Figure 1. a. Tectonic location of the study area (modified from Işık, 2016), b. Generalized geology map of the Biga region and location of the study area (modified from Okay and Satır, 2000a; Şengün et al., 2011).

3.1. Geology of the study area

The Cretaceous Aged Çetmi Ophiolitic Melange, Küçükkuuyu Formation and Quaternary aged alluvial deposits are located in the study area from older to younger. In the Küçükkuuyu formation, shale-sandstone member, and Arıklı tuff member were distinguished and diabbases that cut these units were mapped on the Örencik Tepe (Figure 2).

3.2.1. Çetmi ophiolitic melange

The oldest unit of the study area is Çetmi Ophiolitic Melange (Siyako et al., 1989; Okay et al., 1990). This unit, which spreads around Çamurlu Tepe, Sivri Tepe and Hıdırkaya Tepe in the northeast of the study area, consists mainly of spilitic mafic volcanic rocks, pyroclastic rocks, limestone, chert-radiolarite, shale and graywacke. In addition, it is

located in different levels of serpentinite, radiolaria chert and garnet micaschist, metabasic rocks that have undergone metamorphism in eclogite facies (Günaydn, 2017).

Çetmi melange consists of mafic volcanic rocks, limestones, radiolarite-chert, intercalation of graywacke and shale contain serpentinite blocks and metamorphic rocks consisting of tectonic slices (Okay and Satır, 2000b; Beccalotto and Jenny, 2004).

Beccalotto et al., (2005) stated that the melange in the region was affected by a severe tension during the Paleogene period. The contacts of the units of the ophiolitic melange are limited by the E-W and NE-SW trending dip-slip faults (Figure 2).

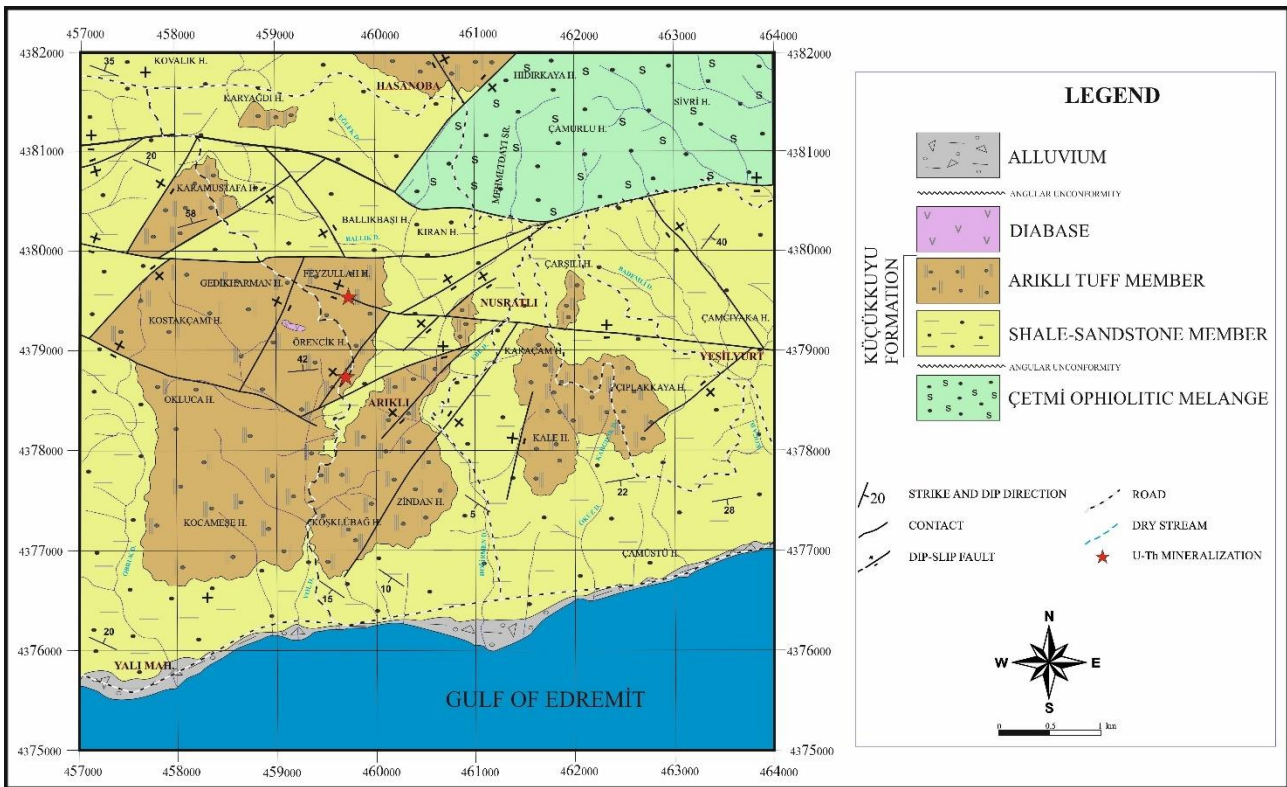


Figure 2. Geological map of the study area.

3.2.2. Küçükkuuyu formation

This unit, which was named for the first time by Saka (1979), includes continental sediments formed simultaneously with Oligo-Miocene volcanism, tuff and pyroclastic rocks of this volcanism (Siyako et al., 1989). The base of the unit consists of conglomerate and towards the upper levels, it passes into sandstone, mudstone, marl, claystone, shale and tuffs. For this reason, mapping was carried out separately as a member of the continental clastics and a member of Arıklı ignimbrites. Some researchers have determined the age of the formation as Lower-Middle Miocene (İnci, 1984; Kesgin, 2001; Çiftçi et al., 2004).

Shale-sandstone member

This unit, which outcrops in most of the study area, consists of shale-sandstone intercalation. The unit has lateral and vertical transition with Arıklı ignimbrites, and located side by side with Cretaceous aged Çetmi ophiolitic melange by dip-slip fault in the northeast. In the south, this unit is covered with angular unconformity by Quaternary aged alluvial deposit (Figure 2).

Arıklı tuff member

Arıklı ignimbrites are widely outcropped in the study area around Arıklı (Figure 2). This unit,

which is observed topographically at higher levels, spreads in Örencik Tepe, Feyzullah Tepe, west of Nusratlı, around Kale Tepe and Hasanoba region. Arıklı ignimbrites, consists of andesite-dacite lava and tuffs (Dönmez et al., 2005). Günaydın (2017) divided the tuffs into three groups: vitric, crystal and lithic tuff. In the northwest of Arıklı, there are hydrothermal magnesite breccias in dip-slip fault contacts (Günaydın, 2017). The contact relationship of this unit, which has a lateral vertical transition with the shale-sandstone member, is tectonic in some regions. This unit is located side by side with Çetmi ophiolitic melange by dip-slip fault in the north of Hasanoba. In the north of Örencik Tepe, diabase dyke cuts this unit with an E-W trending (Figure 2).

Diabase

This unit, which is observed in limited areas in the north of Örencik Tepe in the study area, cuts the ignimbrites with an E-W trending.

4. Ore geochemistry

Günaydın (2017) stated that U-Th mineralization in this region is of hydrothermal type associated with fault lines. Since U and Th mineralization is not visible, samples were collected from ignimbrites and fault zones around Arıklı and Nusratlı. Analysis results of 48 compiled samples are given

in Table 1. According to the results of the analysis, U and Th anomalies are observed in the NE-SW and NW-SE dip-slip fault zones observed in the north west of Arıklı (Figure 3). The highest U and Th values are found in the area where magnesite breccias in the northwest of Arıklı (Figure 4). In the F35A and F35B samples, anomalies of U are between 64-1640 ppm and Th anomalies are between 302-11813 ppm (Table 1). In samples compiled around Örencik Tepe and Feyzullah Tepe (F36, F37, F39, F40A, F40B, F41, F41A, F42A, F42B) U are between 0-11 ppm and Th are between 21-397 ppm (Table 1). As a result of these data, U and Th mineralizations in the region are related to fault zones developing in Arıklı ignimbrites.

Günaydın (2017) stated that the presence of minerals such as barite and magnesite in the fault lines are of hydrothermal origin of mineralization.

Besides these, bestowing to the geochemical analysis of the samples gathered in the region, in U and Th rich specimens, MgO is between 17.23-40.10%, CaO 3.08-30.57% and SiO₂ is between 2-28.69% (Table 1). U-Th anomaly was not detected in many samples gathered from fault zones. Although Günaydın (2017) determined P₂O₅ between 1.7% and 32.4% in his analysis in the U and Th rich zone (Feyzullah and Örencik Hill), P₂O₅ contents were between 0.03-0.93% in the samples solicited in this study.

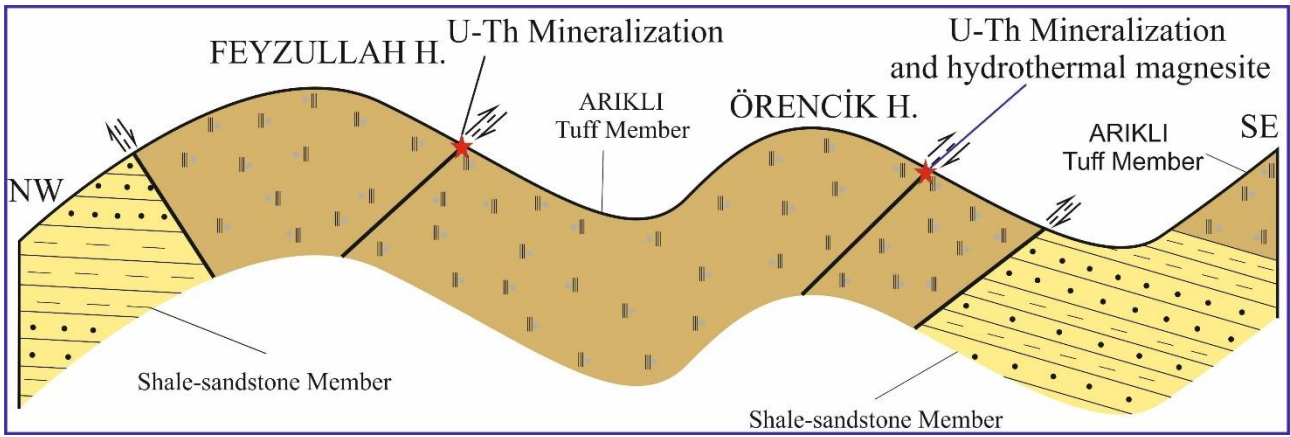


Figure 3. U-Th anomalies observed in fault zones in northeast of Arıklı and general view of the units (without scale).



Figure 4. General view of hydrothermal magnesites in northwest of Arıklı.

Table 1. Major oxide (%) and trace element (ppm) values of the samples compiled in the study area.

Major Oxide (%)	F1	F2_3	F4	F5	F6	F7	F9A	F9B	F10	F11A	F11B	F12
SiO ₂	63.09	61.52	38.33	60.54	64.17	71.32	63.64	61.59	73.9	55.51	59.25	60.12
Al ₂ O ₃	15.83	15.07	10.09	14.89	10.55	13.17	15.39	12.89	11.13	19.96	18.55	15.9
Fe ₂ O ₃	3.17	2.07	4.43	7.08	3.26	3.85	6.47	5.32	2.99	6.52	5.13	4.75
MgO	0.77	1.26	5.82	0.4	2.27	0.4	0.44	0.5	0.46	0.84	0.79	0.13
CaO	0.93	2.93	15.31	0.2	5.6	0.17	0.14	0.79	0.08	0.66	0.68	0.36
Na ₂ O	0.31	0.1	0.19	0.23	0.14	0.14	0.12	0.19	0.13	0.85	0.71	0.09
K ₂ O	9.87	8.93	7.43	13.19	5	7.64	9.72	6.98	8.73	8.81	8.13	15.4
TiO ₂	0.45	0.38	0.49	0.75	0.45	0.7	0.95	0.78	0.46	0.95	0.87	0.91
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.11	0.2	0.58	0.21	0.41	0.3	0.07	0.1	0.11	0.36
MnO	0.07	0.08	0.17	0.11	0.08	0.07	0.17	0.14	0.02	0.02	0.01	0.11
Cr ₂ O ₃	0.39	0.23	0.01	0.04	0.38	0.34	0.05	0.07	0.45	0.28	0	0
SO ₃	0.38	0.36	0.06	0.02	0.06	0.03	0.02	0.10	0.03	0.49	0.60	0.03
LOI	4.03	6.63	17.34	2.17	7.25	1.80	2.21	10.15	1.43	4.78	4.94	1.38
TOTAL	99.47	99.63	99.88	99.90	99.85	99.91	99.79	99.83	99.47	99.90	99.91	99.84
Trace Element (ppm)	F1	F2_3	F4	F5	F6	F7	F9A	F9B	F10	F11A	F11B	F12
As	357	315	312	261	150	241	295	249	85	141	157	682
Ba	1172	1117	612	451	300	412	328	389	248	1013	1039	756
Br	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15	ND	ND	ND	ND
Ce	375	106	60	ND	ND	ND	391	339	ND	ND	ND	1491
Cl	2874	580	118	ND	153	ND	ND	130	137	88	106	110
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12	3	4	ND	ND	ND
Cu	41	49	29	31	46	33	48	35	46	42	ND	38
Ga	ND	39	33	21	ND	27	ND	ND	ND	ND	23	40
Ge	ND	ND	15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	ND	ND	ND	ND	60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	17	14	ND	13	11	9	16	ND	ND	10	10	ND
Ni	25	35	102	201	210	278	409	225	111	ND	27	102
Pb	60	59	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	54
Rb	232	197	144	297	123	152	168	132	216	274	236	287
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	116	136	386	53	355	28	24	44	34	177	159	28
Th	34	71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
U	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	154	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	12	ND	ND	ND	ND	14	ND	ND
Yb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	28	ND	ND	ND
Zr	348	308	111	178	221	121	172	168	157	202	177	123

Table 1. Continued.

Major Oxide (%)	F13	F14	F22A	F22B	F23	F24	F25	F26	F27_A	F27_B	F28_A	F28_B
SiO ₂	34.96	64.58	48.51	54.01	54.75	63.24	59	59.39	47.45	50.37	59.19	59.46
Al ₂ O ₃	9.82	14.87	14.64	14.85	14.87	9.97	13.77	14.21	11.99	12.82	13.87	13.76
Fe ₂ O ₃	4.75	2.44	5.48	5.7	5.99	3.02	4.08	3.95	6.26	6.42	6.07	5.89
MgO	2.08	0.72	7.07	4.92	4.54	3.53	3.12	3.05	4.4	2.97	3.23	3.12
CaO	26.18	0.56	9.72	4.36	3.68	6.78	4.68	4.34	10.46	11.4	3.63	3.61
Na ₂ O	1.67	0.19	2.24	1.15	1.26	2.08	1.5	1.65	1.34	0.95	0.97	0.98
K ₂ O	1.25	13.67	3.5	5.96	5.8	3.19	6.34	6.51	4	3.36	3.93	3.9
TiO ₂	0.47	0.38	0.95	0.83	0.81	0.48	0.63	0.63	0.7	0.66	0.78	0.79
P ₂ O ₅	0.16	0.07	0.31	0.24	0.23	0.17	0.21	0.22	0.13	0.17	0.25	0.26
MnO	0.08	0.04	0.07	0.12	0.1	0.06	0.07	0.1	0.17	0.12	0.13	0.13
Cr ₂ O ₃	0.53	0.3	0.01	0.03	0.29	0.26	0.01	0	0.01	0.05	0.05	0.05
SO ₃	0.31	0.04	0.09	0.15	0.14	0.10	0.15	0.14	0.22	0.19	0.12	0.13
LOI	17.44	1.87	6.99	7.32	7.15	6.61	6.01	5.37	12.69	10.19	7.58	7.70
TOTAL	99.83	99.84	99.75	99.80	99.50	99.87	99.82	99.81	99.88	99.86	99.89	99.88
Trace Element (ppm)	F13	F14	F22A	F22B	F23	F24	F25	F26	F27_A	F27_B	F28_A	F28_B
As	32	148	107	182	193	106	213	1942	132	110	107	90
Ba	1084	548	1370	1269	1157	739	1784	111	457	1733	848	862
Br	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	ND	403	ND	ND	230	ND	485	ND	ND	ND	ND	ND
Cl	277	ND	164	124	273	2885	142	156	ND	ND	ND	ND
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6	9	4	ND	3	ND
Cu	44	22	94	58	68	36	51	54	62	43	44	50
Ga	ND	71	58	30	37	ND	26	25	ND	ND	15	ND
Ge	ND	18	ND	21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	20	ND	ND	8	ND	11	ND	ND	ND	ND	12
Ni	58	32	60	191	202	45	51	40	83	119	173	166
Pb	50	59	ND	42	ND	ND	37	44	ND	ND	ND	35
Rb	29	375	93	160	186	73	159	167	110	106	115	112
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	670	30	1033	397	439	433	421	500	443	419	268	273
Th	ND	46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
U	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	38	0	168	165	0	0	ND	ND	ND	ND	145	153
Y	0	0	0	0	11	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	0	0	0	0	0	74	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0	0	0	0	0	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zr	286	441	304	219	375	228	266	386	222	248	179	188

Table 1. Continued.

Major Oxide (%)	F29A	F29B	F30	F31_A	F31_B	F35_A	F35_B	F36	F37	F39	F40_A	F40_B
SiO ₂	46.88	51.94	57.76	60.46	59.9	2	4.64	7.75	6.1	6.1	3.66	28.69
Al ₂ O ₃	12.16	15.07	11.29	12.1	12.46	0.31	0.83	1.99	0.53	1.26	0.98	8.13
Fe ₂ O ₃	6.1	6.39	4.93	5.34	5.2	1.01	0.22	0.55	0.47	0.23	0.39	1.85
MgO	5.47	3.79	5.04	5.21	4.95	17.25	40.1	36.74	17.69	40.09	33.66	17.23
CaO	9.32	5.51	7.18	3.87	3.98	30.57	4.93	4.58	29.27	3.08	12.51	9.94
Na ₂ O	1.69	1.49	1.32	1.18	1.29	0	0.22	0	0	0	0	0.09
K ₂ O	3.5	5.24	3.7	3.95	3.98	0.03	0.04	1.25	0.09	0.03	0.24	1.86
TiO ₂	0.67	0.72	0.64	0.69	0.68	0.1	0.02	0.05	0.02	0.04	0.04	0.25
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.93	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.13
MnO	0.18	0.1	0.09	0.09	0.09	0.05	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05
Cr ₂ O ₃	0.03	0.02	0.08	0.08	0.08	0	0	0	0	0	0	0
SO ₃	0.52	0.39	0.23	0.13	0.13	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.06
LOI	13.00	8.41	7.31	6.46	6.84	45.57	48.79	46.94	45.57	49.02	48.24	31.51
TOTAL	99.82	99.77	99.87	99.84	99.78	97.95	99.89	99.95	99.98	99.99	99.94	99.85
Trace Element (ppm)	F29A	F29B	F30	F31_A	F31_B	F35_A	F35_B	F36	F37	F39	F40_A	F40_B
As	207	183	94	93	93	149	30	164	69	16	80	250
Ba	958	5039	1122	869	869	765	ND	ND	ND	ND	ND	304
Br	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cl	157	148	ND	ND	110	ND	140	115	ND	95	137	ND
Co	ND	ND	ND	6	7	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	46	60	39	46	38	ND	18	22	24	ND	20	32
Ga	18	19	18	17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ge	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	7	9	7	8	ND	62	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	183	159	198	231	226	24	12	17	ND	20	13	34
Pb	56	ND	ND	ND	ND	43	ND	ND	ND	ND	ND	28
Rb	127	174	94	112	112	44	ND	25	ND	ND	ND	54
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	540	475	454	358	363	2977	471	434	1175	437	978	485
Th	ND	ND	ND	ND	ND	11813	302	21	133	225	261	397
U	ND	ND	ND	ND	ND	1640	64	ND	ND	11	ND	ND
V	ND	ND	ND	142	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	16	ND	18	ND	ND	864	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	ND	ND	ND	ND	ND	243	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	ND	66	75	ND	ND	ND	ND	ND	12	41
Zr	308	304	256	172	175	ND	5	13	30	9	23	232

Table 1. Continued.

Major Oxide E (%)	F41	F41_A	F42_A	F42_B	F45	F46_47	F48	F49	F50	F52	F53	F54
SiO ₂	3.02	22.12	18.56	24.34	52.26	67.21	62.92	77.51	95.7	64.49	64.16	59.53
Al ₂ O ₃	0.11	6.82	3.48	5.93	15.74	14.31	15.32	17.45	1.58	17.67	15.94	13.11
Fe ₂ O ₃	0.31	1.13	0.83	1.03	11.27	2.9	3.94	1.22	0.77	2.07	2.55	5.92
MgO	37.38	21.53	31.99	26.72	1.96	ND	0.07	0.46	0.11	0.77	0.82	4.33
CaO	10.63	7.78	1.92	2.26	1.67	ND	0.16	0.13	0.32	2.03	2.39	2.75
Na ₂ O	ND	ND	0.64	0.45	3.91	0.07	0.36	ND	ND	0.21	0.24	0.74
K ₂ O	ND	0.17	0.07	0.32	6.29	13.25	14.52	3.01	0.36	5.49	6.75	5.01
TiO ₂	0.01	0.17	0.09	0.16	1.28	0.37	0.64	0.06	0.05	0.29	0.28	0.69
P ₂ O ₅	0.02	0.04	0.02	0.04	0.89	0.13	0.24	ND	ND	0.07	0.06	0.2
MnO	0.03	0.03	0.02	0.03	0.13	0.06	0.05	0.02	0.02	0.07	0.08	0.09
Cr ₂ O ₃	0.13	ND	0.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06
SO ₃	0.02	0.04	ND	ND	0.10	ND	0.01	0.04	0.01	0.02	0.04	0.07
LOI	48.14	40.03	42.07	38.52	4.20	1.43	1.44	ND	1.05	6.68	6.53	7.29
TOTAL	99.96	99.91	99.97	99.96	99.81	99.85	99.84	99.97	100.00	99.93	99.96	99.83
Trace Element (ppm)	F41	F41_A	F42_A	F42_B	F45	F46_47	F48	F49	F50	F52	F53	F54
As	15	115	96	155	256	466	727	14	ND	13	ND	103
Ba	ND	417	320	418	706	293	494	622	ND	514	817	800
Br	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	ND	ND	ND	ND	ND	279	369	ND	ND	ND	ND	ND
Cl	311	ND	160	194	96	ND	107	ND	114	154	300	132
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15	ND	68	1	ND	8
Cu	23	17	23	ND	91	25	40	29	32	22	28	37
Ga	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17	17	ND	ND	ND	ND
Ge	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	ND	ND	21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	ND	ND	ND	ND	18	13	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	15	14	17	16	26	21	78	18	25	ND	20	282
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	75	50	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	ND	6	9	18	151	395	301	74	0	98	129	123
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	37	ND	ND	ND
Sr	1243	291	153	154	218	19	87	50	29	29	34	114
Th	149	ND	20	21	21	29	53	ND	ND	ND	ND	ND
U	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	33	458	27	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	24	15	24	88	60	62	40	22	38	40	ND
Zr	ND	193	14	34	79	523	286	101	ND	138	138	150

5. Fluid inclusion study

Microthermometric measurements were carried out from two-phase primary inclusions (Figure 5), taking into account the criteria specified by Roedder (1984) and Van den Kerkhof and Hein (2001), among the magnesites in the fault zone,

where U-Th mineralization was highest in the study area (Table 2). Liquid inclusions are mostly irregular and contain liquid and vapor (L-V) at room temperature (Figure 5). In the measurements at these inclusions, all homogenisations occurred in the liquid phase. Although the bubbles of the V phase are quite large in some inclusions (Figure

5a), they are generally small in size (Figure 5b). Using the equation of Bodnar (1993), the melting temperatures obtained for each inclusion were calculated from the measurements, % NaCl equivalents of the inclusion (Table 2). In the moderate of the data got from the liquid inclusions,

the density of the inclusions was calculated according to Zhang and Frantz (1987) with the service of the BULK (Bakker, 2003) package program (Table 2). Because of the calculations, it was demonstrated that the density of the liquids ranged between 0.58-0.74 g / cm³ (Table 2).

Table 2. Microthermometric data from magnesites.

Sample No	Mineral	Type	Eutectic Temperature (Te°C)	Final Ice Melting Temperatures (Tm-ice°C)	Homogenization Temperature (Th°C)	%NaCl Salinity	Density (d) g/cm ³
1	Magnesite	LV	-47.2	-3.8	298	6.2	0.70
2	Magnesite	LV	-46.3	-4.8	348	7.6	0.58
3	Magnesite	LV	-44.6	-2.5	315	4.2	0.66
4	Magnesite	LV	-46.8	-4.6	341	7.3	0.60
5	Magnesite	LV	-38.6	-5.1	283	8.0	0.74
6	Magnesite	LV	-29.5	-2.9	315	4.8	0.66
7	Magnesite	LV	-34.3	-3.1	334	5.1	0.61
8	Magnesite	LV	-35.5	-4.9	342	7.7	0.59
9	Magnesite	LV	-40.3	-3.9	322	6.3	0.65
10	Magnesite	LV	-46.2	-4.1	320	6.6	0.65
11	Magnesite	LV	-46.8	-2.6	289	4.3	0.72
12	Magnesite	LV	-44.2	-4.1	345	6.6	0.58
13	Magnesite	LV	-43.5	-3.9	282	6.3	0.74
14	Magnesite	LV	-39.1	-3.1	312	5.1	0.67
15	Magnesite	LV	-45.5	-3.9	329	6.3	0.63

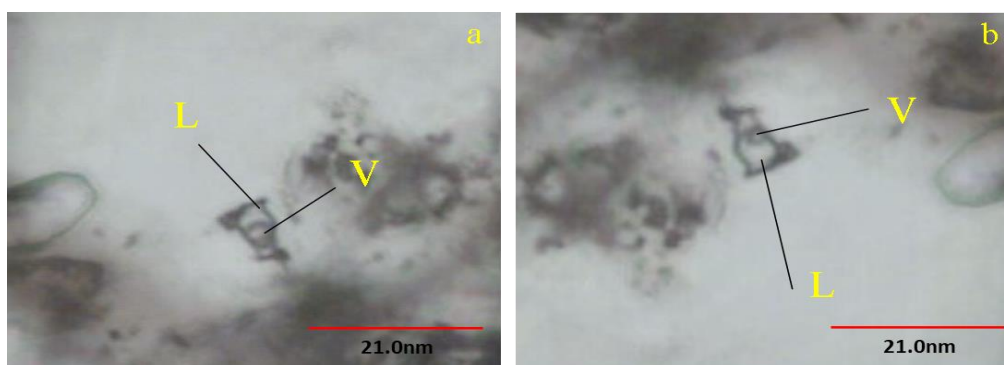


Figure 5. The photomicrographs of liquid-gas (LV Type) phases of primary inclusions observed in magnesites.

In measurements of LV-type inclusions in magnesite samples in the northwest of Arıklı, where U mineralization is observed, Tm-ice values are between -2.5 °C and -5.1 °C and salinity equivalents (% NaCl) (Bodnar, 1993) are between 4.2-8.0. Homogenization temperatures (Th, °C) are

between 282-348 °C. It is seen that the eutectic temperature values (Te, °C) are between -29.5 °C and -47.2 °C, while the final ice melting temperature values are relatively (Tm-ice, °C) in narrower intervals (Figure 6).

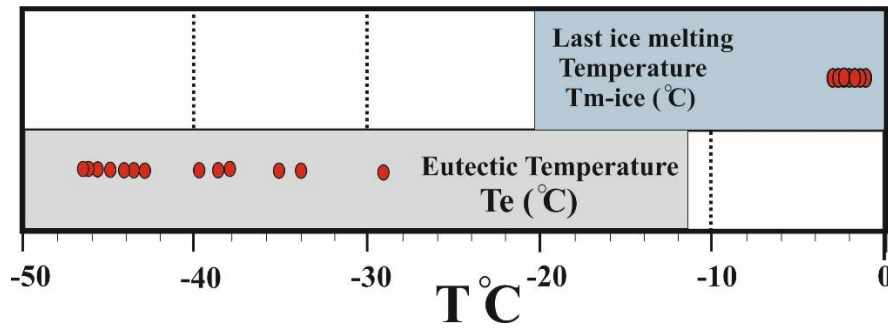


Figure 6. Distribution of microthermometric values detected in magnesites.

When the homogenization temperature (T_h , °C) and salinity (% NaCl equivalent) values are evaluated, the salinity values are between 4.2-8.0 (average: 6.2), and the homogenization temperatures (T_h , °C) values are between 282-348 °C (average: 318 °C) as seen in frequency

histogram (Figure 7). While homogenization temperatures are encountered in wide ranges in U-Th mineralization, % NaCl salinity equivalents exhibit a tighter distribution than homogenization temperatures (Figure 7).

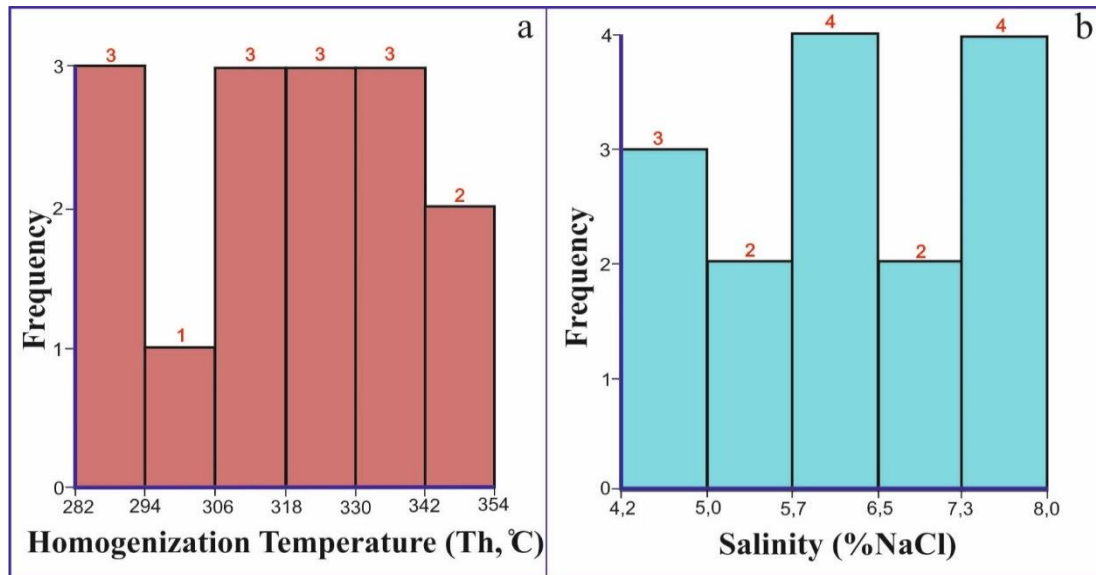


Figure 7. Frequency histograms of inclusions observed in magnesite; a. Homogenization Temperature (T_h , °C), b. Salinity (% NaCl Equivalent).

Microthermometric data obtained in ore zones were compared with data obtained in various deposits in the world (Figure 8). According to the data obtained, it was determined that the mineralization was homogenized at higher temperatures close to the epithermal phase, and the salinity values showed a similar distribution to this phase.

The microthermometric measurement values detected in hydrothermal magnesites with uranium and thorium mineralization were evaluated according to the tables developed by Roedder (1979) and Shephard et al. (1985). Accordingly, eutectic temperature values (T_e , °C) show that the solution is rich in $CaCl_2$ and $MgCl_2$ (Crawford,

1981; Roedder, 1984). As a result of these data, the solution system is H_2O - $MgCl_2$ - $CaCl_2$.

6. Discussion and conclusion

The important uranium mineralization is generally sedimentary type in Turkey (Akiska et al., 2019), only Demirtepe (Söke-Aydın) as vein-type mineralization (TÜSİAD, 1998). In Demirtepe, uranium enrichment is observed in fault zones developing in Paleozoic aged schists (Akiska et al., 2019). Thorium deposits, located in Kızılcaören-Eskişehir (Turkey), formed in barite, fluorite and REE deposit (Kaplan, 1977). In addition, thorium occurrences were found in Malatya-Darende-Kuluncak, Kayseri-Felahiye, Sivas and Diyarbakır regions (DPT, 1996; Akkoyunlu, 2006).

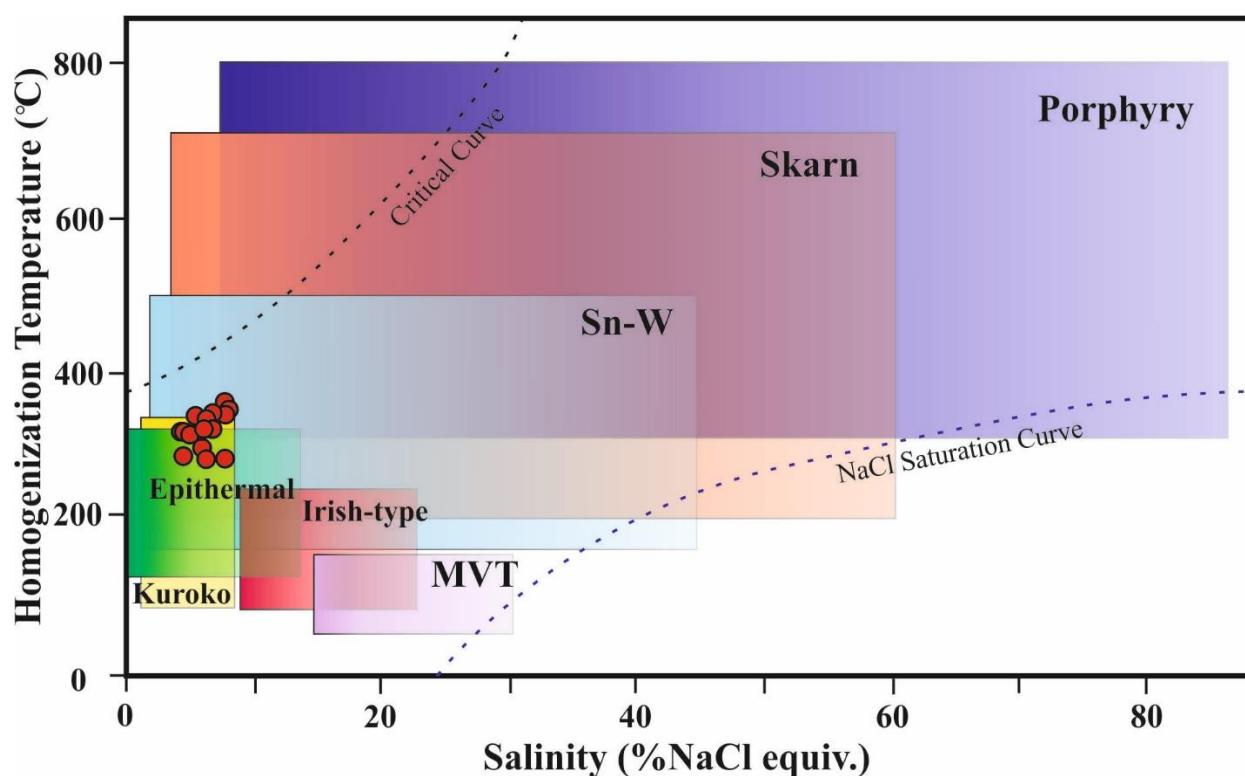


Figure 8. Comparison of homogenization temperature-salinity values detected in magnesites with various deposits in the world (Wilkinson, 2001).

With the effect of the stress system in the Paleogene period in the study area, dip-slip fault systems have developed. These fault zones are mostly E-W and NE-SW trending. U-Th mineralization observed in fault zones in volcanoclastic rocks in the northwest of Arıklı is epigenetic and vein type (Günaydın, 2017). The highest U-Th values are in the area with hydrothermal magnesites.

Fluid inclusion studies in ore zones that are thought to be in hydrothermal systems provide critical information (Lu et al., 2004a; Chen et al., 2007). It is possible to evaluate together with the geology and geochemistry of the region. Li et al. (2002) stated that many uranium deposits in Southern China are related with faults and that faults perform significant appearances in the formation and distribution of hydrothermal uranium deposits.

In an extensional tectonic environment, revealing the physicochemical properties of ore-forming fluids is an important component to inspect the genesis of mineralization. Presumably, the fluids existing to the bed rocks rich in U and Th were mobilized and deposited in convenient areas depending on the fault activity. A complementary situation is also observed in U ores in Southern China (Bonnetti et al., 2018; Shu et al., 2009; Wang and Shu, 2012). The fluids belonging to the

bedrock in the U fields established by the stress tectonic system in Southern China were mobilized after faulting and also deposited in sufficient physicochemical environments (Riegler et al., 2014; Bonnetti et al., 2020).

In this study, hydrothermal magnesites in the same fracture line as the ore zone exhibit high homogenization temperatures (282-348 °C, average: 318 °C) and low salinity (4.2-8.0% weight NaCl equivalent). Because of the results obtained from the inclusions, it was decided that the density of the liquids were between 0.58-0.74 g/cm³.

The geology, geochemistry and fluid inclusion characteristics of the mineralisation in the Arıklı U-Th deposit are consistent with a hydrothermal origin. Microthermometric data obtained in ore zones show that mineralization was homogenized at higher temperatures close to the epithermal phase and salinity values showed a similar distribution to this phase.

References

- Akıska, E., Karakaş, Z. and Öztürk, C. (2019). Uranium, thorium and rare earth element deposits of Turkey. Pirajno, F., Ünlü, T., Dönmez, C., Şahin, M. (Eds.). *Mineral Resources of Turkey* (p. 655-679). Crawley; Ankara: Springer, Cham., 16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02950-0_14.

- Akkoyunlu, A. (2006). Türkiye’de enerji kaynakları ve çevreye etkileri [Energy sources and their environmental effects in Turkey]. *Turkish Asian Center for Strategic Studies*.
- Andaç, M. (1971). Biga yarımadasında tarihi Truva harabelerinin güneyindeki radyoaktif sahil kumlarının mineralojisi ve bunların ana kayaçlarının petrolojisi. *MTA Dergisi*, 95, 75-79.
- Anonymous. (2009). World distribution of uranium deposit (UDEPO) with uranium deposit classification. *IAEA, TECDOC*, 1629.
- Atabey, E. (2006). Çanakkale’nin Ayvacık-Küçükkuyu arası kayaların özellikleri, MTA’nın uranyum-fosfat aramaları ve doğal radyoaktivite. *Radyasyon ve Çevre Sempozyumu Bildiriler kitabı* (s.1), Çanakkale.
- Atabey, E. ve Ünal, H. (2008). *Batı Anadolu’daki jeolojik unsurlar ve halk sağlığı projesi 2006-2007 yılı tıbbi jeoloji ve etüt raporu*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA, Rapor No, 11067, 292.
- Atabey, E. (2008). Doğal radyasyon kaynakları: Çanakkale ili Ayvacık ve Geyikli örneği. *Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyum Kitabı* (s. 85-88). YMGV Yayını. ISBN: 978-975-7946-33-5, İstanbul.
- Bakker, R.J. (2003). Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties, *Chemical Geology*, 194, 3-23. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00268-1](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00268-1).
- Beccaletto, L. and Jenny, C., (2004). Geology and correlation of the Ezine Zone: a Rhodope fragment in NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 13(2), 145–176.
- Beccaletto, L., Bartolini A.C., Martini R., Hochuli P.A. and Kozur H. (2005). Biostratigraphic data from the Çetmi melange, northwest Turkey. *Palaeogeographic and tectonic implications, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 221, 215-244. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.02.011>.
- Bodnar, R.J. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochemistry Cosmochemical Acta*, 57, 683–684. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A).
- Bonnetti, C., Liu, X., Mercadier, J., Cuney, M., Deloule, E., Villeneuve, J. and Liu, W. (2018). The genesis of granite-related hydrothermal uranium deposits in the Xiazhuang and Zhuguang ore fields, north Guangdong Province, SE China: Insights from mineralogical, trace elements and U-Pb isotopes signatures of the U mineralisation. *Ore Geology Review*, 92, 588–612. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.010>.
- Bonnetti, C., Liu, X., Cuney, M., Mercadier, J., Riegler, T. and Yu. C. (2020). Evolution of the uranium mineralisation in the Zoujiashan deposit, Xiangshan ore field: Implications for the genesis of volcanic-related hydrothermal U deposits in South China. *Ore Geology Reviews*, 122, 103514, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103514>.
- Chen, Y.J., Ni, P., Fan, H.R. and Lai, Y. (2007). Diagnostic fluid inclusions of different types gold deposits. *Acta Petrolei Sinica*, 23, 2085–2108 (in Chinese with English abstract). <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-GDKL200711002057.htm>.
- Contencin, G. (1960). Sivrihisar Beylikahır radyoaktif emaresi [Radioactive signs of Sivrihisar Beylikahır]. *General Directorate of Mineral Research and Exploration Report*, no 3167 (in Turkish, unpublished).
- Crawford, M. L. (1981). Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. In *Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook*. Hollister, L.S., Crawford, M.L. (Eds.), 6, 75-100.
- Çiftçi, N.B., Temel, R.Ö. and Terzioğlu, M.N. (2004). Neogene stratigraphy and hydrocarbon system of the region surrounding the gulf of Edremit, NW Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 16, 81-104 (in Turkish with English abstract).
- DPT. (1996). Nükleer enerji hammaddeleri-Uranyum-Toryum [Nuclear energy raw materials–uranium–thorium]. Turkish republic prime ministry state planning organization undersecretariat, Mining specialization commission-sub-commission on energy raw materials, *Geothermal energy working group report*, DPT 2429 (in Turkish, unpublished).
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Genç, S.C. and Acar, S. (2005). Middle-Upper Eocene volcanism and marine ignimbrites in Biga Peninsula. *Bulletin Mineral Research Exploration*, 131, 49–61 (in Turkish).
- Günaydın, A. (2017). Geology and geochemistry of nodular-phosphate and fault-controlled hydrothermal-phosphate mineralizations in Arıklı and Nusrathı villages (Ayvacık-Çanakkale, NW Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 155 (155), 131-146. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.314197>.

- Işık, V. (2016). Torosların Jeolojisi; *Türkiye Jeolojisi Ders Notu*. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- İnci, U. (1984). The stratigraphy and organic properties of Demirci and Burhaniye bituminous shales. *Bulletin of the Geological Congress of Turkey*, 5, 27-40 (in Turkish with English abstract).
- Kaplan, H. (1977). Eskisehir-Sivrihisar-Kızılcaören köyü yakın güneyi nadir toprak elementleri ve toryum kompleks cevher yatağı nihai etüdü [Final report of the rare earth elements and thorium ore complex in Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcaören village]. *General Directorate of Mineral Research and Exploration Report*, no 8672 (in Turkish, unpublished).
- Kaplan, H. (2011). Kızılcaören toryum/nte yatağının keşfi üzerine, kişisel söyleşi [On the discovery of the Kızılcaören Thorium/REE beds, personal interview]. *Ministry of Earth Science Magazine*, 13, 52–62.
- Kesgin, Y. (2001). Tertiary geology and sedimentology of the northeastern Aegean offshore and nearshore regions. *PhD Thesis*, p.265, Ankara University, Ankara, Turkey (in Turkish with English abstract).
- Li, J., Zhou, M., Li, X., Fu, Z. and Li, Z. (2002). Structural control on uranium mineralization in South China: Implications for fluid flow in continental strike-slip faults. *Science in China (Series-D)*, 45, 851–864. <https://doi.org/10.1007/BF02879519>.
- Lu, H.Z., Fan, H.R., Ni, P., Ou, G.X., Shen, K. and Zhang, W.H. (2004). Fluid Inclusions. *Science Press*, Beijing (pp, 487, in Chinese).
- MTA. (2009). Mineral resources of Turkey (According to Province). *Publication of Mineral Research and Exploration, Earth Science and Culture Series-5*, Ankara, p 602. ISBN 978–605-4075-32-4.
- MTA. (2010c). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü websitesi, (Accessed 22 Oct 2015). http://www.mta.gov.tr/v2.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/Canakkale_Madenler.pdf.
- Okay, A.I., Siyako, M. and Bürkan, K.A. (1990). Geology and tectonic evolution of the Biga peninsula. *Association Of Turkish Petroleum Geologists Bulletin*, 2, 83-121.
- Okay A.İ., and Satır M. (2000a). Upper Cretaceous Eclogite-Facies Metamorphic Rocks From the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 47–56.
- Okay, A.İ. and Satır, M. (2000b). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137 (5), 495–516.
- Okay, A. I., Tansel, I. and Tuysuz, O. (2001). Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous–Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, 138(2), 117-142.
- Okay, A.I. and Altınır, D. (2004). Uppermost Triassic limestone in the Karakaya Complex stratigraphic and tectonic significance. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13,187-199.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A. H., Karahan, G. and Çelebi, N. (2005). Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskişehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 63(2), 267–275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2005.03.008>.
- Qin, M. T. and Liu, S. X. (1998). Granite- and volcanic rocks-type uranium deposits in the Nanling region (in Chinese with English abstract), *Beijing: Geological Publishing House*, 147-155.
- Riegler, T., Lescuyer, J.-L., Wollenberg, P., Quirt, D. and Beaufort, D. (2014). Alteration related to uranium deposits in the Kiggavik-Andrew lake structural trend, Nunavut, Canada: new insights from petrography and clay mineralogy. *Canadian Mineralogy*, 52, 27–45. <https://doi.org/10.3749/canmin.52.1.27>.
- Roedder, E. (1979). Origin and significance of magmatic inclusions. *Bulletin de Mineralogie*, 102(5), 487-510. <https://doi.org/10.3406/bulmi.1979.7299>.
- Roedder, E. (1984). Fluid inclusions. Reviews in mineralogy: Washington. *Mineral Society of America*, 12, 644 p.
- Saka K. (1979). Edremit körfezi ve civarı Neojen'inin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu*, 1342, 1-17.
- Shephard, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M. (1985). A practical guide to fluid inclusion studies. *Blackie*, Glasgow, p.239.
- Shu, L.S., Zhou, X.M., Deng, P., Wang, B., Jiang, S.Y., Yu, J.H. and Zhao, X.X. (2009). Mesozoic tectonic evolution of the Southeast China Block: new insights from basin analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 376–391. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.06.004>.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A.İ. (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer jeolojisi ve

- hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 1, 183-200.
- Şaşmaz, A. (2008). Determination of uranium occurrences from soil, water and plant samples and possible environmental effects around Köprübaşı (Manisa) uranium bed. *Scientific and Technical Research Council of Turkey*, Project no 107Y226, 82 p (in Turkish, unpublished).
- Şengün, F., Yiğitbaş, E. and Tunç, İ.O. (2011). Geology and tectonic emplacement of eclogite and blueschists, Biga peninsula, northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 20, 273-285. <https://doi.org/10.3906/yer-0912-75>.
- TÜSİAD. (1998). *Evaluation of Turkey's energy strategy while entering the 21st century*. Paper No. Tüsiad T/98-12/239, 316 p (in Turkish, unpublished).
- Uçmak, F. (1969). Final report of thorium ores in Eskişehir–Sivrihisar–Beylikahır. *General Directorate of Mineral Research and Exploration Report*, no 343 (in Turkish, unpublished).
- Van den Kerkhof, A. M. and Hein, U.F. (2001). Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1-4), 27-47.
- Wang, D. and Shu, L., (2012). Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeastern China. *Geoscience Frontiers*, 3–2, 109–124. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.007>.
- Wilkinson, J. J. (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1-4), 229-272. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5).
- Yılmaz-Şahin, S., Güngör, Y. and Göker, A.F., (2004). Macroscopical and microscopical evidences magma mixing/mingling type interaction of in Kestenbol granitoid (South Çanakkale), Northwest Anatolia Turkey, 4. *International Scientific Conference, Modern Managment of Mine Producing, Geology and Environmental protection, SGEM 2004*, Bulgaria, Proceeding, 3-14.
- Yılmaz-Şahin, S., Örgün, Y. ve Güngör, Y. (2006). U/TH'ca zengin radyoaktif granitoidlerin jeokimyası: Kestanbol ve Kaymaz plütonları, batı Anadolu, Türkiye. 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, 43-45, Ankara.
- Yörükoğlu, K. (2014). Uranium and uranium potential of Turkey as a raw material. *Architect and Engineer Journal*, 75, 40–42 (in Turkish).
- Zhang, Y.G. and Frantz, J.D. (1987). Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions, *Chemical Geology*, 64, 335-350. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90012-X).
- Zhang, Z. H. and Zhang, B. T., (1991). Studies of U-bearing granites and associated uranium ore deposits in south China (in Chinese with English abstract), *Beijing: Atomic Energy Publishing House*, 70-105.

Evaluation of cytotoxic effect of ferrous gluconate on *Allium cepa* root tip

Ferro glukonatin sitotoksik etkisinin Allium cepa kök ucunda değerlendirilmesi

Nergis KAYA *^{1,a}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart University, Biga Vocational School, Food Processing Department, Food Technology Program, Biga, 17200, Çanakkale, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 20.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 21.04.2021

Abstract

It was used *Allium cepa* L and ferrous gluconate (E579). *A. cepa* roots were treated with ferrous gluconate of different concentrations. *A. cepa* root lengths were measured. So, the EC50 value was determined as 0.068 g/l. Then, *A. cepa* L. roots were treated with EC50 / 2 (0.034 g/l), EC50 (0.068 g/l), 2XEC50 (0.136 g/l) for 24, 48, 72 hours. The root tips were cut and prepared for observation in the light microscope. For each group, at least 5000 cell counts were made. Mitotic index was used in the determination of cytotoxicity. TUKEY multiple comparison test and Repeated measurement ANOVA was used. It was determined that the difference between ferrous gluconate concentrations varied as far as the treatment duration. In the way of mitotic index, it was stated that mean of control doses at all treatment duration were significantly higher than the EC50/2, EC50, EC50X2 doses and decreased with the increasing dose. After 24, 48 and 72 hours treatment of EC50X2 dose, it was found that mitotic index decreased due to increasing in application duration. It was detected that ferrous gluconate reduced mitotic division at the root of *A. cepa* in comparison to the control group. In this way, it was established that ferrous gluconate can be cytotoxic. In addition to this, it was determined that the cytotoxic effect of ferrous gluconate increased and mitotic index decreased due to increasing of treatment duration and dose. Results of this research are parallel with the literature that food additives might cause cytotoxicity.

Keywords: Allium cepa test, Cytotoxicity, Ferrous gluconate

Öz

Araştırmada, *Allium cepa* L ve ferro glukonat (E579) kullanılmıştır. *A. cepa* kökleri, farklı konsantrasyonlarda ferro glukonat ile muamele edilmiştir. *A. cepa* kök uzunlukları ölçülmüştür. Böylece EC₅₀ değeri 0,068 g / l olarak belirlenmiştir. Daha sonra *A. cepa* kökleri 24, 48, 72 saat EC₅₀ / 2 (0.034 g / l), EC₅₀ (0.068 g / l), 2XEC₅₀ (0.136 g / l) ile muamele edilmiştir. Bu sürelerin sonunda kök uçları kesilerek ışık mikroskopunda gözlem için hazırlanmıştır. Her muamele periyodu ve konsantrasyon için en az 5000 hücre sayılmıştır. Sitotoksitenin belirlenmesinde mitotik indeks kullanılmıştır. Mitotik indeks (MI) = bölünen hücre sayısı / toplam hücre sayısı X 100 formülü ile hesaplanmıştır. TUKEY çoklu karşılaştırma testi ve tekrarlanan ölçümlü ANOVA kullanılmıştır. Ferro glukonat konsantrasyonları arasındaki farkın muamele süresine göre değiştiği belirlenmiştir. Mitotik indeks açısından, tüm uygulama periyodu sonunda kontrol dozlarının ortalamasının EC₅₀/2, EC₅₀, EC₅₀X2 dozlarına göre yüksek olduğu bulunmuştur ve artan dozla azaldığı ortaya konmuştur. EC₅₀X2 konsantrasyonunun 24, 48 ve 72 saat süresince muamelesinin ardından, muamele süresi uzadıkça mitotik indeksin azalmış olduğu saptanmıştır. Kontrol grubuna göre ferro glukonatin kök uçlarında hücre bölünmesini azalttığı bulunmuştur. Böylece, ferro glukonatin *A. cepa* kök uçlarında sitotoksik olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, muamele süresi ve dozunun artması nedeniyle ferro glukonatin sitotoksik etkisinin arttığı ve bunun nedeninin de mitotik indeksin azaldığından dolayı olduğu saptanmıştır. Araştırma sonuçları, literatürdeki gıda katkı maddelerinin sitotoksik etkisinin olabileceğinin saptanması sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Allium cepa test, Sitotoksite, Ferro glukonat

*a Nergis KAYA; nergiskaya@comu.edu.tr, Tel: (0286) 316 28 78, orcid.org/0000-0002-4206-1149

1. Introduction

It is necessary to find new food resources against the increasing world population every year and to protect them for a long time without deterioration (Rencüzoğulları et al., 2001; Kayraldız and Topaktaş, 2007). Food additives are the most striking group of chemical substances used for various purposes. These substances are generally defined as "substances used to affect the properties of foods in the desired way" (Altuğ et al., 2000). Although natural additives are used, with the development of technology in recent years, artificial additives that accelerate the production and reduce the costs have been used (Gürsoy, 2001). When food additives are used indiscriminately and out of regulation, they may cause allergic and toxic reactions among consumers (Arslan, 2004). Even if the food additives used are used in amounts that do not harm health, it is an important issue to consider that these substances may accumulate in the body over time and cause tissue damage, thus directly or indirectly threatening human health. Because of this risk, the toxic effects of various substances, including food additives, are investigated by in vivo tests.

The resulting surface color of black olives is not permanent, it gradually disappears after oxidation and throughout the life of the packaged product. Iron salts (ferrous gluconate, ferrous sulphate, ferrous lactate) are used to prevent this degradation (Cruess, 1962). Of these, ferrous gluconate is a food additive that dissolves well in water (Hurrell, 1997). Ferrous gluconate (E579) consists of food additive, iron and glucose. This food additive is used to preserve the black color after the thickening step in mature black olives to prevent discoloration during storage (Garcia et al., 1986; Anonymous, 1995). Plant test systems are widely used in the assessment of possible toxicity caused by environmental pollutants and different chemical substances. Additionally, due to the meristematic nature of plant roots, it is suitable for determining cytotoxicity (Fiskesjö, 1985; Ma et al., 1996). Tests made with plants have high sensitivity (Grant, 1978). The test is important because it is an *in vivo* model whose cytotoxicity grows in direct interaction with the substance under investigation and can assess damage to eukaryotes DNA. Therefore, data can be accurately evaluated for all animal and plant biodiversity. The sample must remain in a constant phase of mitotic division by trying to identify toxic effects and changes on a cell cycle, and the test is widely used for this purpose (Tedesco and Laughinghouse, 2012). Cytogenetic factors such as mitotic index and chromosome

abnormalities in root tip cells of onion (*Allium cepa* L.) are the parameters used to determine the toxic effect (Özkara et al., 2015). Since *A. cepa* has a low number of chromosomes ($2n = 16$) and is large in terms of structure, it is easy to examine under the microscope. Onions are inexpensive and easy to obtain as they can be grown any time of the year (Akı and Çördük, 2011). The meristematic cells of the roots of *A. cepa* have kinetic properties of proliferation and a low number of chromosomes, resulting in its reliability and compatibility with other toxicological tests using higher eukaryotic test systems (Tabrez et al., 2011). For these reasons, *A. cepa* was chosen as the test material in this research. In parallel with this research, there are also studies about the cytotoxic effect of food additives in *A. cepa* root tips using by the *Allium cepa* test are available in the literature (Lerda, 2017; Oliveira et al., 2017; Moura et al., 2016; Marques et al., 2015a). It has been stated that the analyzes made with plants are very sensitive to evaluate the cytotoxic effect of food additives (Iganci et al., 2006). There are a lot of higher plants. For example, *Vicia faba*, *Tradescantia*, *Hordeum vulgare*, and *A. cepa* that can be used to analyze for cytogenetic effects of chemicals (Misik et al., 2006; Sang and Li, 2004). Among these, the *Allium* test is the best test system to assess toxicity (Fiskesjö, 1997; Liman et al., 2010; Türkoğlu, 2008). *Allium* test is used as an alternative model to mammalian test systems for cytogenotoxicity studies. It is stated that the results of studies with *Allium* test and food additives are valid when compared with the results of previous studies on mammalian tests. It was stated that *A. cepa* has been used to evaluate DNA damage in the mitotic cycle (Türkoğlu, 2013).

Mitotic index (MI) is accepted as a criterion for determining cytotoxicity for all living organisms (Amer and Aly, 1992). The cytotoxic level can be determined by changes in the mitotic index ratio (Linnainmaa et al., 1978; Smaka-Kincl et al., 1996). Cytotoxic substances show their effects on mitosis by inhibiting microtubule formation (Amer and Ali, 1974).

In the study, it was aimed to determine the cytotoxicity caused by the root tip cells of the *A. cepa* L. ($2n = 16$) species of ferrous gluconate food additive in the cycle of mitosis. For this purpose, ferrous gluconate was applied to the root tips of *A. cepa* at different concentrations and different durations. In determining cytotoxicity, the mitotic index was calculated by determining the number of cells in mitosis and the total number of cells. In the literature searches, no cytotoxicity study that can

be caused by ferrous gluconate was found in any plant, animal and human tests. The research completed with this aspect is considered to be original.

2. Material and method

2.1. Material

Allium cepa L. was used. Ferrous gluconate (E579), purchased from Cesa Chemical Ind. Trade Ltd. Co., used.

2.2. Method

2.2.1. Treatment with EC₅₀ values

EC₅₀ value (0.068 g / l) was determined by treating *A. cepa* L. root tips with different concentrations of ferrous gluconate (Fiskesjö, 1993). *A. cepa* root tips were treated with concentrations of EC₅₀ / 2 (0.034 g / l), EC₅₀ (0.068 g / l), 2XEC₅₀ (0.136 g / l) for 24 h, 48 h, 72 h.

2.2.2. Preparation of slides

The root tips were cut and treated as expressed by Souguir et al., 2008. Root tips were hydrolyzed with HCl at 60 ° C for 10 minutes. The samples were prepared and stained in %2 acetocarmine (w / v). It was counted 1000 cells for each group. For each group, at least 5 slides (at least 5000 cells) were prepared. Root tips were estimated by detecting mitotic cells with a light microscope with a 1000X objective.

2.2.3. Assessing of cytotoxicity

Cytotoxicity was assessed by determining the mitotic index (MI). Calculated with the formula $MI = \text{Number of cells divided} / \text{Total number of cells} \times 100$. The mitotic index is generally considered to be the number of mitoses per 100 cells. In this study, at least 1000 cells were counted for application group in the examinations under light microscope. Mitotic index (MI) was calculated by determining the cells undergoing mitosis within 1000 cells and their stages of division.

2.2.4. Statistical analysis

The effect of time and dose on cytotoxicity properties, TUKEY and repeated measure ANOVA was used

3. Results and discussion

In terms of mitotic index, the mean of control doses at the end of 24, 48 and 72 hours of treatment was significantly higher than the EC₅₀ / 2, EC₅₀, EC₅₀X2 doses. When ferrous gluconate was applied for 24 hours, it was determined that the mitotic index was the highest in the control group and decreased with increasing dose. When administered for 48 and 72 hours, it was found that the mitotic index was the highest in the control group, but no statistically important difference was found between the other doses. In terms of mitotic index, averages were found to be the lowest at EC₅₀, EC₅₀X2 doses. It was determined that the EC₅₀ / 2 and EC₅₀ doses were treated for 24 hours and the mitotic index was statistically higher than the 48 and 72 hours treatment. As a result of the application of EC₅₀ / 2 and EC₅₀ doses for 48 and 72 hours, it was found that there was no statistically significant change in the mitotic index due to the increasing in application time. As a result of the treatment of EC₅₀X2 dose for 24, 48 and 72 h, it was detected that the mitotic index decreased statistically due to the increase in application time. In this way, it has been determined that ferrous gluconate has a cytotoxic effect. It was determined that the cytotoxic effect increased depending on the treatment time and concentration increase, and the mitotic index decreased depending on the application period and concentration increase. Compared to the control group, ferrous gluconate was found to reduce mitosis in *A. cepa* root tips (Table 1).

Mitotic phases (prophase, metaphase, anaphase, telophase) were administered after the application of ferrous gluconate at EC₅₀ / 2, EC₅₀ and EC₅₀X2 doses to the root tips of *A. cepa* for 24, 48 and 72 hours. In addition, a statistical study was conducted by giving % mitotix index averages and standard errors (Table 1).

It has been revealed that orange G and brilliant blue (Kumar and Singh, 2017), sweeteners passion fruit and vanilla (Nunes et al., 2017) have a cytotoxic effect. Lerda (2017) found that tartrazine was decreased the mitotic index depending on the increasing concentration and the increasing treatment time in root tip cells. Parallel with this study and this research results, Oliveira et al. (2017) indicated that sodium saccharin and sodium cyclamate sweeteners in root tip cells was decreased mitotic index depending on treatment time.

Table 1. Mitotic phases and mitotix index

Treatment time (h)	Concentration (g/l)	Mitotic phases (%)				%Mitotic index (mean ± std. error)
		Prophase	Metaphase	Anaphase	Telophase	
24	Control	45.86	21.19	17.35	14.12	16.57± 1.03Aa
	EC ₅₀ /2	49.59	23.40	12.20	10.02	12.138±0.83Ba
	EC ₅₀	53.30	22.23	12.45	10.81	9.097±0.139Ca
	EC ₅₀ X2	52.58	26.22	16.28	8.11	8.107±0.346Da
48	Control	39.90	22.20	19.72	17.23	17.051±0.602Aa
	EC ₅₀ /2	47.33	29.14	12.81	10.40	6.474±0.377Bb
	EC ₅₀	44.90	29.92	14.85	14.51	5.916±0.28Bb
	EC ₅₀ X2	43.14	28.07	16.61	11.86	5.527±0.132Bb
72	Control	46.83	19.64	17.54	16.43	15.876±0.472Aa
	EC ₅₀ /2	44.30	30.11	15.22	11.57	4.9042±0.0676Bb
	EC ₅₀	49.96	28.65	13.53	13.18	4.469±0.613Bb
	EC ₅₀ X2	26.88	27.64	29.87	15.69	3.325±0.312Bc

Note 1. Difference between concentrations in different capitals for the same application period is important

Note 2. Difference between application period at the same dose, shown in different lowercase letters, is important

Sales et al. (2016) found that the doses of two artificial synthetic food sweeteners and the combined doses were cytotoxic in *A. cepa* root tips. It was determined that the tutti-frutti aroma had no cytotoxic effect. Contrary to this, it was determined that ferrous gluconate has a cytotoxic effect in this reserch. Moura et al. (2016) determined that when two synthetic food additives were applied for 24 and 48 hours, it reduced cell division rates. For this reason, it has been assessed that both food additives are cytotoxic. It has been indicated that sunset yellow, brilliant blue (Kuş and Eroğlu, 2015) and Ponceau 4R (Marques et al., 2015b) have a cytotoxic effect. Marques et al. (2015a) treated root tips with food sweeteners fors 24 and 48 hours and stated that these sweeteners have cytotoxic effects. It was indicated that sunset yellow (Dwivedi and Kumar, 2015); benzoate and boric acid (Kumar and Pandey, 2015) has cytotoxic effect. When root tips were treated with food preservatives such as butylated hydroxytoluene, butylated hydroxyanisole, sorbic acid, propyl gallate and sodium nitrate (Pandey et al., 2014), it was determined that the mitotic index decreased with increasing concentration. It has been demonstrated that tartrazine and sunset yellow (Dwivedi and Kumar, 2017); monosodium glutamate (Adeyemo and Farinmade, 2013); sunset yellow, tartrazine (Gomes and Oliveira, 2013); monosodium glutamate, monopotassium glutamate, calcium glutamate, monoammonium glutamate, magnesium diglutamate (Türkoğlu, 2013); potassium metabisulfite and potassium nitrate (Gömürgen, 2005) have an inhibitory effect on root tip cell division and cause a decrease in mitotic index values. In this way, it has been indicated that

these food additives have cytotoxic effects. Thus, these have an inhibitory impact on mitotic division. In parallel with these studies, it was evaluated that increasing concentrations of ferrous gluconate and increasing treatment time decreased the mitotic index.

Cytotoxicity is largely due to chromosome changes resulting from modifications of bases in DNA or other disorders in DNA. A reduction in the mitotic index reflects an inhibition of the cell cycle and a loss of cell proliferation capacity. In addition to this, *Allium cepa* test provide important information about the mechanism of action of some chemicals in cells (Rojas et al., 1993; Anderson et al., 1988).

4. Conclusion

In the result of research, it was determined that ferrous gluconate caused cytotoxicity in *A. cepa* when exposed to more than specific concentrations and durations. This effect is shown by inhibiting mitosis. So, it was assessed that ferrous gluconate was decreased the mitotic index. The results of the cytotoxic effect of ferrous gluconate determined in *A. cepa* can be a prestudy for animal and human researches that can be done with ferrous gluconate.

Acknowledgement

This research project which numbered as FBA-2018-1443 was supported by Canakkale Onsekiz Mart University Commission of Scientific Research Projects.

References

- Adeyemo, O.A. and Farinmade, A. E. (2013). Genotoxic and cytotoxic effects of food flavor enhancer, monosodium glutamate (MSG) using *Allium cepa* assay. *African Journal of Biotechnology*, 12(13), 1459-1466. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2927>
- Akı, C. and Çördük N. (2011). *Genetik laboratuvar kılavuzu*, Kriter Yayınları, İstanbul.
- Altuğ, T., Boyacıoğlu, D., Kurtcan, Ü. and Demirağ, K. (2000) *Gıda katkı maddeleri analiz yöntemleri*, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.
- Amer, S.M. and Ali, E. M. (1974). Cytological effects of pesticides V. Effects of some herbicides on *Vicia faba*. *Cytologia*, 39, 633-643.
- Amer S.M. and Aly, F.A. (1992). Cytogenetic Effects of Pesticides. IV. Cytogenetic effects of the insecticides gardona and dursban. *Mutation Research*, 279(3), 165-170. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(92\)90063-6](https://doi.org/10.1016/0165-1218(92)90063-6)
- Anderson, D., Jenkinson, P.C., Dewdney, R.S., Franis, A.J., Godbert, P. and Butterworth, K.R. (1988). Chromosome aberrations, mitogen-induced blastogenesis and proliferative rate index in peripheral lymphocytes from 106 control individuals of U.K. population. *Mutation Research/Genetic Toxicology* 204(3), 407-20. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(88\)90150-4](https://doi.org/10.1016/0165-1218(88)90150-4)
- Anonymous. (1995). Code of Federal Regulations. Office of the federal register national archives and records administration, Washington, DC.
- Arslan, M. and Rencüzoğulları, E. (2004). *Borik asit'in insan periferik lenfositlerinde in vitro kromozom aberasyonu ve kardeş kromatid değişimi üzerindeki etkileri*. Science Institute, Cukurova University, Adana, 2004.
- Cruess, W. V. (1962). Experiments on color fixation with iron salts, in 41 Annual Technical Report of California Olive Association, Sacramento, CA.
- Dwivedi, H. and Kumar, G. (2017). Genomic distortion induced by food dyes on meristematic cells of *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague (Ajwain). *Chromosome Botany*, 12(3), 46-51. <https://doi.org/10.3199/iscb.12.46>
- Dwivedi, K. and Kumar, G. (2015). Genetic damage induced by a food coloring dye (sunset yellow) on meristematic cells of *Brassica campestris* L. *Journal of Environmental and Public Health*, 2015, 1-5. <https://doi.org/10.1155/2015/319727>
- Fiskesjö, G. (1993). The *Allium cepa* test in wastewater monitoring. *Environmental Toxicology & Water Quality*, 8(3), 291-298. <https://doi.org/10.1002/tox.2530080306>
- Fiskesjö, G. (1985). The *Allium*-test as a standard in environmental monitoring, *Hereditas*, 102, 99-112. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>
- Fiskesjö, G. (1997) *Allium test for screening chemicals; evaluation of cytological parameters*. Ln: Wang W, Gorsuch JW and Hughes JS (Eds) *Plants for Environmental Studies*. New York, NY: Lewis Publishers, pp. 308-333. <https://doi.org/10.1201/9781420048711.ch11>
- Garcia, P., Brenes, M. and Garrido, A. (1986). Use of ferrous lactate in the elaboration of ripe olives. *Grasas Aceites*, 37, 33-38.
- Gomes, K. M. S. and Oliveira, M. V. G. A. (2013). Citotoxicity of food dyes sunset yellow (E-110), bordeaux red (E-123), and tatraşine yellow (E-102) on *Allium cepa* L. root meristematic cells. *Food Science and Technology, Campinas*, 33(1), 218-223. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000012>
- Gömürgen, A. N. (2005). Cytological effect of the potassium metabisulphite and potassium nitrate food preservative on root tips of *Allium cepa* L. *Cytologia*, 70 (2), 119-128. <https://doi.org/10.1508/cytologia.70.119>
- Grant, W. F. (1978). Chromosome aberrations in plants as a monitoring system. *Environmental Health Perspectives*, 27, 37-43. <https://doi.org/10.1289/ehp.782737>
- Gürsoy, S. ve Aktaç, T. (2001). *Besinlerde katkı maddelerinin kullanımı ve sitrik asit toksisitesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Hurrell, R. F (1997). Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutrition Reviews*, 55(6), 210-222. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01608.x>
- Iganci, J.R.V, Bobrowski, V.L., Heiden, G., Stein, V.C. and Rocha, B.H.G. (2006). Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. *Arquivos do Instituto Biológico* 73, 79-82.
- Kayraldız, A. and Topaktaş, M. (2007). The *in vivo* genotoxic effects of sodium metabisulfite in bone marrow cells of rats. *Russian journal of genetics*, 43(8), 905-909. <https://doi.org/10.1134/s1022795407080121>
- Kumar G. and Pandey A. (2015). Genotoxic and mitodepressive effects of food preservatives on root

- meristems of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Chromosome Botany*, 10: 51-60. <https://doi.org/10.3199/iscb.10.51>
- Kumar, G. and Singh, S. (2017). Genotoxic effects of food dyes on mitotic chromosomal entity in root meristems of Cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *International Journal of ChemTech Research*, 10(13), 81-89.
- Kuş, E. and Eroğlu, H. E (2015). Genotoxic and cytotoxic effects of sunset yellow and brilliant blue, colorant food additives, on human blood lymphocytes. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* 28(1), 227-30.
- Lerda, D. (2017). The effects of tartrazine in *Allium cepa* L. *Journal of Food Nutrition*, 3(101), 1-5. <https://doi.org/10.17303/jfn.2017.3.101>
- Linnainmaa, K., Meretoja, T., Sorsa, M. and Vainio, H. (1978). Cytogenetic effects of styrene and styrene oxide. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 58, 277-286. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(78\)90020-4](https://doi.org/10.1016/0165-1218(78)90020-4)
- Liman, R., Akyıl, D., Eren, Y. and Konuk, M. (2010) Testing of mutagenicity and genotoxicity of metolcarb by using both Ames/Salmonella and Allium test. *Chemosphere*, 80:1056-1061. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.011>
- Ma, T. H., Xu, C., Liao, S., McConnell H., Jeong, B. S. and Won C. D. (1996). *In Situ* monitoring with the tradescantia bioassays on the genotoxicity of gaseous Emissions from a closed landfill site and an incinerator. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 359, 39-52. [https://doi.org/10.1016/s0165-1161\(96\)90008-4](https://doi.org/10.1016/s0165-1161(96)90008-4)
- Marques, G. S. and Silva S. O., (2015b). Cytotoxic and genotoxic potential of liquid synthetic food flavorings evaluated alone and in combination. *Food Science Technology, Campinas*, 35(1), 183-188. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6596>
- Marques, G. S., Sousa, J. J. A. and Peron, A. P. (2015a). Action of ponceau 4R (E-124) food dye on root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Acta Scientiarum. Biological Science*, 37(1), 101-106. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v37i1.23119>
- Misik, M., Solenska, K., Micieta, K., Misikova, K. and Knasmüller S. (2006). *In situ* monitoring of mutagenic effects of contamj-nated air in Bratislava (Slovakia) with Tradescantia micronucleus (Trad-MCN) and abortive microspore assays. *Mutation Research*, 605: 1-6.
- Moura, A. G., Santana, G. M., Ferreirab, P. M. P, Sousaa, J. M. C and Peron, A. P. (2016). Cytotoxicity of cheese and cheddar cheese food flavorings on *Allium cepa* L root meristems. *Brazilian Journal of Biology*, 76(2), 439-443. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.20514>
- Nunes, R. D. M., Sales, I. M. S., Silva, S. I. O., Sousa, J. M. C. and Peron, A. P. (2017). Antiproliferative and genotoxic effects of nature identical and artificial synthetic food additives of aroma and flavor. *Brazilian Journal of Biology*, 77(1), 150-154. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.12115>
- Oliveira, V. A., Oliveira, V. M., Oliveira, T. W. N., Damasceno, A. N. C., Silva, C. E. O., Medeiros, S. R. A., Soares, B. M., Silva, F. C. C., Aguiar, R. P. S., Islam, M. T., MeloCavalcante, A. A. C., Peron, A. P. and Sousa, J. M. C. (2017). Evaluation of cytotoxic and mutagenic effects of two artificial sweeteners by using eukaryotic test systems. *African Journal of Biotechnology*, 16(11), 547-551. <https://doi.org/10.5897/ajb2016.15695>
- Özkara, A., Akyıl, D., Eren, Y., Erdogmus, S. F., Konuk, M. and Saglam, E. (2015). Assessment of cytotoxic and genotoxic potential of pyracarbolid by Allium test and micronucleus assay. *Drug and Chemical Toxicology*, 38(3), 337-341. <https://doi.org/10.3109/01480545.2014.966831>
- Pandey, H., Vikas Kumar, V. and Roy, B. K. (2014). Assessment of genotoxicity of some common food preservatives using *Allium cepa* L. as a test plant. *Toxicology Reports*, 1, 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.06.002>
- Rencuzogulları, E., Kayraldız, A., İla, H. B., Çakmak, T. and Topaktaş, M. (2001). The cytogenetic effects of sodium metabisulfite, a food preservative in root tip cells of *Allium cepa* L. *Turkish Journal of Biology*, 25, 361-370.
- Rojas, E, Herrera, L A, Sordo, M, Gonsebatt, M E, Montero, R, Rodriguez, R. and Ostrosky-Wegman, P. (1993). Mitotic index and cell proliferation kinetics for the identification of antineoplastic activity. *Anti-Cancer Drugs*. 4(6), 637-40. <https://doi.org/10.1097/00001813-199312000-00005>
- Sales, I. M. S., Oliveira, J. D., Santos, F. K. S., Feitoza, L. L., Sousa, J. M. C. and Peron, A. P. (2016). Toxicity at the cellular level of artificial synthetic flavorings. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 38(3), 297-303. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v38i3.30751>
- Sang, N. and Li, G. K. (2004). Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba*. *Mutation Research Mutation*

Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 560, 159-165.
<https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2004.02.015>

Smaka-Kincl, V., Stegnar, P., Lovka, M. and Toman, M. J. (1996). The evaluation of waste, surface and ground water quality using the Allium Test procedure. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 368, 171-179.
[https://doi.org/10.1016/s0165-1218\(96\)90059-2](https://doi.org/10.1016/s0165-1218(96)90059-2)

Souguir, D., Ferjani, E., Ledoigt, G. and Goupil, P. (2008). Exposure of *Vicia faba* and *Pisum sativum* to copper-induced genotoxicity. *Protoplasma* 233, 203-207.
<https://doi.org/10.1007/s00709-008-0004-9>

Tabrez, S., Shakil, S., Urooj, M., Damanhour, G. A., Abuzenadah, A. M. and Ahmad, M. (2011). Genotoxicity testing and biomarker studies on surface waters: an overview of the techniques and their efficacies. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 29, 250-275.
<https://doi.org/10.1080/10590501.2011.601849>

Tedesco, S. B. and Laughinghouse, H. D. (2012). Bioindicator of genotoxicity: The *Allium cepa* test. *Environmental Contamination*, 137-156.

Türkoğlu, Ş. (2013). Evaluation of genotoxic effects of five flavour enhancers (glutamates) on the root meristem cells of *Allium cepa*. *Toxicology and Industrial Health*, 31(9), 792–801.

Landslides and lateral spreading triggered by the 24 January 2020 Sivrice earthquake (East Anatolian Fault)

24 Ocak 2020 Sivrice depreminin (Doğu Anadolu Fayı) tetiklediği heyelan ve yanıl yayılmalar

Mehmet KÖKÜM^{*1,a}

¹ *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ*

• Geliş tarihi / Received: 09.02.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 25.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 02.05.2021

Abstract

On 24 January 2020, a devastating earthquake struck the town of Sivrice in Elazığ province at 20:55 local time (17:55 UTC), resulting in 41 death and significant loss of property. The magnitude of the earthquake was determined to be Mw 6.8 and strong shaking of main shock lasted about 20 seconds. The Sivrice earthquake triggered about 30 landslides over an area of ~55 km². This article presents the preliminary results of comprehensive study on mapping of the distribution of landslides, lateral spreading and other ground damaged effects triggered by the Sivrice earthquake occurred on the East Anatolian Fault. Following Sivrice earthquake, based on detailed on-ground field studies: (1) The Sivrice earthquake produced fewer landslides than empirical prediction for shallow earthquakes of these magnitudes (Mw 6.8) would suggest; (2) the Sivrice earthquake triggered extensive lateral spreading in Holocene age river banks, and result in the ground tears, opening surface cracks and fissure on flat ground; (3) primary surface rupture was not produced by Sivrice earthquake.

Keywords: Earthquake, East Anatolian Fault, Landslide, Lateral spreading

Öz

24 Ocak 2020 tarihinde yerel saat ile 20:55' te (17:55 UTC) Elazığ ili Sivrice ilçesinde büyük bir deprem meydana gelmiş ve neticesinde 41 kişi hayatını kaybederken önemli maddi kayıplara yol açmıştır. Depremin aletsel büyüklüğü Mw 6,8 olup, kaynak alanda 20 sn. sürmüştür. Sivrice depremi ~55 km² bir alanda 30 civarında heyelan tetiklemiştir. Bu makale, Doğu Anadolu Fayı'nda meydana gelen Sivrice depreminin tetiklediği heyelanların dağılımını, yanıl yayılmayı ve diğer yüzey deformasyonlarının haritalandırılmasına ilişkin kapsamlı bir arazi çalışmasının sonuçlarını sunmaktadır. Sivrice depreminin ardından gerçekleştirilen ayrıntılı saha çalışmalarına dayanarak: (1) Sivrice depremi, bu büyüklüklerdeki sığ depremler için (Mw 6.8) ampirik bağıntılarla hesaplanan tahminlere göre daha az heyelan üretti; (2) Sivrice depremi Holosen yaşlı nehir kıyılarında geniş yanıl yayılmaları tetikledi ve zemin yırtılmalarına, yüzey çatlaklarına ve büyük yarıklara neden oldu; (3) birincil yüzey kırılması (yer değiştirme) Sivrice depremi tarafından üretilmedi.

Anahtar kelimeler: Deprem, Doğu Anadolu Fayı, Heyelan, Yanıl yayılma

*a Mehmet KÖKÜM; mkokum@firat.edu.tr; Tel: (424) 237 00 00; orcid.org/0000-0001-5149-3931

1. Introduction

Many of people in Turkey live in or close to seismically active area due to its proximity to the fault lines such as East and North Anatolian Faults, Aegean grabens, etc., have experienced two deadliest earthquakes in the world in 2020. A devastating earthquake occurred at 20:55 local time (17:55 GMT) centered on 8 km beneath the Çevrimtaş town of Sivrice in Elazığ province caused 41 fatalities and 1600 injuries (AFAD). Based on several seismological observatories and institutes including AFAD, KOERI, USGS, the magnitude of earthquake estimated as Mw 6.6 or 6.8 with depth in range from 5 to 10 km. Great numbers of aftershocks were located along the trace of the 2020 rupture, tending to concentrate near the ends of the rupture. Aftershocks were strong and frequent include one on 25 January 2020 with magnitude of 5.1, four others equal M 5 or greater, twenty larger than M 4, and about 3,000 smaller than M 3 in the first year of the main event.

There are several remotely triggered events include the most remarkable one on 27 December 2020 (Mw 5.3) occurred on other structures, away from the EAF itself, such as the Uluova secondary fault zones, has not been mapped in detail in the area (Köküm and Inceöz, 2018, 2020).

The East Anatolian Fault (EAF) is a left-lateral strike-slip fault that extends between Karlıova (Bingöl) in the northeast and Iskenderun Bay in the southwest (Arpat and Şaroğlu, 1972; Jackson and McKenzie, 1984; Şengör et al., 1985; Lyberis et al., 1992; Şaroğlu et al., 1992). It forms the tectonic boundary between Anatolian and Arabian plates. A recent study by Duman and Emre (2013) divides the EAF into three main sections with several subsegments: the southern (main) branch, the northern strand (Sürgü-Misis fault) and the Karasu trough. On 24 January 2020, a devastating Mw 6.8 earthquake occurred in the Pütürge segment of the southern (main) section of the East Anatolian Fault (EAF) (Figure 1).

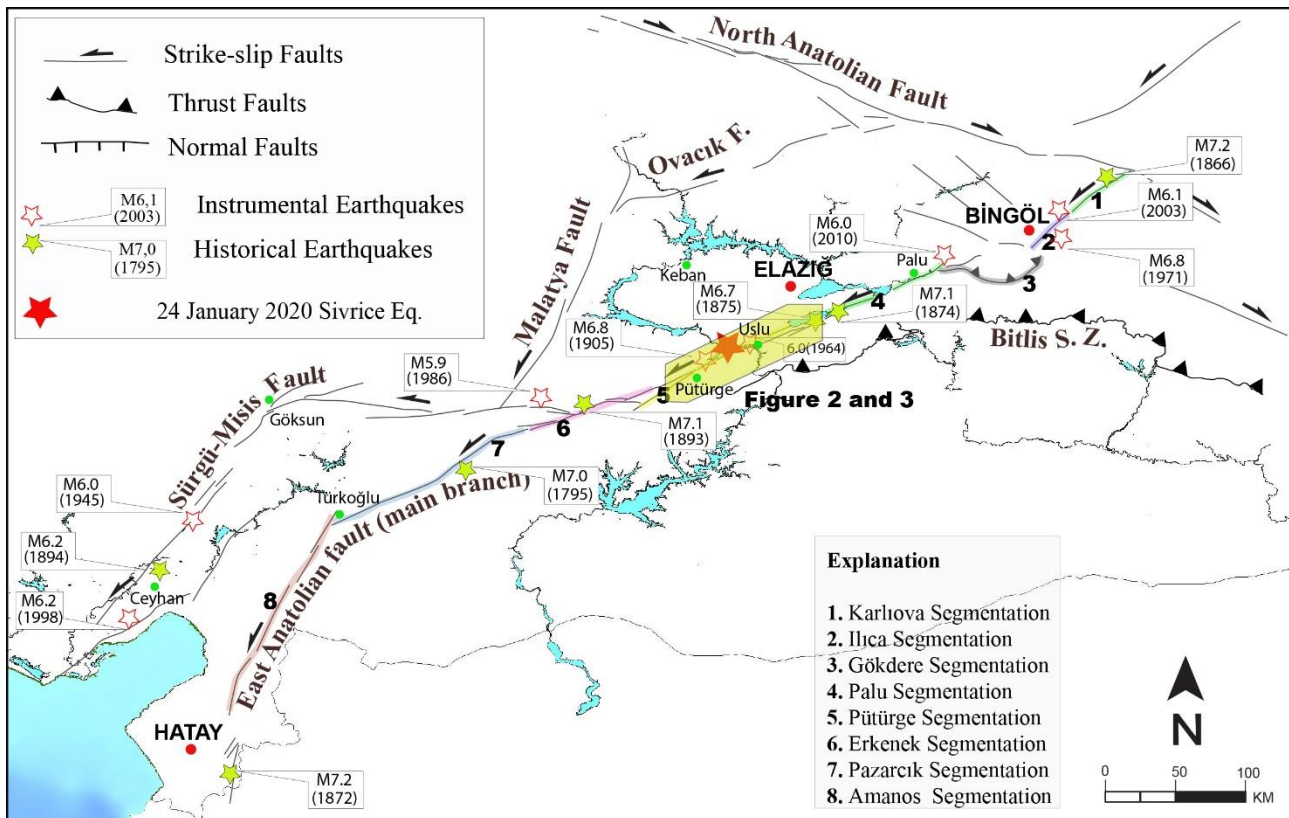


Figure 1. Tectonic map of Eastern Anatolia, and historical and instrumental seismicity along the EAF. Historical earthquakes modified from Duman and Emre (2013) (Ambraseys, 1989; Ambraseys and Finkel, 1995; Ambraseys and Jackson, 1998; Tan et al., 2008; Palutoğlu and Şaşmaz, 2017). Instrumental seismicity (KOERI, 2020).

The 96 km long Pütürge segment runs between the Lake Hazar releasing bend and Yarpuzlu restraining double bend. The Pütürge segment has several sub-sections with lengths vary from 21 to

28 km. Many large earthquakes have occurred on the EAF in historical and instrumental periods (Duman and Emre, 2013; Köküm and Özçelik, 2020) (Figure 1). There; however, are only two

large known historic earthquakes on the Pütürge segment of the EAF, the most recent in 1905 Pütürge, and before that one in 1875 Lake Hazar (Ambraseys, 1989; Ambraseys and Jackson, 1998). The 1875 (Ms 6.7) and 1905 (Ms 6.8) earthquakes might have been ruptured on northern and southern sub-segments, hence central part should have been unbroken till 24 January 2020.

After the Sivrice earthquake, some studies were made by few researchers, which are mostly based on off-ground (seismology, GNSS, InSAR etc.) studies (Xu et al. 2020; Bletery et al., 2020; Pousse Beltran et al., 2020), and less on-ground field studies (Tatar et al., 2020; Kürçer et al., 2020; Sayın et al., 2020). Based on studies consist of monitoring with GNSS and InSAR suggest that about 50 km section of the Pütürge segment was ruptured (Xu et al. 2020; Bletery et al., 2020; Pousse Beltran et al., 2020). On the basis of on-ground field studies, coseismic surface rupture does not show a significant horizontal component and is probably mostly gravitational (Tatar et al., 2020; Kürçer et al., 2020; Sayın et al., 2021). One of the most detailed field reports by Kürçer et al., (2020) suggests that surface deformation features (Riedel shear fractures, en-échelon tension cracks, etc.) were observed along approximately 50-km-long section of Pütürge segment in the area between Lake Hazar and Pütürge. The most interesting finding of that study is that the recording the trace of surface rupture on the Euphrates river. Although there are several surface deformations were observed during field studies, Kürçer et al., (2020) did not document notably permanent ground displacements. On the basis of Tatar et al., (2020), surface deformations were observed in the area between Gezin (Elazığ) and Ormaniçi (Pütürge) villages; they are classified into two as seismotectonic and seismo-gravitational features. Interferometric SAR (DInSAR) studies indicate that at least 30-km-long section of the Pütürge segment in the area between southwest of Sivrice and Pütürge is broken during the main shock. Tatar et al., (2020) discussed lack of surface rupturing earthquake, and they stated that it could be related a few reasons such as fault-bend geometry, existing of Pütürge metamorphic rocks in the region and the earthquake didn't reach the surface.

I conducted on-ground field survey immediately after Sivrice earthquake to document the general distribution and extend of landslides, lateral spreading, and to seek evidence of primary surface fault rupture (surface displacement) generated by

this earthquake. Preliminary results from these field surveys are presented in this paper.

2. Geological setting

Turkey is located in one of the most seismically active area with the collision of the Arabian, African, Eurasian and Anatolian plates (McKenzie, 1972). Inconsequence of these collision, primary deformation structures have developed in Turkey, such as the North and East Anatolian faults, Aegean grabens, Bitlis Zagros Suture Zone (BSZS). The EAF, Turkey's second active fault, is a continental transform fault that forms part of the tectonic boundary between the Anatolian plate and the African plate. The strike-slip fault is characterized by mainly lateral motion in a sinistral sense, where the eastern (African) plate moves northward relative to the western (Anatolian) plate.

The Bingöl earthquake on 22 May 1971 attracted attention to activity on the fault. In the studies after the earthquake accomplished by Seymen and Aydın (1972) and Arpat and Saroğlu (1972; 1975), EAF was mapped for the first time on a regional. The EAF has been studied by many researchers since the early 1960s. Altınlı (1963) mapped the fault between Karlıova and Bingöl on 1/500.000 scale maps prepared by MTA. The EAF was connected with North Anatolian Fault (NAF) in the north and Dead Sea Fault (DSF) in the south by Allen (1969).

Several authors have proposed segmentation of the EAF into subsegments based on its geometry and seismic behaviour: five were proposed by Hempton and Dewey (1981) six by Şaroğlu et al., (1992), fourteen by Barka and Kadinsky-Cade (1988) and eleven by Herece (2008). EAF extends between Karlıova (Bingöl) in the northeast and Iskenderun Bay in the southwest, a distance of about 580 km. A recent study (Duman and Emre, 2013) divides the EAF into three main sections with several subsegments: the southern (main) branch, the northern strand (Sürgü-Misis fault) and the Karasu trough. On 24 January 2020, a devastating Mw 6.8 earthquake occurred in the Pütürge segment of the southern (main) section of the EAF (Figure 1 and 2).

Geological and morphological features in different parts of the EAF reveal left-lateral offsets which cluster around 9 to 30 km (Arpat and Şaroğlu, 1975; Hempton 1985; Herece and Akay 1992; Saroglu et al., 1992; Westaway and Arger 2001; Westaway 2003; Herece 2008). The Pütürge segment is home to around 22 km lateral offset on

middle Eocene volcanic rocks, and 13 km lateral offset on the Euphrates river valley (Hempton,

1985) suggest high tectonic activity on this fault segment (Figure 2).

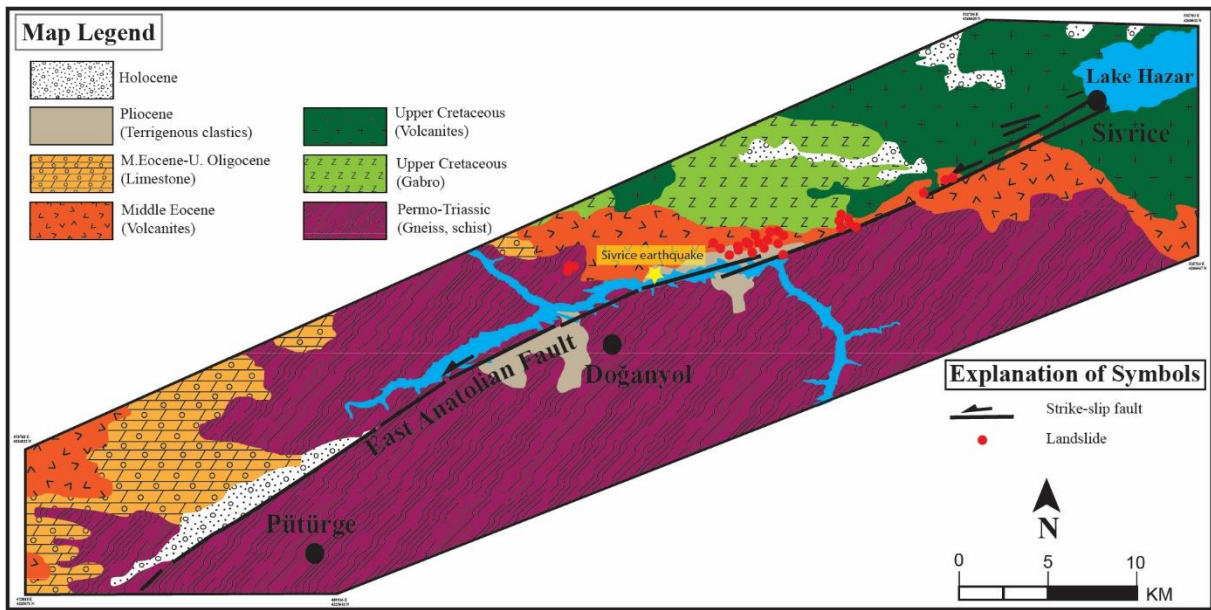


Figure 2. Geological and tectonic map for the study area (simplified from Akbaş et al. 2011 and Emre et al. 2013; Köküm and Inceöz 2018, 2020) shows distribution of landslides in geological unit and epicentre of Sivrice earthquake.

3. Results and discussion

3.1. Landslides

A landslide is defined as the movement of a mass of rock, debris, or earth down a slope (USGS, 2021). Landslides can be triggered by earthquakes, precipitation, erosion, human effect, or any combination of these factors, here I concentrate earthquake-triggered landslides. Figure 3 shows the overall distribution of landslides and other

ground damage effects such as lateral spreading, cracks, and liquefaction induced by the Sivrice earthquake. Total of 30 landslides were mapped by on-ground field studies. A peak horizontal acceleration (PGA), which are calculated by AFAD, for the Sivrice and Pütürge county is 0,30g at 24 km distant, and 0,24g at 25 km distant respectively during the Sivrice event. In addition, apart from the direct damage caused by the earthquake, many landslides were triggered in an area of ~ 55 km².

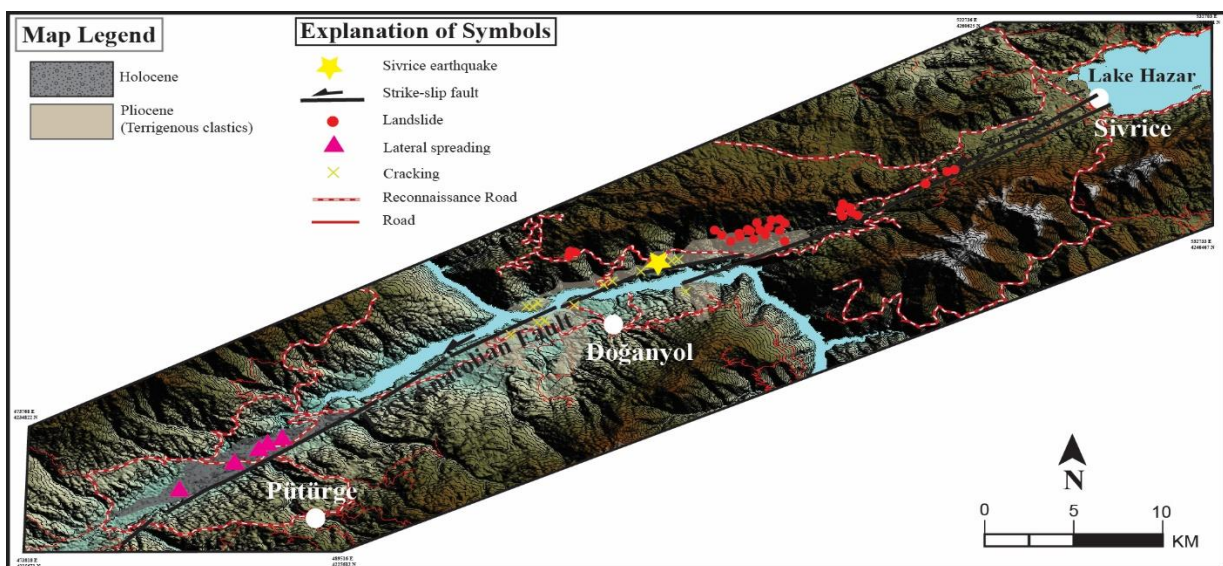


Figure 3. Main structures including the distribution of landslides, lateral spreading and other ground damaged effects triggered by the Sivrice earthquake have been highlighted.

In the study area, different types of rock units ranging in age from Paleozoic to Holocene are exposed (Akbaş et al., 2011; Köküm, 2019; Köküm and Inceöz, 2018, 2020) (Figure 2). The oldest geologic unit is Permo-Triassic gneiss and schist, which forms a basement under the Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic rocks and sediments. They are very common in the southern part of the map. The late Cretaceous units are mostly composed of gabbro and volcanic rocks. Middle Eocene unit contain basaltic, andesitic rocks intercalated and lateral-vertical transitive with sedimentary succession. The geological types of contacts of the Permo-Triassic rocks and middle Eocene rocks are tectonically controlled by the EAF, hence about 10 km left-lateral offset accumulated along the EAF in the middle Eocene rocks. Steep cliffs cut in middle Eocene volcanic rocks are the sites of many landslides during Sivrice earthquake. The middle Eocene-Oligocene unit are mostly composed of basal conglomerate

and reef limestones. The Pliocene unit is a terrigenous clastics which is observed as narrow outcrops in the study area. The Holocene unit, mostly found in the strike-slip basin, consists of poorly sorted weakly cemented conglomerates and cross-bedded coarse-grained sandstones.

Many landslides were triggered from terrace edges cut into fluvial valley fill (Figure 4). Steep topography and thin soil cover make the region susceptible to shallow debris slides and falls. In addition to the high density of landslides near the epicentral region, there were many displaced boulders on terrace surfaces that also confirm to high levels of ground shaking in this area (Figure 5a). It is also worth noting that, besides landslides failed completely, incipient landslide cracking, and cracking along ridge crests exist along the epicentral area (Figure 5b). These ground deformations were mostly observed in gentle topography.

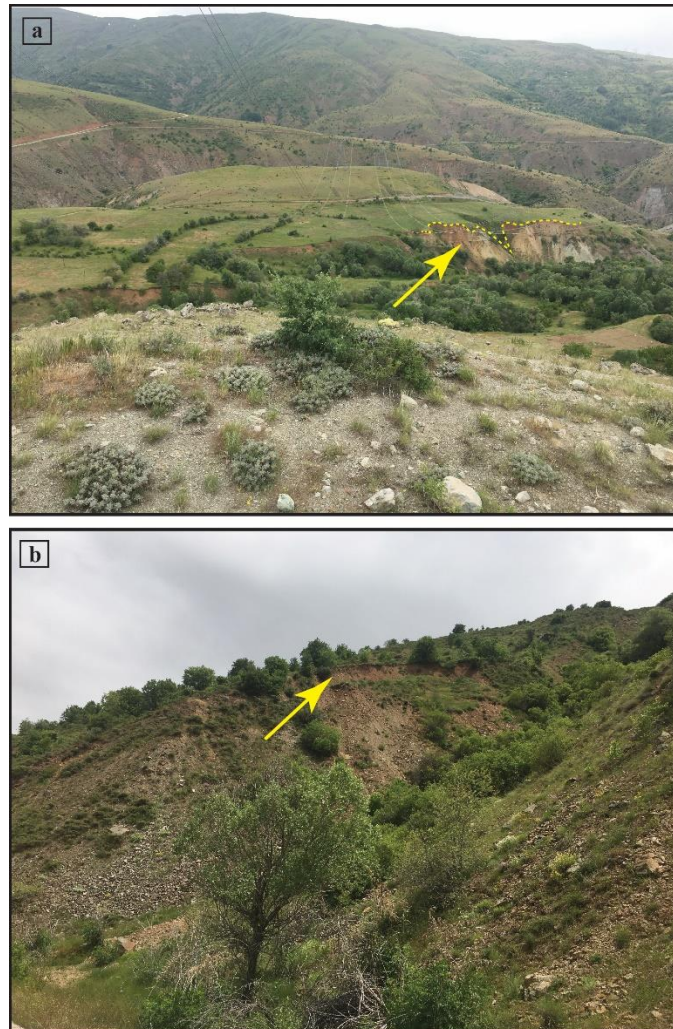


Figure 4. View of the landslides near the epicentral area induced by the Sivrice earthquake (taken 20 May, 2020). a) A large landslide was triggered from terrace edges cut into fluvial valley fill. (Location of the photo, 380 22' 50" N, 390 10' 11" E, looking to south). b) Fresh slump scarp is visible. Arrow indicates fresh slump. (Location of the photo, 380 23' 15" N, 390 10' 19" E, looking to south).

According to the landslide inventory map prepared by MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration) and field observations, there are many active and paleo landslides in the region (Duman et al., 2011). The historical earthquake catalogue summarized most recently by Soysal et al., (1981) includes several destructive earthquakes on the Pütürge segment of the EAF. Presence of a particular large and group of landslides is often assumed with evidence of large historic earthquakes. This assumption would cause overestimation of a seismic hazard or underestimation of landslide hazard ignoring other triggering phenomena like precipitation (Strom, 2013).

No doubts that the Sivrice earthquake produced fewer landslides than the empirical prediction for

shallow earthquakes of these magnitudes (Mw 6.8) (Tanyaş et al., 2017). Yet, similar size earthquakes that triggered fewer landslides may have not been documented. The main reason for having fewer landslides could be that in addition to geologic environments and geomorphological factors, there are already many existing paleo landslides that were thought to be largely triggered by past seismic origin in the region. Presence of a large and group of paleo landslides near the fault zone in the region supports the idea that these landslides are largely associated with past earthquakes. Magnitude as well as local geologic conditions, earthquake focal depth, and the specific ground motion characteristic of a particular event controls the numbers and distribution of landslides (Keefer, 1984).

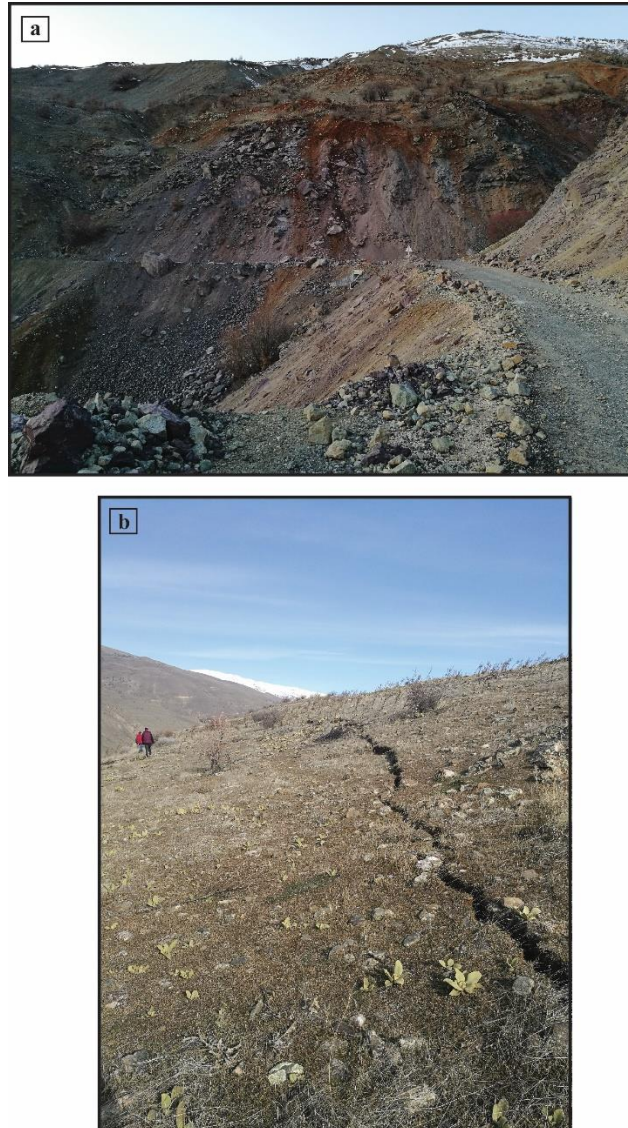


Figure 5. a) View of the displaced boulders near the epicentral area confirm to high levels of ground shaking. (taken 26 January, 2020, location of the photo, 380 21' 59" N, 390 06' 29" E, looking to north). b) Incipient landslide cracking, and cracking along ridge crests exist along the epicentral area. (taken 27 January, 2020, location of the photo, 380 19' 40" N, 390 00' 35" E, looking to northeast).

3.2. Lateral spreading

Lateral spreading or flowing are terms referring to landslides that commonly form on gentle slopes and that have rapid fluid-like flow movement, like water (USGS, 2021). The Sivrice earthquake generated extensive lateral spreading in Holocene age river banks, and result in the ground tears, opening surface cracks and fissure on flat ground (> 5% ground slope). Pütürge is the most prominent area that shows extensive lateral spreading, however very few sand boils were tracked (Figure 6). In this region, lateral spreading

was mostly developed in the fields and coasts where outside of the settlement area.

Along the Şiro River, an ~2 km length of river bank experienced lateral spreading and liquefaction during the Sivrice earthquake (Figure 2). Maximum lateral ground displacements at the river banks ranged from several tens of centimeters up to 1 m. These features of lateral spreading are presented in Figure 6 where the location and width of surface cracks and fissures observed on the flat ground.

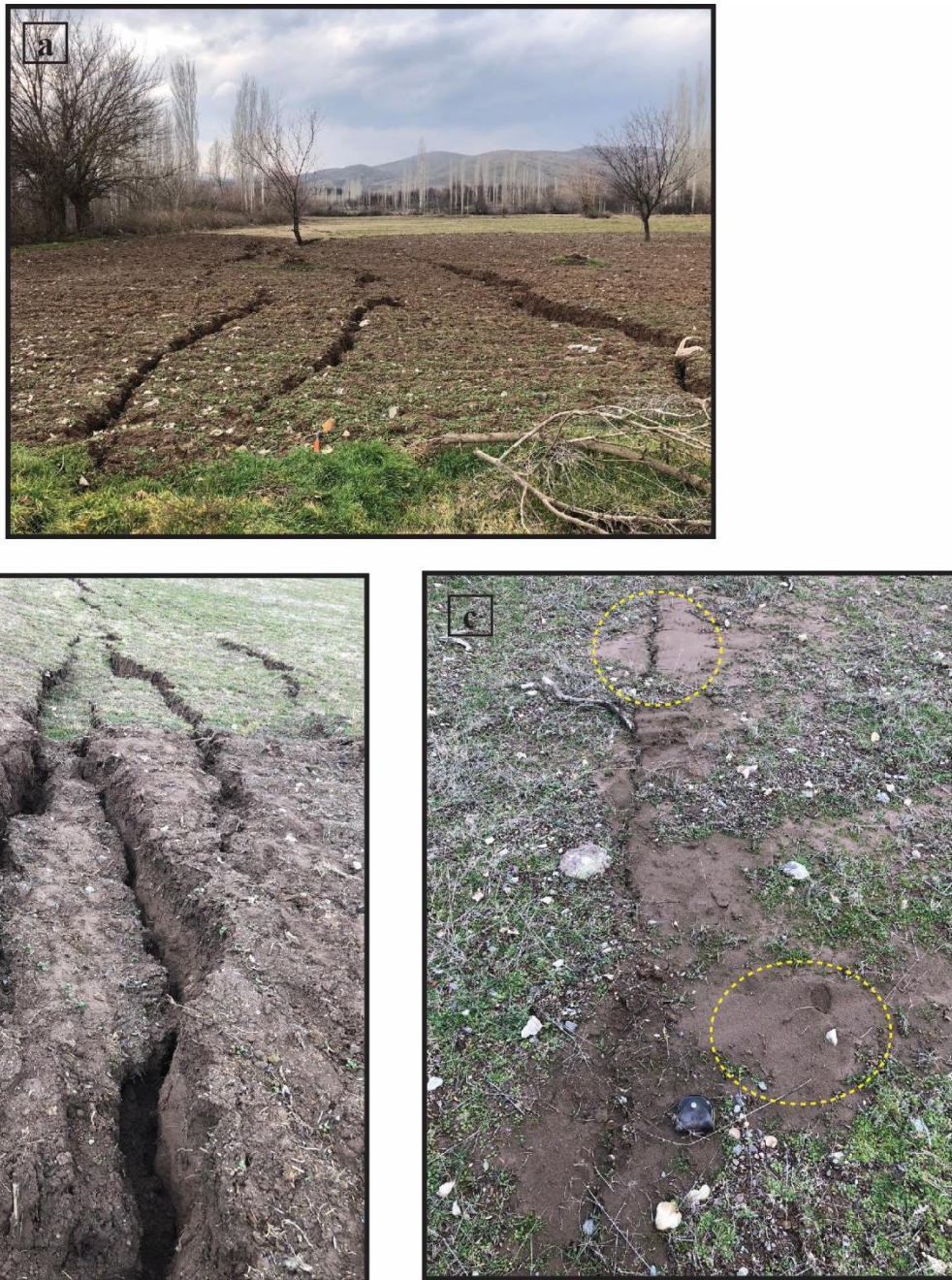


Figure 6. View of lateral spreading in Holocene age river banks near Pütürge. (taken 6 February, 2020, location of the photos, 380 11' 39" N, 380 46' 49" E, looking to southwest). a) Opening surface cracks on flat ground. b) Close view of horst and graben structures. c) Sand boils.

On-ground field visits shows that most of the cracks run parallel to the river indicating that they are associated with lateral movement of the ground towards the river. It is also evident, however, that some cracks are concentrated at ridges and higher elevation areas, both near and away from the river, providing clear evidence that topographic features also played an important role in driving and manifestation of lateral spreading.

Large-displacement lateral spreads occurred at sites composed predominantly of fine sand, but in some instances, medium sand dominated. Most alluvial material in lateral spreads were Holocene, and a few were Pliocene.

3.3. Surface rupture

Surface rupture is displacement that reaches the earth's surface during slip along a fault (USGS, 2021). A main purpose of the on-ground field survey following the Sivrice earthquake was to seek evidence of surface fault rupture (surface displacement). In this work, on-ground field excursions were performed an area between Sivrice and Pütürge area. If the fault that ruptured in the Sivrice earthquake extended to the ground surface, any structures (roads, bridges, settlement, etc.) built across the faults were cut and displaced near and around the epicentral region. After detailed examination of the nearby roads and other structures, it was concluded that the Sivrice earthquake did not produce surface rupture. There certainly was cracking and slumping nearby roads, but this was the result of failure of unsupported embankment slopes.

4. Conclusion

Each type of earthquake induced ground deformation (landslides, lateral spreading, etc) occurs in a particular suite of geological and geomorphological environments. The following conclusions were obtained as a result of this study.

(1) The Sivrice earthquake produced fewer landslides for shallow earthquakes of these magnitudes (Mw 6.8) would suggest. The main reason for having fewer landslides could be that in addition to geologic environments and geomorphological factors, there are already many existing paleo landslides that were thought to be largely triggered by past seismic origin in the region.

(2) The Sivrice earthquake triggered extensive lateral spreading in Holocene age river banks, and

result in the ground tears, opening surface cracks and fissure on flat ground. There is clear concentration of cracks and fissures along the banks of the Şiro River.

(3) There is no evidence of primary surface rupture associated with Sivrice earthquake.

References

- AFAD (2020). *Sivrice earthquake (24 January, 2020) report. Disaster and Emergency Management Authority, Presidential of Earthquake Department.* Erişim adresi <https://depem.afad.gov.tr/depemdokumanlari/1831>
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ. E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ. H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M. F., Yurtsever, A. T. (2011). *1:1.250.000 scaled Geological map of Turkey.* General Directorate of Mineral Research and Exploration Publication, Ankara-Turkey.
- Allen, C. R. (1969). Active faulting in northern Turkey. *Division of Geological Sciences, California. Institute. Technology, 32.*
- Altınlı, İ. E. (1963). *Explanatory text of the geological map of Turkey of 1:500000 scale; Erzurum sheet.* Ankara: Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute.
- Ambraseys, N. N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal 96,* 311–331.
- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. (1995). *The seismicity of Turkey earthquake of 19 December 1977 and the seismicity of the adjacent areas 1500–1800.* İstanbul: Eren Yayıncılık ve Kitapçılık.
- Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International, 133,* 390–406.
- Arpat, E. and Şaroğlu, F. (1972). The East Anatolian Fault System; thoughts on its development. *Bulletin of Mineral Research and Exploration 78,* 33-39.
- Arpat, E. and Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18(1),* 91-101.
- Barka, A.A. and Kadinsky-Cade K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and influence on earthquake activity. *Tectonics 7(3),* 663-684.

- Bletery, Q., Cavalié, O., Nocquet, J. M. and Ragon, T. (2020). Distribution of interseismic coupling along the North and East Anatolian faults inferred from InSAR and GPS data. *Geophysical Research Letters*, 47(16), e2020GL087775.
- Dewey, J. F. and Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin* 90, 84–92.
- Duman, T. Y., Çan, T. and Emre, Ö. (2011). *1/1500000 scaled Turkish landslide inventory map*. Ankara: General Directorate of Mineral Reserach and Exploration, Special Publications-27.
- Duman, T. Y. and Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*, 372(1), 495-529.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. and Şaroğlu, F. (2013). *Active fault map of Turkey with an explanatory text. 1:1250000 Scale*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-30.
- Hempton, M. R. (1985). Structure and morphology of the East Anatolian Transform Fault zone near Lake Hazar, southeastern Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 233-243.
- Herece, E. and Akay, E. (1992). The East Anatolian Fault between Karliova and Çelikhán. *Petroleum Congress, Chamber of Petrological Engineering and Turkish Association*, (pp. 361-372). Ankara.
- Jackson, J. and McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1), 185-264.
- Keefer, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95(4), 406-421.
- Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) (2020). *Instrumental earthquake activity*. Erişim adresi <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb>.
- Köküm, M., and Inceöz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault system. *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63.
- Köküm, M. (2019). Landsat TM görüntüleri üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellik analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 119-127.
- Köküm, M. and Özçelik, F. (2020). An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, eastern Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 161(161), 157-170. DOI: 10.19111/bulletinofmre.603929
- Köküm, M., and Inceöz, M. (2020). Paleostress analysis of the Yeşilyurt-Elazığ Fault zone and its importance for the tectonic evolution, east Turkey. *Journal of Structural Geology*, 104093.
- Kürçer, A., Elmacı, H., Yıldırım, N. and Özalp, S. (2020). *24 Ocak 2020 Sivrice (Elâzığ) depremi (mw=6,8) saha gözlemleri ve değerlendirme raporu*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi. Erişim adresi <https://www.mta.gov.tr/v3.0/mta/ilan/609>
- Lyberis, N., Yurur, T., Chorowicz, J., Kasapoglu, E. and Gundogdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204(1-2), 1-15.
- McKenzie, D. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- Pousse-Beltran, L., Nissen, E., Bergman, E. A., Cambaz, M. D., Gaudreau, É., Karasözen, E. and Tan, F. (2020). The 2020 Mw 6.8 Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian Fault. *Geophysical Research Letters*, 47(13), e2020GL088136.
- Sayın, E., Yön, B., Onat, O., Gör, M., Öncü, M. E., Tunç, E. T., ... Calayır, Y. (2021). 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(2), 657-684.
- Seymen, İ. and Aydın, A. (1972). The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian Fault zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 79, 1-8.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. and Altınok, Y. (1981). *A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900)*. Final report, Project number 341, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara.
- Strom, A. (2013). Use of indirect evidence for the prehistoric earthquake-induced landslide identification. In: Ugai K, Yagi H, Wakai A (Eds), *Earthquake-Induced Landslides* (pp 21–30). Berlin: Springer.
- Şaroğlu, F., Emre, O. and Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian Fault zone of Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 6, 99-105.

- Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 37, 227-264.
- Tan, O., Tapirdamaz, M. C. and Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 405–418.
- Tanyaş, H., van Westen, C. J., Allstadt, K. E., Anna Nowicki Jessee, M., Görüm, T., Jibson, R. W., ... Hovius, N. (2017). Presentation and analysis of a worldwide database of earthquake-induced landslide inventories. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JF004236>.
- Tatar, O., Sözbilir, H., Koçbulut, F., Bozkurt, E., Aksoy, E., Eski, S., ..., Metin, Y. (2020). Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake (mw=6.8) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 385-410.
- US Geological Survey (USGS) (2021). *Definition of geological term*. Erişim adresi https://www.usgs.gov/faqs/what-a-landslide-and-what-causes-one?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.
- Westaway, R. and Arger, J. (2001). Kinematics of the Malatya–Ovacik fault zone. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 103-131.
- Westaway, R. (2003). Kinematics of the middle east and eastern Mediterranean updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12(1).
- Xu, J., C. Liu, and X. Xiong (2020). Source process of the 24 January 2020 Mw 6.7 East Anatolian Fault zone, Turkey. *Earthquake. Seismological Society of America*, 91(6), 3120-3128.

The generating matrices of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials

İki değişkenli Balans ve Lucas-Balans polinomlarının üreteç matrisleri

Nazmiye YILMAZ*^{1,a}

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 70100, Karaman

• Geliş tarihi / Received: 15.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 03.05.2021

Abstract

The objective of this paper is to express the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials in terms of determinants of tridiagonal matrices. In addition, we obtained the inverses of the tridiagonal matrices. We finalized the general results to construct families of the tridiagonal matrices whose determinants generate arbitrary linear subsequence with positive and negative indices of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials.

Keywords: Balancing polynomials, Determinant, Inverse of matrix, Lucas-Balancing polynomials, Tridiagonal matrix.

Öz

Makalenin amacı iki değişkenli Balans ve Lucas-Balans polinomlarını üçgensel matrislerin determinantları ile ifade etmektir. Ek olarak bu üçgensel matrislerin terslerini elde ettik. Determinantları iki değişkenli Balans ve Lucas-Balans polinomlarının herhangi pozitif ve negatif indisli lineer alt dizilerini üreten üçgensel matrislerin ailesini veren genel sonuçlar ile sonlandırdık.

Anahtar kelimeler: Balans polinomları, Determinant, Matris tersi, Lucas-Balans polinomları, Üçgensel matris.

*a Nazmiye YILMAZ; yilmaznmzy@gmail.com, Tel: (0338) 2263798, orcid.org/ 0000-0002-7302-2281

1. Introduction

The study of number sequences has been a source of attraction to the mathematicians since ancient times. Since then many of them are focusing their interest on the study of the fascinating triangular numbers. Behera and Panda in 1999, introduced the notion of Balancing numbers $(B_n)_{n \in \mathbb{N}}$ as solutions to a certain Diophantine equation:

$$1 + 2 + \dots + (n-1) = (n+1) + (n+2) + \dots + (n+r),$$

for some positive integer r which is called *balancer* or *cobalancing number* (Behera and Panda, 1999). Then, the recurrence relation of this number sequence is $B_{n+1} = 6B_n - B_{n-1}$ for $n \geq 1$, where $B_0 = 0, B_1 = 1$. A study on the Lucas-Balancing numbers $C_n = \sqrt{8B_n^2 + 1}$ was published in 2009 by Panda (Panda, 2009). The recurrence relation of this number sequence is $C_{n+1} = 6C_n - C_{n-1}$ for $n \geq 1$, where $C_0 = 1, C_1 = 3$.

In the recent years many number theorists from all over the world are taking interest in this beautiful number system and studying the generalizations of this numbers. Interested reader may follow (Frontczak, 2019; Ozkoc, 2015; Ozkoc and Tekcan, 2017; Patel et. al., 2018; Ray, 2017; Ray, 2018; Yilmaz, 2020). One of these generalizations is the Balancing polynomials. A natural extension is to consider for $x \in \mathbb{C}$ sequence of bivariate Balancing polynomials $(B_n(x, y))_{n \in \mathbb{N}}$ (Yakar, 2020).

The bivariate Balancing polynomial is denoted by the recurrence relation

$$B_{n+1}(x, y) = 6xB_n(x, y) - yB_{n-1}(x, y), \tag{1}$$

where $B_0(x, y) = 0, B_1(x, y) = 1$ in (Aşçı and Yakar, 2020).

The explicit form of the bivariate Balancing polynomials is given by the equation

$$B_n(x, y) = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}, \tag{2}$$

where $9x^2 - y > 0, \alpha = 3x + \sqrt{9x^2 - y}$ and $\beta = 3x - \sqrt{9x^2 - y}$, in (Aşçı and Yakar, 2020).

In similar manner, the bivariate Lucas-Balancing polynomial is defined by the recurrence relation

$$C_{n+1}(x, y) = 6xC_n(x, y) - yC_{n-1}(x, y), \tag{3}$$

where $C_0(x, y) = 1, C_1(x, y) = 3x$ and it's Binet formula is

$$C_n(x, y) = \frac{\alpha^n + \beta^n}{2}, \tag{4}$$

where $9x^2 - y > 0, \alpha = 3x + \sqrt{9x^2 - y}$ and $\beta = 3x - \sqrt{9x^2 - y}$.

Let $A(k)$ be a family of tridiagonal matrices which is form as following

$$A(k) = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & & & \\ c_1 & a_2 & b_2 & & \\ & c_2 & a_3 & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & b_{k-1} \\ & & & c_{k-1} & a_k \end{bmatrix}.$$

Theorem 1.1 (Cahill and Narayan, 2004) *The determinant of $A(k)$ is*

$$\begin{aligned} |A(1)| &= a_1, \\ |A(2)| &= a_1a_2 - b_1c_1, \\ |A(k)| &= a_k |A(k-1)| - b_{k-1}c_{k-1} |A(k-2)|, \quad k \geq 3. \end{aligned}$$

Theorem 1.2 (Usmani, 1994a; 1994b) *The inverse of a non-singular tridiagonal matrix $A(k)$ is*

$$(A(k))_{i,j}^{-1} = \begin{cases} (-1)^{i+j} \frac{1}{\theta_i} b_i \cdots b_{j-1} \theta_{i-1} \phi_{j+1}, & i \leq j \\ (-1)^{i+j} \frac{1}{\theta_k} c_j \cdots c_{i-1} \theta_{j-1} \phi_{i+1}, & i > j \end{cases},$$

where θ_i and ϕ_i satisfy the following recurrence relations:

$$\theta_i = a_i \theta_{i-1} - b_{i-1} c_{i-1} \theta_{i-2} \text{ for } i = 2, \dots, k$$

with the initial conditions $\theta_0 = 1$ and $\theta_1 = a_1$. Theorem 1.1 is one special case of this one. Observe that $\theta_k = \det A(k)$,

$$\phi_i = a_i \phi_{i+1} - b_i c_i \phi_{i+2} \text{ for } i = k - 1, \dots, 1$$

with the initial conditions $\phi_{k+1} = 1$ and $\phi_k = a_k$.

There are many relations between Fibonacci, Lucas, Balancing, Lucas-Balancing numbers and tridiagonal matrices. (Chen, 2020; Falcon, 2013; Feng, 2011; Goy, 2018; Nalli and Civciv, 2009; Ozkoc, 2015; Ray, 2012; Ray and Panda, 2015; Taskara et. al., 2011; Trojovsky, 2016; Yilmaz and Kirklar, 2015). As a brief antecedents, the Fibonacci numbers as tridiagonal matrix determinants were construct by Strang (Strang 1997; 1998), and further authors generalized results to establish families of tridiagonal matrices whose determinants create any linear subsequence $F_{\alpha k + \beta}$ or $L_{\alpha k + \beta}$ of the Fibonacci and Lucas numbers in (Nalli and Civciv, 2009). Additionally, in (Ray and Panda, 2015), the authors give the

$$(i) B_{n+k}(x, y) = 2C_k(x, y)B_n(x, y) - y^k B_{n-k}(x, y), \tag{5}$$

$$(ii) C_{n+k}(x, y) = 2C_k(x, y)C_n(x, y) - y^k C_{n-k}(x, y), \tag{6}$$

where $0 < k \leq n$ and $k, n \in \mathbb{Z}^+$.

Proof. (i) From the Equations (2) and (4), we have

$$2C_k(x, y)B_n(x, y) - y^k B_{n-k}(x, y) = (\alpha^k + \beta^k) \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) - y^k \frac{\alpha^{n-k} - \beta^{n-k}}{\alpha - \beta}.$$

Then, by using the equality $\alpha\beta = y$, we can write

$$\begin{aligned} 2C_k(x, y)B_n(x, y) - y^k B_{n-k}(x, y) &= \frac{\alpha^{n+k} - \beta^{n+k}}{\alpha - \beta} \\ &= B_{n+k}(x, y), \end{aligned}$$

which completes the proof.

The proof of the part (ii) is omitted as it is analogous to the part (i).

In the following theorem, we extend the results to construct families of tridiagonal matrices whose determinants generate any arbitrary linear

linear subsequence of the Balancing and Lucas-Balancing numbers by using the determinant of tridiagonal matrices.

Under these conditions, the main aim of this work is to construct the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials with positive and negative indices in the meaning of determinants of tridiagonal matrices. Then, we formulate the inverses of some of these matrices.

2. Main results

In this section, by a different approximation, we present the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials with the determinant of the tridiagonal matrices. To do that, firstly, we give the proposition in the following.

In the following proposition, we reveal the relationship between the bivariate Balancing and Lucas-Balancing numbers.

Proposition 2.1 *The bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials satisfy the following equalities*

subsequence of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials.

Theorem 2.1 *For $n, r \in \mathbb{Z}^+$ and $s \in \mathbb{N}$,*

(i) Let $M_{r,s}(n)$ be the symmetric tridiagonal family of matrices. That is,

$$m_{1,1} = B_{r+s}(x, y), m_{2,2} = \left[\frac{B_{2r+s}(x, y)}{B_{r+s}(x, y)} \right],$$

$$m_{j,j} = 2C_r(x, y), 3 \leq j \leq n,$$

$$m_{1,2} = m_{2,1} = \sqrt{m_{2,2}B_{r+s}(x, y) - B_{2r+s}(x, y)},$$

$$m_{j,j+1} = y^r, 2 \leq j < n,$$

$$m_{j+1,j} = 1, 2 \leq j < n.$$

Then, we have

$$\det M_{r,s}(n) = B_{m+s}(x, y). \tag{7}$$

(ii) Let $K_{r,s}(n)$ be the symmetric tridiagonal family of matrices. That is,

$$k_{1,1} = C_{r+s}(x, y), k_{2,2} = \left[\frac{C_{2r+s}(x, y)}{C_{r+s}(x, y)} \right],$$

$$k_{j,j} = 2C_r(x, y), 3 \leq j \leq n,$$

$$k_{1,2} = k_{2,1} = \sqrt{k_{2,2}C_{r+s}(x, y) - C_{2r+s}(x, y)},$$

$$\det M_{r,s}(2) = \det \begin{bmatrix} B_{r+s}(x, y) & \sqrt{m_{2,2}B_{r+s}(x, y) - B_{2r+s}(x, y)} \\ \sqrt{m_{2,2}B_{r+s}(x, y) - B_{2r+s}(x, y)} & \left[\frac{B_{2r+s}(x, y)}{B_{r+s}(x, y)} \right] \end{bmatrix}$$

$$= B_{2r+s}(x, y).$$

Now assume that it is true for n . That is,

$$\det M_{r,s}(n) = B_{m+s}(x, y).$$

Then, by considering Theorem 1.1 and the our assumption, we have

$$\det M_{r,s}(n+1) = 2C_r(x, y) \det M_{r,s}(n) - y^r \det M_{r,s}(n-1)$$

$$= 2C_r(x, y)B_{m+s}(x, y) - y^r B_{m-r+s}(x, y).$$

From the part (i) of Proposition 2.1, we get

$$\det M_{r,s}(n+1) = B_{r(n+1)+s}(x, y)$$

which ends up the proof.

Using Theorem 2.1, one can construct a family of tridiagonal matrices whose successive determinants form any linear subsequences of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials. For example, the determinants of the following $n \times n$ tridiagonal matrices are

$$k_{j,j+1} = y^r, 2 \leq j < n,$$

$$k_{j+1,j} = 1, 2 \leq j < n.$$

Then, we have

$$\det K_{r,s}(n) = C_{m+s}(x, y). \tag{8}$$

Proof. We prove (i), since the proof of (ii) can be showed similar to it. We use the principle of finite induction on n to prove the Equation (7). For $n = 1$,

$$\det M_{r,s}(1) = B_{r+s}(x, y),$$

it is easy to see that for $n = 2$,

$$\det M_{r,s}(2) = \det \begin{bmatrix} B_{r+s}(x, y) & \sqrt{m_{2,2}B_{r+s}(x, y) - B_{2r+s}(x, y)} \\ \sqrt{m_{2,2}B_{r+s}(x, y) - B_{2r+s}(x, y)} & \left[\frac{B_{2r+s}(x, y)}{B_{r+s}(x, y)} \right] \end{bmatrix}$$

$$M_{1,1}(n) = T(n) = \begin{bmatrix} 6x & \sqrt{y} & & & \\ \sqrt{y} & 6x & y & & \\ & 1 & 6x & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & y \\ & & & 1 & 6x \end{bmatrix} \tag{9}$$

and

$$K_{1,0}(n) = E(n) = \begin{bmatrix} 3x & \sqrt{y} & & & \\ \sqrt{y} & 6x & y & & \\ & 1 & 6x & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & y \\ & & & 1 & 6x \end{bmatrix} \tag{10}$$

are given by $B_{n+1}(x, y)$ and $C_n(x, y)$, respectively.

Theorem 2.2 The inverses of matrices $T(n)$ and $E(n)$ are

$$t'_{i,j} = \begin{cases} \frac{B_n(x, y)}{B_{n+1}(x, y)}, & i = j = 1 \\ (-1)^{j+1} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} \sqrt{y} y^{j-2}, & i < j, i = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} B_i(x, y) y^{j-i}, & i \leq j, i \neq 1 \\ (-1)^{i+1} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} \sqrt{y}, & i > j, j = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} B_j(x, y), & i > j, j \neq 1 \end{cases}$$

and

$$e'_{i,j} = \begin{cases} \frac{B_n(x, y)}{C_n(x, y)}, & i = j = 1 \\ (-1)^{j+1} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{C_n(x, y)} \sqrt{y} y^{j-2}, & i < j, i = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{C_n(x, y)} C_{i-1}(x, y) y^{j-i}, & i \leq j, i \neq 1 \\ (-1)^{i+1} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{C_n(x, y)} \sqrt{y}, & i > j, j = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{C_n(x, y)} C_{j-1}(x, y), & i > j, j \neq 1 \end{cases}$$

where $x, y \neq 0$ and $n \in \mathbb{Z}^+$.

Proof. It is easily seen that the matrices $T(n)$ and $E(n)$ are invertible matrices, since every $B_n(x, y)$ and $C_n(x, y)$ are nonzero for $x, y \neq 0$ and $n \in \mathbb{Z}^+$. For the inverse matrix of $T(n)$, if we choose

$$\begin{aligned} a_j &= 6x, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ b_1 &= c_1 = \sqrt{y}, \quad b_i = y, \quad c_i = 1, \quad i = 2, \dots, n \\ \theta_i &= B_{i+1}(x, y), \quad i = 2, \dots, n \\ \phi_j &= B_{n-j+2}(x, y), \quad j = n-1, n-2, \dots, 1 \end{aligned}$$

in Theorem 1.2, then we obtain

$$t'_{i,j} = \begin{cases} \frac{B_n(x, y)}{B_{n+1}(x, y)}, & i = j = 1 \\ (-1)^{j+1} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} \sqrt{y} y^{j-2}, & i < j, i = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-j+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} B_i(x, y) y^{j-i}, & i \leq j, i \neq 1 \\ (-1)^{i+1} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} \sqrt{y}, & i > j, j = 1 \\ (-1)^{i+j} \frac{B_{n-i+1}(x, y)}{B_{n+1}(x, y)} B_j(x, y), & i > j, j \neq 1 \end{cases}$$

For the inverse matrix of $E(n)$, if we choose

$$\begin{aligned} a_1 &= 3x, \quad a_j = 6x, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ b_1 &= c_1 = \sqrt{y}, \quad b_i = y, \quad c_i = 1, \quad i = 2, \dots, n \\ \theta_i &= C_i(x, y), \quad i = 2, \dots, n \\ \phi_1 &= 3x, \quad \phi_j = B_{n-j+2}(x, y), \quad j = n-1, n-2, \dots, 2 \end{aligned}$$

in Theorem 1.2, then it is as required.

In the following theorem, it give us the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials with negative indices in terms of the determinants of the special tridiagonal matrices.

Theorem 2.3 For $n, r \in \mathbb{Z}^+$ and $s \in \mathbb{N}$,

(i) Let $M_{-r,-s}(n)$ be the symmetric tridiagonal family of matrices. That is,

$$\begin{aligned} m_{1,1} &= B_{-r-s}(x, y), \quad m_{2,2} = \left[\frac{B_{-2r-s}(x, y)}{B_{-r-s}(x, y)} \right], \\ m_{j,j} &= 2C_{-r}(x, y), \quad 3 \leq j \leq n, \\ m_{1,2} &= m_{2,1} = \sqrt{m_{2,2} B_{-r-s}(x, y) - B_{-2r-s}(x, y)}, \\ m_{j,j+1} &= y^{-r}, \quad 2 \leq j < n, \\ m_{j+1,j} &= 1, \quad 2 \leq j < n. \end{aligned}$$

Then, we have

$$\det M_{-r,-s}(n) = B_{-rn-s}(x, y). \tag{11}$$

(ii) Let $K_{-r,-s}(n)$ be the symmetric tridiagonal family of matrices. That is,

$$k_{1,1} = C_{-r-s}(x, y), k_{2,2} = \left[\frac{C_{-2r-s}(x, y)}{C_{-r-s}(x, y)} \right],$$

$$k_{j,j} = 2C_{-r}(x, y), 3 \leq j \leq n,$$

$$k_{1,2} = k_{2,1} = \sqrt{k_{2,2}C_{-r-s}(x, y) - C_{-2r-s}(x, y)},$$

$$k_{j,j+1} = y^{-r}, 2 \leq j < n,$$

$$k_{j+1,j} = 1, 2 \leq j < n.$$

Then, we have

$$\det K_{-r,-s}(n) = C_{-rn-s}(x, y). \tag{12}$$

Proof. The proof can be seen similar to Theorem 2.1 .

3. Conclusion

In this paper, to obtain the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials, we define the tridiagonal matrices and present the determinants and inverses of these matrices. By the results in Sections 2 of this paper, we have a major chance to crosscheck and acquire some new properties over these sequences. This is the key goal of this paper. Thus, we enlarge some recent result in the literature. That is, the Balancing and Lucas-Balancing numbers are a special case of $B_n(x, y)$ and $C_n(x, y)$ with $x = y = 1$. k -Balancing and k -Lucas Balancing numbers are $B_n(x, y)$ and $C_n(x, y)$ with $x = k, y = 1$.

In the future studies on the tridiagonal matrices for number sequences, we hope that the following topic will bring a new comprehension. Also, it would be interesting to research the tridiagonal matrices for generalized Balancing, bivariate cobalancing and Lucas-Balancing polynomials.

References

Aşcı, M. and Yakar, M. (2020). Bivariate Balancing polynomials. *JP Journal Algebra Number Theory and Applications*, 46(1), 97-108. <http://dx.doi.org/10.17654/NT046010097>

Behera, A. and Panda, G. K. (1999). On the square roots of triangular numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 37(2), 98-105.

Cahill, N. D. and Narayan, D. A. (2004). Fibonacci and Lucas numbers as tridiagonal matrix determinants. *The Fibonacci Quarterly*, 42(3), 216-221.

Chen, K. W. (2020). Horadam sequences and tridiagonal determinants. *Symmetry*, 12, 1968. <https://doi.org/10.3390/sym12121968>

Falcon, S. (2013). On the generating matrices of the k - Fibonacci numbers. *Proyecciones Journal of Mathematics*, 32(4), 347-357. <https://doi.org/10.4067/S0716-09172013000400004>

Feng, J. (2011). Fibonacci identities via the determinant of tridiagonal matrix. *Applied Mathematics and Computation*, 217(12), 5978-5981. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.12.025>

Frontczak, R. (2019). On Balancing polynomials. *Applied Mathematical Sciences*, 13(2), 57-66. <https://doi.org/10.12988/ams.2019.812183>

Goy, T. (2018). Horadam sequence through recurrent determinants of tridiagonal matrices. *Kragujevac Journal of Mathematics*, 42(4), 527-532.

Nalli, A. and Cıvcıv, H. (2009). A generalization of tridiagonal matrix determinants, Fibonacci and Lucas numbers. *Chaos, Solitons and Fractals*, 40, 355-361. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2007.07.069>

Ozkoc, A. (2015). Tridiagonal matrices via k - Balancing number. *British Journal of Mathematics and Computer Science*, 10(4), 1-11. <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2015/19014>

Ozkoc, A. and Tekcan, A. (2017). On k -Balancing numbers. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 23(3), 38-52.

Panda, G. K. (2009). Some fascinating properties of Balancing numbers. *Proceeding of the Eleventh International Conference on Fibonacci Numbers and Their Applications*, Congr. Numer. 194, 185-189.

Patel, B. K., Irmak, N. and Ray, P. K. (2018). Incomplete Balancing and Lucas-Balancing numbers. *Mathematical Reports*, 20(70), 59-72.

Ray, P. K. (2012). Application of Chybeshev polynomials in factorizations of Balancing and Lucas-Balancing numbers. *Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica*, 30(2), 49-56. <https://doi.org/10.5269/bspm.v30i2.12714>

Ray, P. K. (2017). Balancing polynomials and their derivatives. *Ukrainian Mathematical Journal*, 69(4), 646-663. <https://doi.org/10.1007/s11253-017-1386-7>

Ray, P. K. (2018). On the properties of k -Balancing numbers. *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 395-402. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.01.014>

- Ray, P. K. and Panda, G. K. (2015). Tridiagonal matrices related to subsequences of Balancing and Lucas-Balancing numbers. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 21(3), 56-63.
- Strang, G. (1998). *Introduction to linear algebra*. 2nd ed., Wellesley (MA), Wellesley-Cambridge.
- Strang, G. and Borre, K. (1997). *Linear algebra, geodesy and GPS*. Wellesley (MA), Wellesley-Cambridge, 555-7.
- Taskara, N., Uslu, K., Yazlik, Y. and Yilmaz, N. (2011). The construction of Horadam numbers in terms of the determinant of tridiagonal matrices. *AIP Conference Proceedings*, 1389(1), 367-370. <https://doi.org/10.1063/1.3636739>
- Trojovský, P. (2016). On determinants of tridiagonal matrices with $(-1,1)$ -diagonal or superdiagonal in relation to Fibonacci numbers. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12(2), 1885-1892.
- Usmani, R. A. (1994a). Inversion of a tridiagonal Jacobi matrix. *Linear Algebra and its Applications*, 212, 413-414. [https://doi.org/10.1016/0024-3795\(94\)90414-6](https://doi.org/10.1016/0024-3795(94)90414-6)
- Usmani, R. A. (1994b). Inversion of Jacobi's tridiagonal matrix. *Computers & Mathematics with Applications*, 27, 59-66.
- Yakar, M. (2020). *Bivariate Balancing polynomials*. MS Thesis, Pamukkale University Institute of Science, Denizli.
- Yilmaz, F. and Kirklar, E. (2015). A note on k -tridiagonal matrices with the Balancing and Lucas-Balancing numbers. *Ars Combinatoria*, 120, 283-291.
- Yilmaz, N. (2020). Binomial transforms of the Balancing and Lucas-Balancing polynomials. *Contributions to the Discrete Mathematics*, 15(3), 133-144. <https://doi.org/10.11575/cdm.v15i3.69846>

Fuzzy inverse logic: part-2. validation and evaluation of the method

Bulanık ters mantık: kısım-2. yöntemin doğrulanması ve değerlendirilmesi

Ertekin ÖZTEKİN*^{1,a}

¹ Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 11.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.05.2021

Abstract

In the first part of this study, which consists of two parts, the introduction of the fuzzy inverse logic method, its foundations, computation and process flow and details were given. In this second part, the method was applied on a very simple mathematical problem and on a simple civil engineering design problem in order to investigate and evaluate the validity of the method easily. Fuzzy inverse logic computations have been carried out on these two simple problems for different dimension, sensitivity and acceptable error values. By comparing the obtained results with the desired outputs and mathematical results, the effective computation ability of the method was tried to be revealed. As a result, it is understood that the method developed in this study has many promising aspects in terms of theoretical computations and practical applications and can be used effectively in many scientific fields.

Keywords: Artificial intelligence, Design, Engineering, Fuzzy logic, Fuzzy inverse logic, Logic.

Öz

Bulanık ters mantık yönteminin anlatıldığı ve iki kısımdan oluşan çalışmanın birinci kısmında yöntemin tanıtımı, dayandığı temeller, hesap ve işlem akış ve detaylarının verilmiştir. Bu ikinci kısımda ise yöntemin geçerliliğinin kolayca araştırılarak değerlendirilebilmesi için yöntem çok basit bir matematik problem ile inşaat mühendisliğinde basit bir tasarım problemi üzerine uygulanmıştır. Bu basit problemler üzerinde farklı boyut, hassasiyet ve kabul edilebilir hata değerleri için Bulanık ters mantık çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile hedeflenen ve matematiksel sonuçlar karşılaştırılarak yöntemin etkin hesap yapabilme yeteneği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular detaylıca değerlendirilerek yöntemin avantajları, dezavantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen yöntemin teorik hesaplamalar ve pratik uygulamalar açısından ümit verici birçok yönü olduğu ve birçok alanda etkili olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, Tasarım, Mühendislik, Bulanık mantık, Bulanık ters mantık, Mantık

*a Ertekin ÖZTEKİN; ertekinoztekin@hotmail.com, Tel: (0532) 777 26 67, orcid.org/0000-0002-4229-0953

1. Introduction

Human beings solve the problems they encounter in their daily life by making various inferences based on their past experiences. These inferences are in two directions. In other words, a person can make inferences from cause to result as well as from result to cause. Fuzzy logic method has been developed by considering the inferences made from cause to result. For the inferences that humans can make from result to cause, the FIL method developed in this study is tried to be explained.

In the first part of this study, where the fuzzy inverse logic method was presented, the fundamentals, computation and process flow of the method were tried to be explained in detail. In this second part of the study, the effectiveness and validity of the method was tried to be determined and evaluated in the light of the results obtained by applying the FIL method on two very simple problems. The first of the two problems in which the FIL method applied is on a very simple mathematical problem. In order to make more clear and understandable evaluations and to provide better explanations about the method, a very simple problem was chosen in this study firstly. The second problem, which is more complex than the first problem, was chosen from the field of civil engineering. Although the second example seems complex compared to the first example, it is one of the simplest design examples in the field of civil engineering.

In this study, a general purpose computer code was written in order to apply the developed fuzzy inverse logic method on the two examples described above. For this, vb.net visual basic programming language is used. By means of this computer code whose flow chart is given in Figure 1, the FIL method has been successfully applied on the above-mentioned examples and by this way a possibility was provided to test the method and to make evaluations on this method. As seen Figure 1 that, the flow chart of the written code is constituted from two parts. First part includes the classic fuzzy model computations. The second part was added to the first part to apply FIL method on a developed fuzzy model.

2. Applications of the FIL method on problems

2.1. Application of the FIL method on problem-1 (on a simple mathematic problem)

Let, A, B and $C \in R$ and $1 \leq A \leq 5$, $1 \leq B \leq 5$ and $1 \leq C \leq 5$,

- a) If $A+B+C=4.5$ then find A, B and C .
 b) If $(A+B) \times C=10.5$ then find A, B and C .

2.1.1. Mathematical solution

Since the parameters A, B and C are real numbers between 1 and 5, it should be emphasized here that mathematically there are infinite number of solutions for this problem. The mathematical solution of both a and b options of this problem can be achieved by assigning values between 1 and 5 to the parameters of A, B and C by trial and error method. Since the solutions are very simple mathematically, they will not be explained here.

2.1.2. Solution by FIL

2.1.2.1. Constitution of FL model for problem-1

As it is known, in order to obtain accurate and precise solutions with the FIL method, it should be applied on a FL model having proven accuracy and sensitivity. Since the variable parameters are the same for the a and b options, it was preferred to constitute single fuzzy model instead of creating separate fuzzy models for both of these options.

The first step in the constitution of a FL model is determination of fuzzy sets for input and output parameters. For each of the A, B and C parameters the fuzzy sets shown in Figure 2 (a), Figure 2 (b) and Figure 2 (c) are defined respectively. As can be seen from these figures, triangular membership functions are used in the constitution of fuzzy sets. In the fuzzy model, 13 fuzzy sets for the first output $O_1=A+B+C$ and 27 fuzzy sets for the second output $O_2=(A+B) \times C$ were constituted as in Figure 3 and Figure 4.

The Weighted Average Method (WAM) was used in the de-fuzzification in FL in which 125 rules were constituted with combinations of fuzzy sets of input parameters for both outputs. The model was tested for 50 different samples given in Table 1 for each output. In the test results, the correlation and the correlation coefficients for both O_1 and O_2 output were obtained as $R = 0.996$ and as $R^2 = 0.992$ respectively. For each of the O_1 and O_2 outputs, the average absolute % error was calculated as 1.543 and 3.853, while the maximum absolute % error was calculated as 4.986 and 11.061. The absolute % error (APE) formula given in Equation-1 was used in this study.

$$APE = \frac{|O_{predicted} - O_{real}|}{O_{real}} \times 100 \quad (1)$$

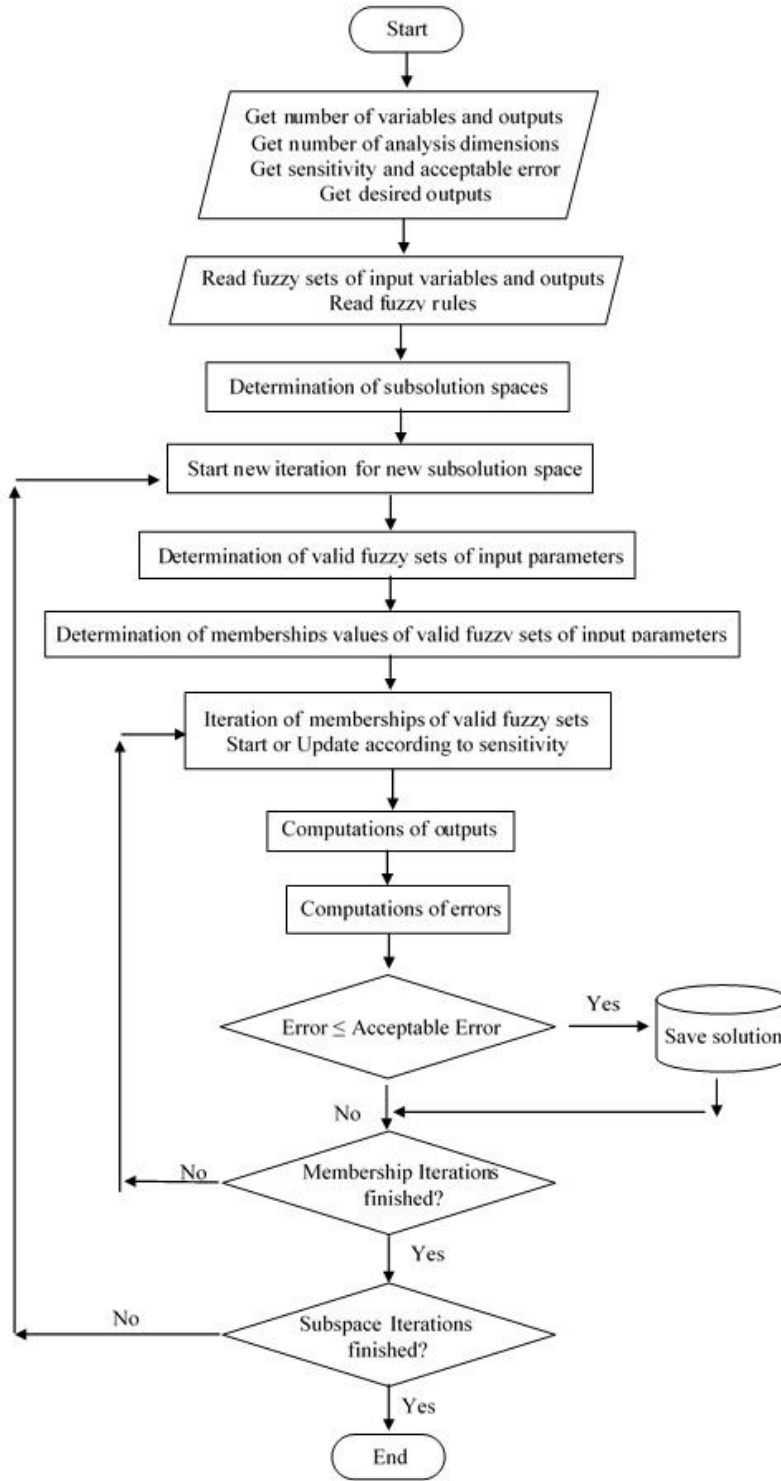


Figure 1. Computation steps of the fuzzy inverse logic algorithms

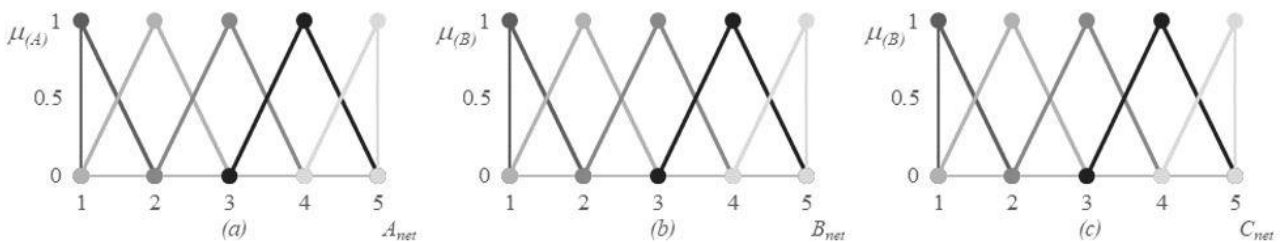


Figure 2. Fuzzy sets for A, B and C parameters

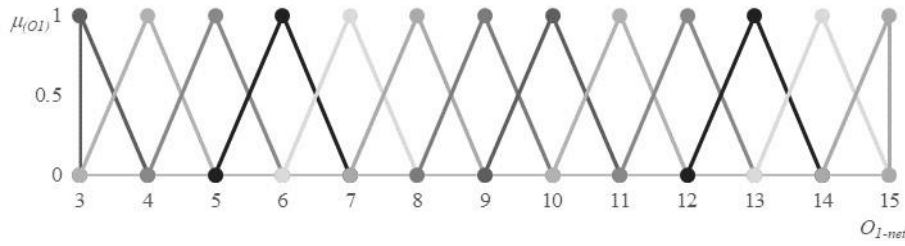


Figure 3. Fuzzy sets for the output parameter of O_1

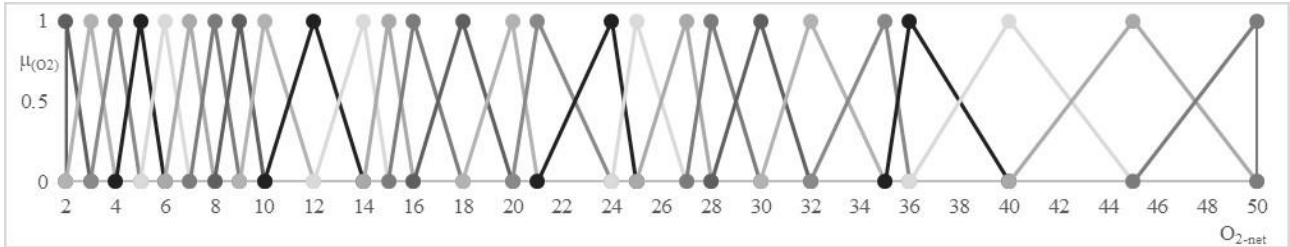


Figure 4. Fuzzy sets for the output parameter of O_2

Table 1. Test data and FL outputs

No	Test Data			Mathematical Outputs		FL Outputs	
	A	B	C	O_1	O_2	O_1	O_2
1	4.9	4.1	3.9	12.9	35.1	12.750	34.347
2	4.8	4.6	2.4	11.8	22.56	11.692	22.474
3	4.75	2.75	2.4	9.9	18	9.660	17.727
4	3.4	4.35	3.4	11.15	26.35	11.375	27.638
5	3.7	1.95	1.75	7.4	9.8875	7.147	9.208
6	3.55	1.8	2	7.35	10.7	7.250	10.693
7	1.65	2.45	1	5.1	4.1	5.059	4.059
8	4.25	2.25	2.4	8.9	15.6	9.260	16.804
9	4.4	1.4	2.65	8.45	15.37	8.500	15.290
10	2.8	2	1	5.8	4.8	5.800	4.800
11	3.3	3.65	3.9	10.85	27.105	10.775	26.648
12	3.3	2.85	1.45	7.6	8.9175	7.614	9.041
13	3.55	3.6	1.65	8.8	11.7975	8.609	10.989
14	4.6	1.4	2.3	8.3	13.8	8.400	14.486
15	2.15	3.8	4.85	10.8	28.8575	10.658	27.802
16	3.35	3.45	2.55	9.35	17.34	9.424	17.418
17	1.7	1.35	3.8	6.85	11.59	6.688	11.144
18	1.55	3.1	3.35	8	15.5775	8.143	16.099
19	4.45	4.45	2.7	11.6	24.03	11.581	23.169
20	4	4.7	3.6	12.3	31.32	12.188	30.985
21	3.1	1.5	2.05	6.65	9.43	6.857	10.316
22	3.45	1.85	1.45	6.75	7.685	6.720	7.860
23	2.75	1.45	3.95	8.15	16.59	8.000	16.082
24	1.45	4.7	1.2	7.35	7.38	7.396	8.063
25	3.95	1.8	3.05	8.8	17.5375	8.731	17.444
26	2.4	4.8	4.8	13.05	39.6	12.750	37.959
27	3.15	2.5	2.7	9.4	18.09	9.417	17.733
28	3.45	4.5	4.3	9.8	23.65	9.875	23.778
29	4.2	3.6	4.05	9.85	23.49	10.000	23.798
30	1	3.55	2.1	6.9	10.08	7.105	11.010
31	2.2	1.05	2.05	7.35	10.865	7.615	12.067
32	1.25	4.15	2.85	8.95	17.385	8.867	16.796
33	4.25	2.9	2.15	6.6	9.5675	6.588	9.917
34	1.95	4.15	2.55	8.55	15.3	8.526	15.231
35	1.55	4.35	2.65	8.95	16.695	8.895	16.353
36	1.85	1.35	1.35	5.4	5.4675	5.483	5.895
37	1.95	1.35	1.85	5.25	6.29	5.267	6.083
38	2.7	3.6	1.7	9.2	12.75	8.950	11.806
39	2.05	3.2	4.15	9.5	22.2025	9.974	24.213
40	3.9	2.9	4.05	9.55	22.275	9.500	21.725
41	2.15	4.6	1.7	10.85	15.555	10.650	14.528
42	2.6	3.25	1.7	9.2	12.75	9.380	12.248
43	4.55	4.45	4.75	11.6	32.5375	11.589	32.085
44	4.25	1.75	3.65	7.45	13.87	7.353	13.668
45	2.4	2	2.75	8.6	16.0875	8.462	15.630
46	2.05	4.8	4.35	12.55	35.67	12.580	36.520
47	3.85	3.7	1.6	8.9	11.68	8.667	10.944
48	3.4	2.3	2.35	7.5	12.1025	7.568	12.639
49	3.6	2.3	4.3	9	20.21	9.321	21.644
50	2.85	2.25	4.2	9.6	22.68	10.025	24.475

2.1.2.2. Application of FIL method on FL model constituted for problem 1

a) By entering of the value of $O_1 = 4.5$ as desired output into the program coded for the FIL method, the values of A, B and C parameters were computed in 1 dimensional (1D), 2 dimensional (2D) and 3 dimensional (3D) analyzes and were given in Table 2, Table 3 and Table 4, respectively. As can be seen from these three tables, 9, 24 and 36 solutions were obtained in 1D, 2D and 3D FIL analyzes for $O_1 = A + B + C = 4.5$, respectively.

b) By entering of the value of $O_2 = 10.5$ as desired output into the program coded for the FIL method, the values of A, B and C parameters were computed in 1D, 2D and 3D analyzes and were given in Table 5, Table 6 and Table 7, respectively. As can be seen from these three tables, 16, 57 and 132 solutions were obtained in 1D, 2D and 3D FIL analyzes for $O_2 = (A + B \times C = 10.5)$, respectively.

These solutions are not completely different solutions. In other words, for reasons arising from the nature of iteration computations, some

solutions, even if they are small amount, were obtained identical to each other. This is an indication that the program developed for FIL produces correct results. The solutions given in

Table 2, Table 3 and Table 4, Table 5, Table 6 and Table 7 were obtained for % 0 absolute % error (APE) of FIL and for 0.1 membership sensitivity in this study.

Table 2. 1D solution for O_1

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution (MS=A+B+C)	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
							$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	2.5	1	1	4.5	4.5	4.5	0	0
2	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
3	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
4	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
5	1	2.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
6	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
7	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
8	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
9	1	1	2.5	4.5	4.5	4.5	0	0
Average APE							0	0
Max APE							0	0

Table 3. 2D solution for O_1

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution (MS=A+B+C)	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
							$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
2	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
3	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
4	2.5	1	1	4.5	4.5	4.5	0	0
5	1	2.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
6	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
7	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
8	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
9	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
10	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
11	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
12	2.5	1	1	4.5	4.5	4.5	0	0
13	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
14	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
15	1	1	2.5	4.5	4.5	4.5	0	0
16	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
17	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
18	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
19	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
20	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
21	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
22	1	2.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
23	1	1	2.5	4.5	4.5	4.5	0	0
24	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
Average APE							0	0
Max APE							0	0

Table 4. 3D solution for O_1

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution ($MS=A+B+C$)	FIL Solution (FELS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
							$\frac{ FELS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
2	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
3	1.2	1.3	1.9	4.4	4.5	4.5	0	2.22
4	1.3	1.2	1.9	4.4	4.5	4.5	0	2.22
5	1.1	1.7	1.8	4.6	4.5	4.5	0	2.22
6	1.3	1.3	1.8	4.4	4.5	4.5	0	2.22
7	1.1	1.8	1.7	4.6	4.5	4.5	0	2.22
8	1.4	1.5	1.6	4.5	4.5	4.5	0	0
9	1.5	1.4	1.6	4.5	4.5	4.5	0	0
10	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
11	1.2	1.8	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
12	1.4	1.6	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
13	1.5	1.5	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
14	1.6	1.4	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
15	1.8	1.2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
16	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
17	1.5	1.6	1.4	4.5	4.5	4.5	0	0
18	1.6	1.5	1.4	4.5	4.5	4.5	0	0
19	1.2	1.9	1.3	4.4	4.5	4.5	0	2.22
20	1.3	1.8	1.3	4.4	4.5	4.5	0	2.22
21	1.8	1.3	1.3	4.4	4.5	4.5	0	2.22
22	1.9	1.2	1.3	4.4	4.5	4.5	0	2.22
23	1.3	1.9	1.2	4.4	4.5	4.5	0	2.22
24	1.8	1.5	1.2	4.5	4.5	4.5	0	0
25	1.9	1.3	1.2	4.4	4.5	4.5	0	2.22
26	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
27	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
28	2	1	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
29	2	1.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
30	2.5	1	1	4.5	4.5	4.5	0	0
31	1	2	1.5	4.5	4.5	4.5	0	0
32	1	2.5	1	4.5	4.5	4.5	0	0
33	1.5	2	1	4.5	4.5	4.5	0	0
34	1	1	2.5	4.5	4.5	4.5	0	0
35	1	1.5	2	4.5	4.5	4.5	0	0
36	1.5	1	2	4.5	4.5	4.5	0	0
Average APE							0	0.68
Max APE							0	2.22

Table 5. 1D solution for O_2

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution ($MS=(A+B)xC$)	FIL Solution (FELS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
							$\frac{ FELS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	2.5	1	3	10.5	10.5	10.5	0	0
2	1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0
3	1.1	1	5	10.5	10.5	10.5	0	0
4	2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0
5	1	2.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0
6	1	1.1	5	10.5	10.5	10.5	0	0
7	5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0
8	4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0
9	3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0
10	2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0
11	4	1	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0
12	3	2	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0
13	2	3	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0
14	1	4	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0
15	2	1	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0
16	1	2	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0
Average APE							0	0
Max APE							0	0

Table 6. 2D solution for O_2

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution ($MS=(A+B)xC$)	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE		External APE	
							$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$		
1	3.4	1.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952		
2	2.4	2.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952		
3	1.4	3.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952		
4	1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
5	2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
6	2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
7	2.1	1.3	3	10.2	10.5	10.5	0	2.857		
8	2.5	1	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
9	1	2.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
10	1.1	2.3	3	10.2	10.5	10.5	0	2.857		
11	1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
12	1	1.1	5	10.5	10.5	10.5	0	0		
13	1.1	1	5	10.5	10.5	10.5	0	0		
14	5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
15	4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
16	4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
17	3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
18	3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
19	2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
20	2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
21	2.5	1	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
22	4	1	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
23	4	1	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
24	1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
25	3	2	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
26	3	2	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
27	2	3	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
28	2	3	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
29	1	4	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
30	2	1	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
31	2	1	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
32	2.5	1	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
33	1	2	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
34	1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
35	1.1	1	5	10.5	10.5	10.5	0	0		
36	5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
37	4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
38	5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
39	3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
40	4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
41	2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
42	3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
43	2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
44	3	2	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
45	4	1	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
46	1	2.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
47	2	3	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
48	3	2	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
49	1	4	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
50	2	3	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
51	1	4	2.1	10.5	10.5	10.5	0	0		
52	1	2	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
53	2	1	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
54	2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
55	1	2	3.5	10.5	10.5	10.5	0	0		
56	1	2.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0		
57	1	1.1	5	10.5	10.5	10.5	0	0		
Average APE							0	0.150		
Max APE							0	2.857		

Table 7. 3D solution for O_2

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution ($MS=(A+B)xC$)	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
							$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
3.4	1.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952	
4.1	1.9	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
4.3	1.4	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
4.4	1.3	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
4.9	1.1	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
4.5	1.9	1.8	11.52	10.5	10.5	0	9.714	
5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.4	2.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952	
3.1	2.9	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
3.3	2.4	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
3.4	2.3	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
3.9	2.1	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
3.5	2.9	1.8	11.52	10.5	10.5	0	9.714	
4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.1	2.3	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
4.1	2.2	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
4.3	2.1	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
4.2	2.1	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.2	2.8	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.5	2.5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.7	2.3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.9	2.1	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
5	2	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.4	3.9	2	10.6	10.5	10.5	0	0.952	
2.1	3.9	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
2.3	3.4	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
2.4	3.3	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
2.9	3.1	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
2.5	3.9	1.8	11.52	10.5	10.5	0	9.714	
3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.1	3.3	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
3.1	3.2	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
3.3	3.1	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
3.2	3.1	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.2	3.8	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.5	3.5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.7	3.3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.9	3.1	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4	3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4.1	3.9	1.2	9.6	10.5	10.5	0	8.571	
4.9	3.1	1.2	9.6	10.5	10.5	0	8.571	
1.1	4.9	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
1.3	4.4	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
1.4	4.3	1.9	10.83	10.5	10.5	0	3.143	
1.9	4.1	1.9	11.4	10.5	10.5	0	8.571	
1.5	4.9	1.8	11.52	10.5	10.5	0	9.714	
2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.1	4.3	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
2.1	4.2	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
2.3	4.1	1.7	10.88	10.5	10.5	0	3.619	
2.2	4.1	1.7	10.71	10.5	10.5	0	2.000	
2	5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.2	4.8	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.5	4.5	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.7	4.3	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.9	4.1	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3	4	1.5	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.1	4.9	1.2	9.6	10.5	10.5	0	8.571	
3.9	4.1	1.2	9.6	10.5	10.5	0	8.571	
4.5	4.5	1.1	9.9	10.5	10.5	0	5.714	
1.5	2	3	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1.5	3	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.1	1.3	3	10.2	10.5	10.5	0	2.857	
2.5	1	3	10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.5	1.7	2.7	11.34	10.5	10.5	0	8.000	

Table 7. Continued

Solution No	A	B	C	Mathematical Solution ($MS=(A+B) \times C$)	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE	
							$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$	
2.5	1.6	2.7		11.07	10.5	10.5	0	5.429	
2.7	1.5	2.7		11.34	10.5	10.5	0	8.000	
2.5	1.5	2.7		10.8	10.5	10.5	0	2.857	
2.6	1.7	2.6		11.18	10.5	10.5	0	6.476	
2.7	1.6	2.6		11.18	10.5	10.5	0	6.476	
2.3	1.9	2.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.9	1.3	2.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.4	1.9	2.4		10.32	10.5	10.5	0	1.714	
2.7	1.9	2.3		10.58	10.5	10.5	0	0.762	
2.9	1.7	2.3		10.58	10.5	10.5	0	0.762	
3	2	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.1	1.1	2.2		9.24	10.5	10.5	0	12.000	
3	2	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
4	1	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3.4	1.9	2		10.6	10.5	10.5	0	0.952	
4	1	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1	2.5	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.1	2.3	3		10.2	10.5	10.5	0	2.857	
1.5	2	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.5	2.7	2.7		11.34	10.5	10.5	0	8.000	
1.5	2.6	2.7		11.07	10.5	10.5	0	5.429	
1.7	2.5	2.7		11.34	10.5	10.5	0	8.000	
1.5	2.5	2.7		10.8	10.5	10.5	0	2.857	
1.6	2.7	2.6		11.18	10.5	10.5	0	6.476	
1.7	2.6	2.6		11.18	10.5	10.5	0	6.476	
1.3	2.9	2.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.9	2.3	2.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.4	2.9	2.4		10.32	10.5	10.5	0	1.714	
1.7	2.9	2.3		10.58	10.5	10.5	0	0.762	
1.9	2.7	2.3		10.58	10.5	10.5	0	0.762	
2	3	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.1	2.1	2.2		9.24	10.5	10.5	0	12.000	
2	3	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
3	2	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.4	2.9	2		10.6	10.5	10.5	0	0.952	
3	2	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.1	3.1	2.2		9.24	10.5	10.5	0	12.000	
1	4	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	3	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.4	3.9	2		10.6	10.5	10.5	0	0.952	
2	3	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1	4	2.1		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.3	1.4	3.8		10.26	10.5	10.5	0	2.286	
1.4	1.3	3.8		10.26	10.5	10.5	0	2.286	
1	2	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.2	1.8	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.5	1.5	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.8	1.2	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.8	1.5	3.2		10.56	10.5	10.5	0	0.571	
1.5	2	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1.5	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2	1.5	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
2.1	1.3	3		10.2	10.5	10.5	0	2.857	
2.5	1	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1	2	3.5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1	2.5	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.1	2.3	3		10.2	10.5	10.5	0	2.857	
1.5	2	3		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1	1.1	5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
1.1	1	5		10.5	10.5	10.5	0	0.000	
							Average APE	0	2.618
							Max APE	0	12.000

In this sample problem, the effects of the sensitivity in membership iterations, the analysis dimension used in the analyzes and the amount of acceptable error for the desired output on internal error and external error in fuzzy inverse logic analysis were also investigated. In order to that the results obtained from these studies do not take too much place in the article, it is preferred to present them in the following part of the article with the help of graphics rather than in tables as above.

2D analyses with % 0 acceptable error were performed to reveal the effect of the change in membership sensitivity on the number of solutions and on the solution errors in FIL computations. As a result of the analysis; The number of solutions obtained depending on the membership sensitivity in the iterations within the FIL operations are given in Figure 5. As can be understood from this figure, the smaller change in the membership value in membership iterations, that is, the higher the sensitivity, the more solutions can be obtained. As the sensitivity decreased, the number of solutions decreased. This is an expected result and a point to be considered in FIL analysis.

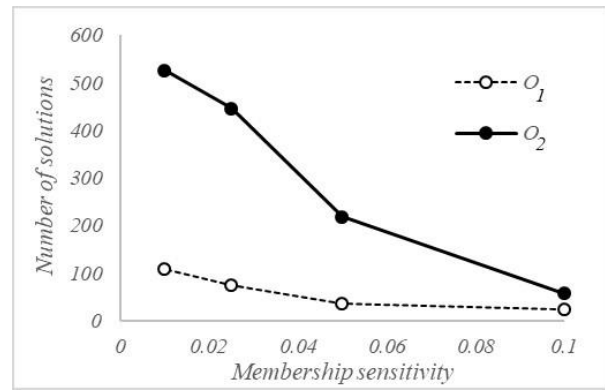


Figure 5. Number of solutions depending on the membership sensitivity

The effects of different membership sensitivities on internal errors (maximum internal error and average internal error) between output values obtained in fuzzy solutions and desired output values are shown in Figure 6a. Similarly, the effects of different membership sensitivities on external errors (maximum internal error and average internal error) between mathematical outputs and targeted desired output values are graphically shown in Figure 6b. As it can be understood from Figure 6a and Figure 6b that the analyzes with very high sensitivity produced bigger internal errors and externals error. This shows that studying with extreme sensitivity in FIL computations has not always produce good results.

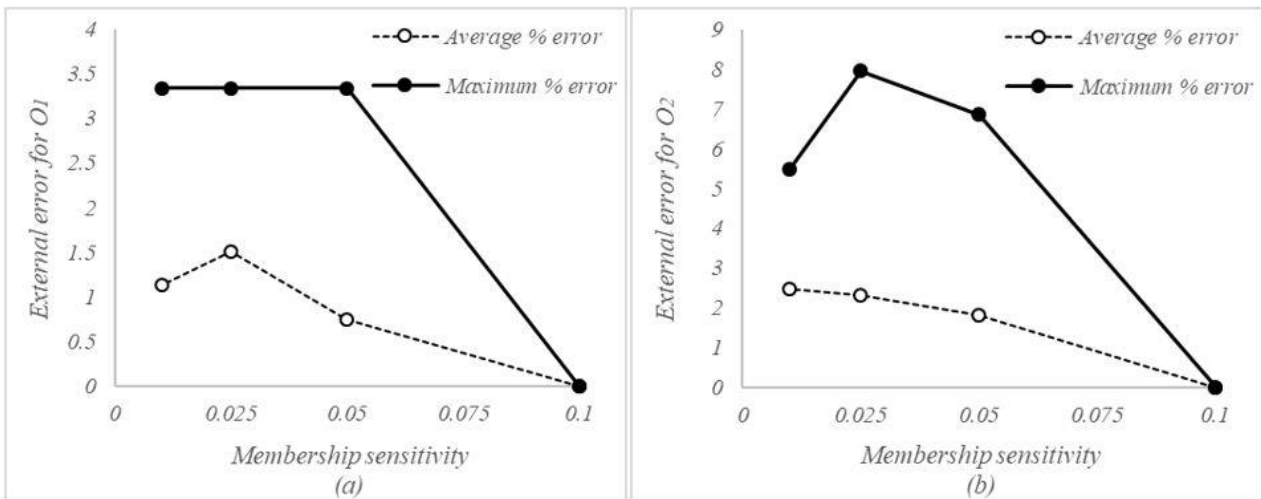


Figure 6. Average and maximum external error variation in O₁ and O₂ outputs depending on the membership sensitivity.

In addition to all these, working with extreme sensitivity also causes too much iteration and prolonging the solution time in FIL computations. Therefore, considering all the graphs of Figure 4, Figure 5a and Figure 5b, it can be said that 0.1 value for the membership sensitivity appropriate for this example problem. This does not mean that

membership sensitivity values less than 0.1 cannot be used in FIL computations in this example.

Because, if the graphs are examined carefully, it can be seen that the absolute average % error in the solutions produced by FIL is within acceptable limits even for high sensitivity. The fact that the

maximum error values at the same level of sensitivity are different (greater) than the average error indicates that the FIL may also produce erroneous results at these levels of sensitivity and the user should be careful. Here, it is important to underline that it is not the FIL method or the sensitivity value that caused the error, but the inadequate and poor modelled of the FL model used. Especially if the local minimum and local maximum solution regions of the problem are not modeled well and sensitively, greater errors can be seen in FL and therefore in FIL computations. On the other hand, it is a fact that many studies are needed to reveal whether there is a general approach in order to determine the sensitivity of membership correctly and how it should be.

An effect of membership sensitivity on internal errors has not been determined. Because all internal errors were obtained as zero. This result can be interpreted as, at least in this sample problem, membership sensitivity has no effect on internal errors. In order to generalize this result, FIL needs to be applied to many problems.

The effect of the acceptable error amount for the desired output on the number of solutions is given in Figure 7 in this problem. As can be easily seen from this figure, as the acceptable error level increases for the desired output values, the number of solutions obtained from FIL also increases. This is because solutions that cannot be obtained at a smaller error level with small differences can also be obtained at a bigger acceptable error level, and the problem has other solutions in the larger acceptable error limits.

The effect of the acceptable error amount for the desired output on the internal error and external error values of the O_1 output is given in Figure 8a and Figure 8b, and the effect on the internal error and external error values of the O_2 output is given in Figure 9a and Figure 9b, respectively. As it can be understood from these Figures, as the acceptable error level for the desired output increases, the amount of internal error and external error calculated as a result of FIL analysis naturally increases. It is worth mentioning that the value of the amount of internal errors and external errors is of great importance whether the FL model used in the FIL is well designed or not.

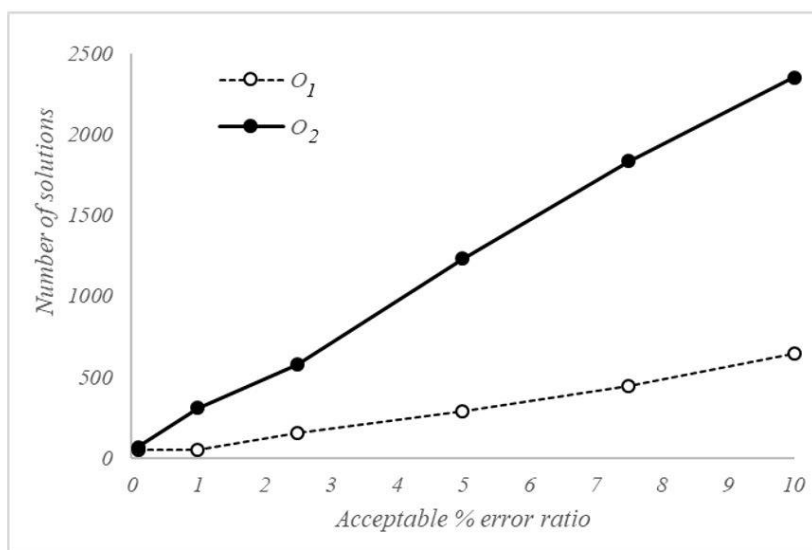


Figure 7. The number of solutions obtained depending on the different acceptable error ratios for O_1 and O_2 outputs.

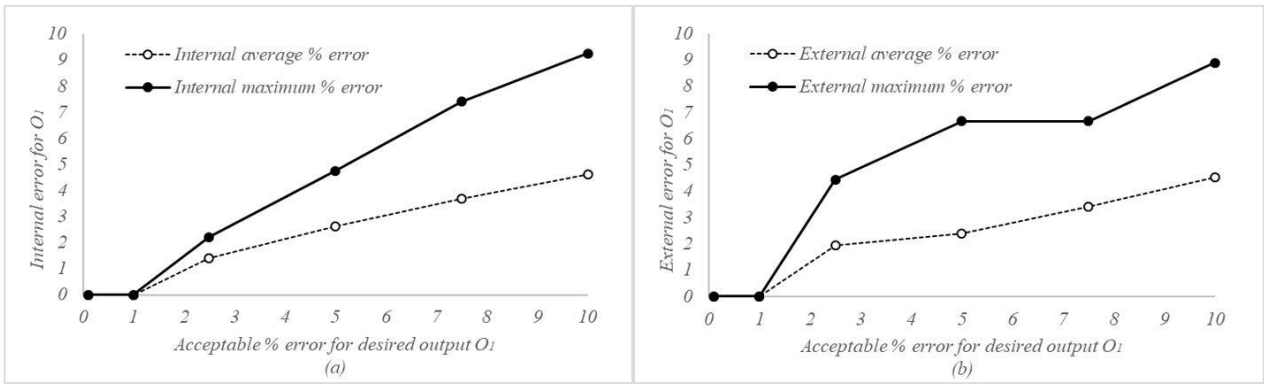


Figure 8. Variations of internal and external % errors with acceptable % error for O_1 output

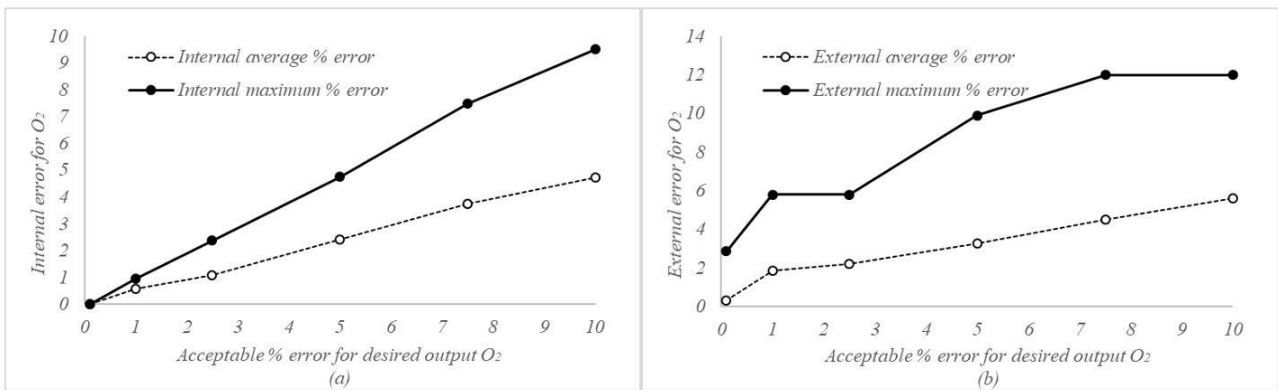


Figure 9. Variations of internal and external % errors with acceptable % error for O_2 output

Depending on the analysis dimension, variation in the number of solutions and variations in average and maximum external error values were also investigated for this example, and they are given in Figure 10 and Figure 11 a and Figure 11 b respectively. These investigations were presented by graphics for only external errors because of the internal errors were obtained as 0 for all analysis dimensions.

Figure 10 clearly shows that as the number of dimensions increases, the number of solutions increases. This is an expected result. In Figure 11 a and Figure 11 b, it is seen that output errors increase significantly with the increase in analysis dimension. After 1D, 2D and 3D analyzes, although there were significant increases in external error values as the dimension increased, the average external error values remained within acceptable limits for both outputs. However, the maximum external error value has reached or exceeded the acceptable limits.

In the light of all these, it can be said that increasing the analysis dimension causes a serious increase in the amount of external errors. The reason for this is that fuzzy modeling errors in each dimension affect each other and cause much larger errors. If it is

required to express more clearly, not creating a fuzzy model with sufficient sensitivity and accuracy led to bigger external errors.

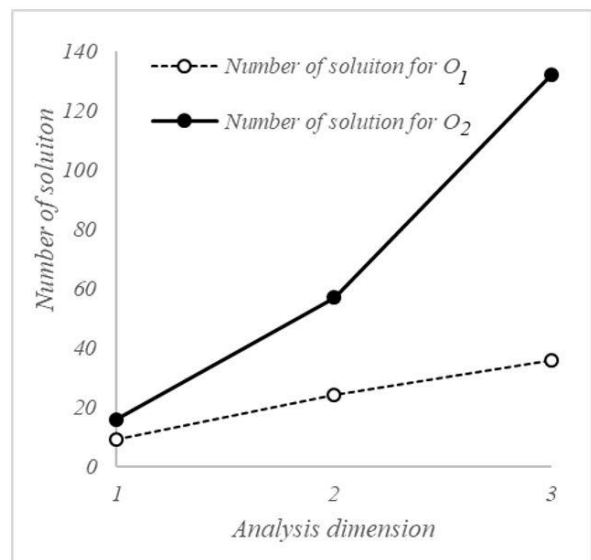


Figure 10. Number of solutions depending on analysis dimension

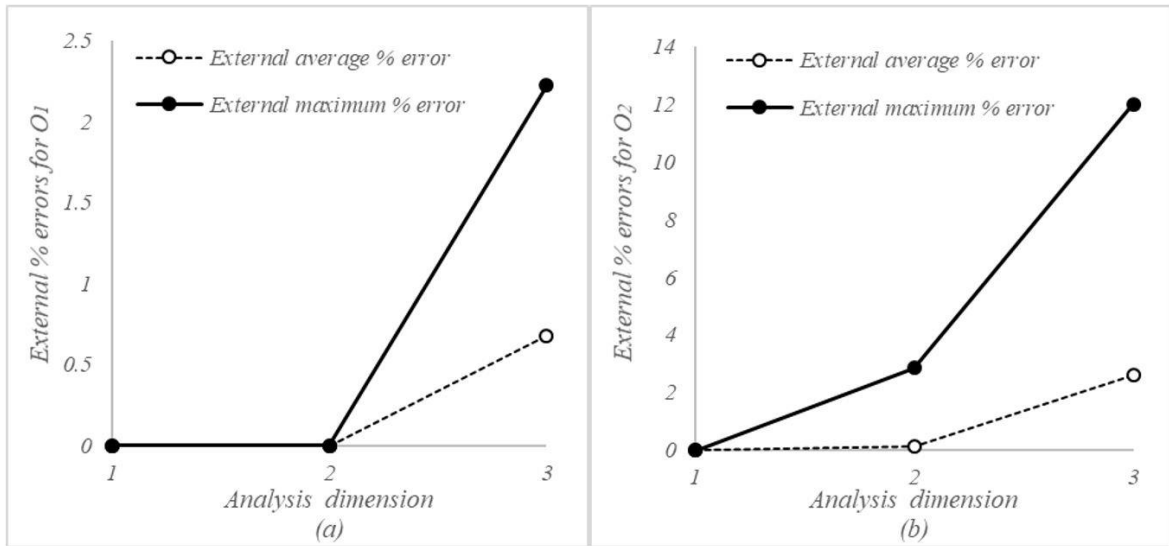


Figure 11. Variation of External % errors depending on analysis dimension for O₁ and O₂

On the other hand, it is very natural to have internal error values as 0. Because, FIL computations are configured to obtain input parameters with 0% error in this example. In other words, regardless of the errors in the fuzzy model, even if the error in a fuzzy logic model is not sensitive enough, FIL method focuses on computing the input parameters with 0% error to reach the desired output value. This situation actually provides a great advantage for control problems. On the other hand, a serious increase in external errors depending on analysis dimension can constitute a significant risk for designs in engineering problems. The only way to prevent this risk is to construct very sensitive fuzzy models and to seriously test them.

If it needs to evaluate this situation from the opposite perspective, one way to find out if a fuzzy

model has been constituted well may be to apply the FIL method on this FL model.

2.2. Application of the FIL method on problem-2 (Designing of a cantilever beam according to the ASD method under bending moment and shear forces by FIL method)

Bending moment and shear force diagrams drawn for a cantilever beam loaded with two concentrated loads are presented in Figure 12. In the light of the information given in Figure 12, design this beam as I shaped section by using St 37 graded steel material ($\sigma_{em} = 141 \text{ N/mm}^2$ and $\tau_{em} = 82 \text{ kN}$) accordance with the ASD method.

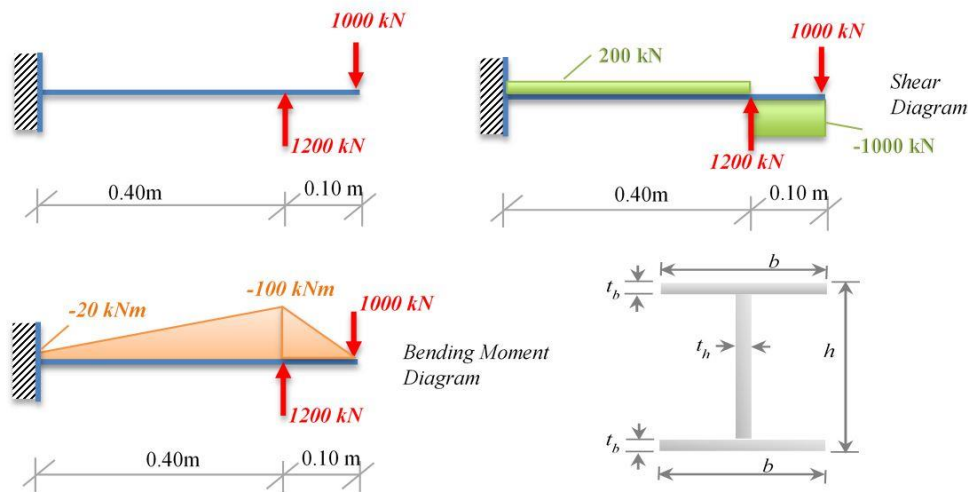


Figure 12. An I shaped cantilever beam subjected two concentrated loads

2.2.1. Mechanical design

As seen from Figure 12 the maximum absolute bending moment values is $M_{max} = 100$ kNm and the maximum absolute shear force value is $V_{max} = 1000$ kN on this beam. Therefore, a design that can safely bear both bending and shearing effects is required.

2.2.1.1. Design for $V_{max} = 1000$ kN

$$\tau_{em} \leq \frac{V_{max}}{F} \rightarrow F = \frac{V_{max}}{\tau_{em}} \rightarrow F = \frac{1000 \times 10^3 N}{82 N/mm^2} \rightarrow F = 12195.122 mm^2$$

In the mechanical design, after the minimum area that can bear the effect of the shear force is determined as $F = 12195.122 mm^2$ as above, the cross section dimensions that will provide this area are tried to be determined by trial and error computations or a profile section is selected from the ready-made profile tables. As an example, the cross section dimensions can be determined as $b=80$ mm, $t_b = 20$ mm, $h=300$ mm, $t_h=30$ mm for $F=12200 mm^2$ after a lot of trial and error computations.

2.2.1.2. Design for $M_{max} = 100$ kNm

$$\sigma_{em} \leq \frac{M_{max}}{W} \rightarrow W = \frac{M_{max}}{\sigma_{em}} \rightarrow F = \frac{100 \times 10^6 Nmm}{141 N/mm^2} \rightarrow W = 709219.858 mm^3$$

Here W is elastic section modulus and can be calculated by $W=I/d$ (I: moment of inertia and d: the distance of the farthest point on a cross section to center of gravity of the section).

In the mechanical design, after the elastic section modulus for $M=100$ kNm is determined as $W =$

$709219.858 mm^3$ as above, the cross section dimensions that will provide this area are tried to be determined by trial and error computations or a profile section is selected from the ready-made profile tables. As an example, the cross section dimensions can be determined as $b=80$ mm, $t_b = 20$ mm, $h=300$ mm, $t_h=30$ mm for $W=711778 mm^3$ after a lot of trial and error computations.

2.2.2. Solution by FIL

2.2.2.1. Constitution of FL model for problem-2

For this design problem, a FL model is constituted as described below. Since the design is going to be performed according to the known steel grade and I-shaped cross section of the beam, there are 4 parameters to be determined for design in this problem. These are b , t_b , h and t_h the parameters that define the beam cross section.

In this problem, the FL model was constituted in such a way that these four parameters constitute the input parameters of the model and the M bending moment and V shear force constitute the output parameters. Since the input parameters are the same for both outputs, there is no need to constitute two different FL separate models. During the constitution of the FL model, fuzzy sets belong to input and output parameters were constituted by using triangle membership functions. In Figure 13a, Figure 13b, Figure 14a and Figure 14b, fuzzy sets for input parameters of b , t_b , h and t_h are given respectively. For the M and V outputs, 588 and 69 fuzzy sets were constituted, respectively. These fuzzy sets are constituted from M and T values calculated with the help of structural mechanics analyses for all combinations of 4 input parameters. Since a large number of fuzzy sets belonging to these two outputs were constituted, they could not be given as tables and graphics in this study.

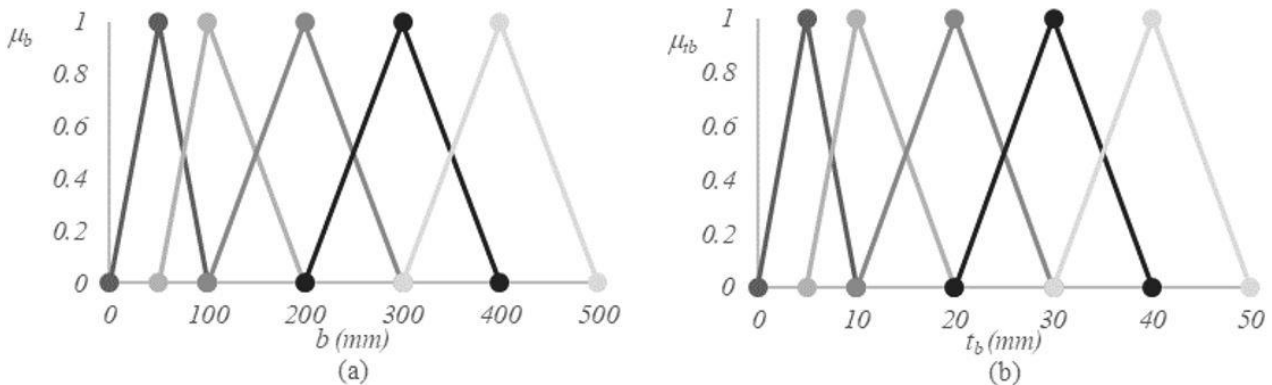


Figure 13. Fuzzy sets for b and t_b parameters

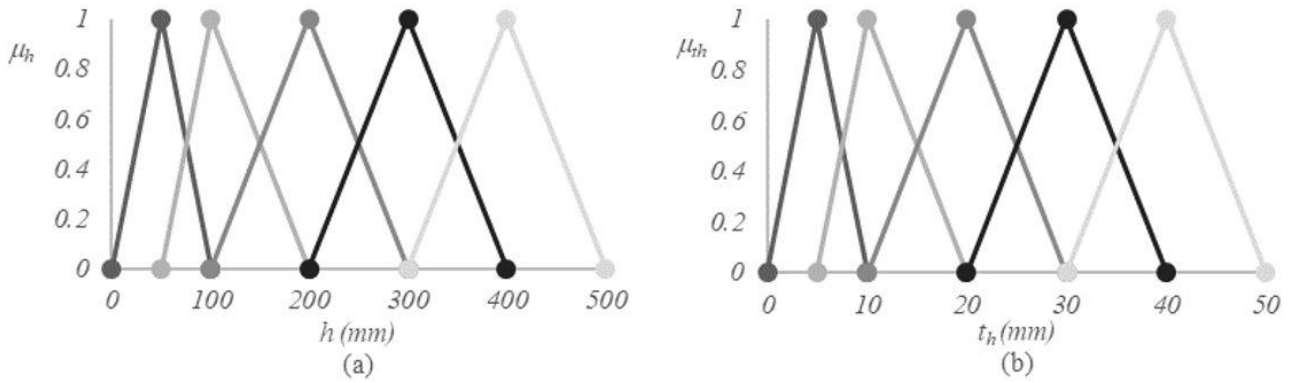


Figure 14. Fuzzy sets for h and t_h parameters

In this problem, 625 rules were constituted for each of the M and V outputs. The WAM method was used for de-fuzzification in the constituted fuzzy model. The model is tested for 81 different samples given in Table 8 for each output. While correlation was $R = 0.9996$ and correlation coefficient was $R^2 = 0.9993$ for the M output in the test results, the

correlation and the correlation coefficient were obtained as $R=0.9999$ and $R^2 =0.9999$ respectively for V output. For the M and V output, the absolute average percent error was calculated as 0.724 and 0.256, respectively, and the absolute maximum percent error was calculated as 3.557 and 0.811, respectively.

Table 8. Test data for FL in problem 2

No	Variable Parameters				Mathematical Solution		FIL Solution		Absolute Percent Error	
	b	t_b	h	t_h	M	V	M	V	E_M	E_V
1	150	15	150	15	42.765	553.5	42.994	549.016	0.535	0.810
2	150	15	150	25	45.473	676.5	46.451	675.503	2.151	0.147
3	150	15	150	35	48.180	799.5	49.820	795.514	3.404	0.499
4	150	15	250	15	85.189	676.5	85.076	675.503	0.133	0.147
5	150	15	250	25	95.199	881.5	95.911	883.493	0.748	0.226
6	150	15	250	35	105.208	1086.5	106.532	1084.507	1.259	0.183
7	150	15	350	15	134.794	799.5	134.715	795.514	0.059	0.499
8	150	15	350	25	156.795	1086.5	157.480	1084.507	0.437	0.183
9	150	15	350	35	178.797	1373.5	180.034	1369.514	0.692	0.290
10	150	25	150	15	58.163	799.5	58.766	799.002	1.038	0.062
11	150	25	150	25	59.729	922.5	61.079	921.005	2.260	0.162
12	150	25	150	35	61.296	1045.5	63.250	1042.012	3.189	0.334
13	150	25	250	15	118.793	922.5	118.781	921.005	0.010	0.162
14	150	25	250	25	126.313	1127.5	127.173	1125.009	0.681	0.221
15	150	25	250	35	133.833	1332.5	135.274	1327.019	1.077	0.411
16	150	25	350	15	187.077	1045.5	186.896	1042.012	0.097	0.334
17	150	25	350	25	205.205	1332.5	205.509	1327.019	0.148	0.411
18	150	25	350	35	223.334	1619.5	224.292	1612.026	0.429	0.461
19	150	35	150	15	68.484	1045.5	69.721	1046.497	1.807	0.095
20	150	35	150	25	69.286	1168.5	71.153	1169.497	2.695	0.085
21	150	35	150	35	70.088	1291.5	72.581	1288.510	3.557	0.231
22	150	35	250	15	146.304	1168.5	146.552	1169.497	0.169	0.085
23	150	35	250	25	151.787	1373.5	152.619	1374.497	0.548	0.073
24	150	35	250	35	157.269	1578.5	158.946	1575.510	1.067	0.189
25	150	35	350	15	232.833	1291.5	232.767	1288.510	0.028	0.231
26	150	35	350	25	247.573	1578.5	248.207	1575.510	0.256	0.189
27	150	35	350	35	262.312	1865.5	263.705	1860.517	0.531	0.267
28	250	15	150	15	68.568	799.5	68.358	799.002	0.307	0.062
29	250	15	150	25	71.276	922.5	71.740	921.005	0.651	0.162
30	250	15	150	35	73.983	1045.5	75.076	1042.012	1.478	0.334
31	250	15	250	15	131.973	922.5	131.304	921.005	0.507	0.162
32	250	15	250	25	141.982	1127.5	142.133	1125.009	0.106	0.221
33	250	15	250	35	151.991	1332.5	152.752	1327.019	0.501	0.411
34	250	15	350	15	202.655	1045.5	202.408	1042.012	0.122	0.334
35	250	15	350	25	224.657	1332.5	225.109	1327.019	0.201	0.411

Table 8. Continued

Solution No	Mathematical Solution					FIL Solution		Absolute Percent Error		
	<i>b</i>	<i>t_b</i>	<i>h</i>	<i>t_h</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>E_M</i>	<i>E_V</i>
36	250	15	350	35	246.658	1619.5	247.412	1612.026	0.305	0.461
37	250	25	150	15	95.371	1209.5	95.868	1214.981	0.522	0.453
38	250	25	150	25	96.938	1332.5	98.170	1330.507	1.272	0.150
39	250	25	150	35	98.504	1455.5	100.439	1451.016	1.964	0.308
40	250	25	250	15	190.468	1332.5	189.854	1330.507	0.322	0.150
41	250	25	250	25	197.988	1537.5	198.216	1528.033	0.115	0.616
42	250	25	250	35	205.508	1742.5	206.658	1734.528	0.560	0.458
43	250	25	350	15	293.666	1455.5	292.954	1451.016	0.243	0.308
44	250	25	350	25	311.795	1742.5	311.425	1734.528	0.119	0.458
45	250	25	350	35	329.923	2029.5	330.131	2019.036	0.063	0.516
46	250	35	150	15	113.337	1619.5	114.940	1627.970	1.414	0.523
47	250	35	150	25	114.140	1742.5	116.466	1746.486	2.038	0.229
48	250	35	150	35	114.942	1865.5	118.016	1862.012	2.675	0.187
49	250	35	250	15	238.359	1742.5	238.155	1746.486	0.085	0.229
50	250	35	250	25	243.841	1947.5	244.238	1947.002	0.163	0.026
51	250	35	250	35	249.323	2152.5	250.850	2146.023	0.613	0.301
52	250	35	350	15	373.316	1865.5	372.279	1862.012	0.278	0.187
53	250	35	350	25	388.056	2152.5	387.618	2146.023	0.113	0.301
54	250	35	350	35	402.795	2439.5	404.248	2438.005	0.361	0.061
55	350	15	150	15	94.371	1045.5	93.691	1046.497	0.721	0.095
56	350	15	150	25	97.079	1168.5	96.847	1169.497	0.238	0.085
57	350	15	150	35	99.786	1291.5	100.282	1288.510	0.497	0.231
58	350	15	250	15	178.757	1168.5	177.686	1169.497	0.599	0.085
59	350	15	250	25	188.766	1373.5	188.331	1374.497	0.231	0.073
60	350	15	250	35	198.775	1578.5	198.716	1575.510	0.030	0.189
61	350	15	350	15	270.517	1291.5	270.200	1288.510	0.117	0.231
62	350	15	350	25	292.518	1578.5	292.938	1575.510	0.144	0.189
63	350	15	350	35	314.519	1865.5	314.803	1860.517	0.090	0.267
64	350	25	150	15	132.579	1619.5	132.910	1627.970	0.250	0.523
65	350	25	150	25	134.146	1742.5	134.900	1746.486	0.562	0.229
66	350	25	150	35	135.713	1865.5	137.291	1862.012	1.163	0.187
67	350	25	250	15	262.143	1742.5	260.999	1746.486	0.436	0.229
68	350	25	250	25	269.663	1947.5	269.175	1947.002	0.181	0.026
69	350	25	250	35	277.183	2152.5	277.505	2146.023	0.116	0.301
70	350	25	350	15	400.255	1865.5	398.938	1862.012	0.329	0.187
71	350	25	350	25	418.384	2152.5	417.862	2146.023	0.125	0.301
72	350	25	350	35	436.513	2439.5	437.617	2438.005	0.253	0.061
73	350	35	150	15	158.191	2193.5	160.291	2209.444	1.328	0.727
74	350	35	150	25	158.993	2316.5	161.511	2324.970	1.584	0.366
75	350	35	150	35	159.795	2439.5	163.201	2436.012	2.131	0.143
76	350	35	250	15	330.413	2316.5	330.029	2324.970	0.116	0.366
77	350	35	250	25	335.895	2521.5	335.775	2526.483	0.036	0.198
78	350	35	250	35	341.377	2726.5	342.483	2725.005	0.324	0.055
79	350	35	350	15	513.799	2439.5	512.103	2436.012	0.330	0.143
80	350	35	350	25	528.539	2726.5	527.189	2725.005	0.255	0.055
81	350	35	350	35	543.278	3013.5	545.060	3018.483	0.328	0.165
Average Absolute Percent Error									0.724	0.256
Maximum Absolute Percent Error									3.557	0.810

The validation of the fuzzy model has been proven with these values of R , R^2 , errors given Table 8. The studies carried out up to this point are the applications of a typical fuzzy logic on this problem. The next process is the determination of the b , t_b , h , and t_h dimensions of the I shaped cross-section for $M_{max} = 100$ kNm and $V_{max} = 1000$ kN using the FIL method. Since the de-fuzzification method of the WAM method is used in the FL model, the same method is also used in the FIL studies in this study.

2.2.2.2. Application of FIL method on FL model constituted for problem 1

When $M_{max} = 100$ kNm bending moment value is entered as desired output into the program prepared for FIL method, b , t_b , h , and t_h values were not obtained for % 0 error and membership sensitivities of 0.1, 0.05, 0.025, 0.01, 0.001. It can be said that the reason for this depends on the level of sensitivity and problem structure and problem outputs. In other words, for the analysis with 0% error, it is required to study with much smaller

sensitivities mathematically. Especially for outputs with multi-digit values after the comma, the sensitivity should be quite high in order to perform FIL studies with 0% error. In this problem, since the definitions of fuzzy output sets were made with multi-digit numbers after the comma, it is a very natural result that solutions cannot be found with the above mentioned sensitivity levels and for 0% error in the light of these explanations. This is an indication that the fuzzy model developed for this problem could not be constituted well. When the error amount is taken as 0.1% instead of 0% , the sensitivity is taken as 0.1 and the FIL program is run, the FIL method produced results. In other words, even if the sensitivity is not high, solutions can be reached with a small increase in the amount of error. Thus, during the evaluation of this sample, the efficiency of FIL was tried to be investigated for the error 0.1% and for the membership sensitivity 0.1 in this problem.

Since there are 4 input parameters such as h , t_h , b and t_b in this problem, maximum 4 dimensional (4D) solutions can be made in this problem. For this reason, 1D, 2D, 3D and 4D computations were made by taking the error 0.1% and the membership sensitivity 0.1, 11, 165, 1056 and 2609 solutions and for the M output and 74, 442, 1794 and 4342 solutions for the V output were obtained respectively. The graphic regarding the number of results obtained from these solutions is given in Figure 15. Since the results obtained from these

analyses are too many, only 1D solution results and internal and external errors for M and V outputs are given as example solutions in Table 9 and Table 10, respectively.

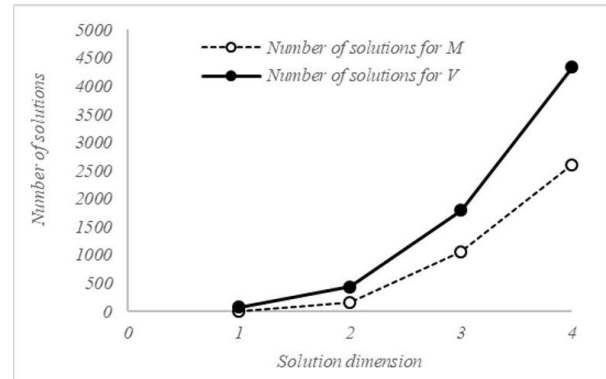


Figure 15. Number of solutions depending on solution dimension

As seen in Figure 15, as in the previous example, the number of solutions increased with the increase in analysis(solution) dimension. It can be clearly seen from this figure that the number of solutions obtained for output V is higher than the number of solutions obtained for output M. The main factors in obtaining this result are the structure of the problem, the desired value of the output parameter and the number of fuzzy sets in the FL model for this parameter.

Table 9. 1D solution for $M_{max}=100$ kNm in problem 2

Solution No	b	t_b	h	t_h	Mechanical Solution	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
								$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	55	30	300	40	100.082	100.082	100	0.082	0.000
2	65	40	300	20	99.941	99.941	100	0.059	0.000
3	110	5	400	20	99.951	99.951	100	0.049	0.000
4	50	16	400	20	100.164	99.977	100	0.023	0.187
5	50	5	320	40	98.442	99.946	100	0.054	1.528
6	100	40	240	10	99.264	100.008	100	0.008	0.750
7	200	40	150	30	96.615	100.082	100	0.082	3.588
8	400	5	260	20	98.781	99.911	100	0.089	1.144
9	100	20	300	19	99.980	99.980	100	0.020	0.000
10	200	20	200	17	99.926	99.926	100	0.074	0.000
11	400	5	300	9.5	99.961	99.961	100	0.039	0.000
Average APE								0.053	0.654
Max APE								0.089	3.588

Table 10. 1D solution for $V_{max}=1000$ kN in problem 2

Solution No	b	t _b	h	t _h	Mechanical Solution	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
								$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
1	80	20	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
2	70	30	200	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
3	70	30	400	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
4	160	10	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
5	170	30	50	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
6	170	30	100	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
7	170	30	200	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
8	170	30	400	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
9	140	40	50	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
10	140	40	100	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
11	140	40	200	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
12	210	10	200	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
13	210	10	400	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
14	280	20	50	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
15	280	20	100	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
16	230	20	100	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
17	280	20	200	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
18	230	20	300	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
19	320	5	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
20	310	10	200	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
21	310	10	300	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
22	50	32	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
23	100	16	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
24	100	21	200	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
25	100	21	400	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
26	100	31	200	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
27	100	31	300	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
28	200	8	300	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
29	200	28	50	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
30	200	28	100	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
31	200	23	100	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
32	200	28	200	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
33	200	23	300	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
34	300	7	200	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
35	300	7	400	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
36	300	17	50	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
37	300	17	100	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
38	300	17	200	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
39	300	17	400	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
40	400	14	50	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
41	400	14	100	10	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
42	400	14	200	5	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
43	50	5	390	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
44	50	10	280	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
45	50	20	340	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
46	50	30	230	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
47	100	5	280	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
48	100	10	340	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
49	100	30	310	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
50	100	40	140	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
51	100	40	210	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
52	200	5	340	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
53	200	20	140	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
54	200	20	210	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
55	300	5	230	40	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
56	300	10	310	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
57	400	10	140	30	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
58	400	10	210	20	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
59	50	5	300	39	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
60	50	10	400	28	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
61	50	20	300	34	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
62	50	30	400	23	1000.4	1000.4	1000	0.04	0

Table 10. Continued

Solution No	b	t _b	h	t _h	Mechanical Solution	FIL Solution (FILS)	Desired Value (DV)	Internal APE	External APE
								$\frac{ FILS - DV }{DV} \times 100$	$\frac{ MS - DV }{DV} \times 100$
63	100	5	400	28	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
64	100	10	300	34	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
65	100	30	200	31	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
66	100	40	200	21	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
67	100	40	300	14	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
68	200	5	300	34	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
69	200	20	200	21	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
70	200	20	300	14	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
71	300	5	400	23	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
72	300	10	200	31	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
73	400	10	200	21	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
74	400	10	300	14	1000.4	1000.4	1000	0.04	0
Average APE								0.04	0
Max APE								0.04	0

While the number of solutions increases depending on the analysis dimension, a serious increase can be seen in the solution time. As can be seen in Figure 16 for Problem-2, the increase in the number of dimensions caused a serious increase in the solution time. Other parameters that may affect the solution time, fuzzy set numbers of input and

output parameters, number of rules, acceptable error amounts, sensitivity level in the FIL and etc. It is worth noting here that, Figure 16 shows the time spent in the solutions implemented simultaneously for M and V in the program developed within the scope of this study.

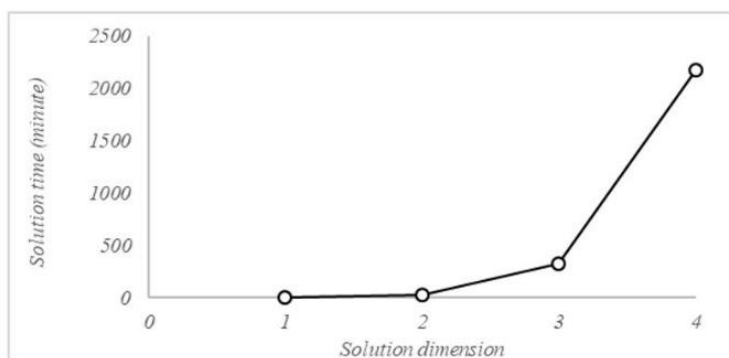


Figure 16. Solution time depending upon analysis dimension

Internal and external errors depending on the solution size are given in Figure 17 and Figure 18 for output M, and in Figure 19 and Figure 20 for the output of V, respectively. As seen in Figure 17 and Figure 19, the maximum internal error for both outputs is below 0.1% and the average internal error is around 0.05%. This is an indication that FIL can provide solutions within the desired sensitivity and error limits.

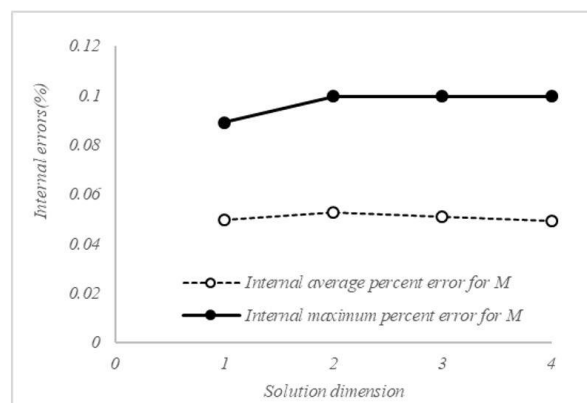


Figure 17. Internal percent errors for M output

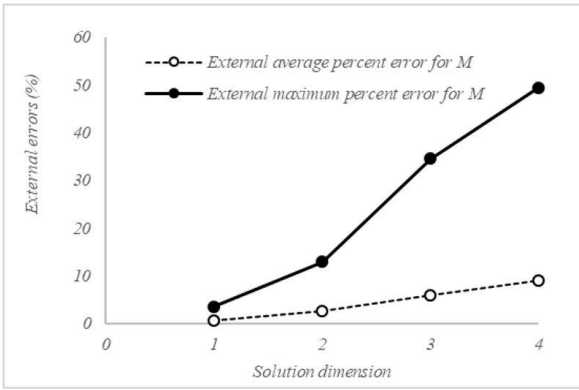


Figure 18. External percent errors for M output

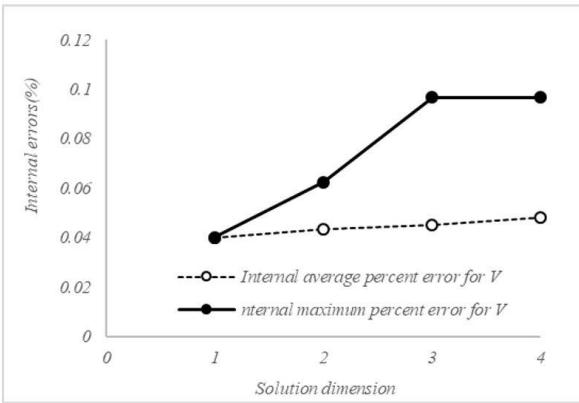


Figure 19. Internal percent errors for V output

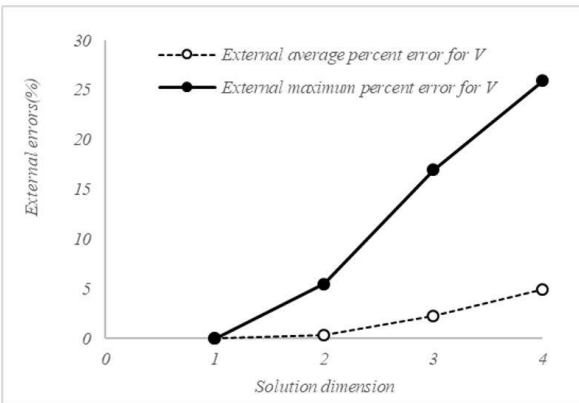


Figure 20. External percent errors for V output

When Figure 18 is examined, using the input parameter values obtained by FIL, the desired M output were computed with an average external error of 0.72%, 2.584%, 5.941 and 8.999% in 1D, 2D, 3D and 4D analyzes respectively. These results prove that FIL produces good results. On the other hand, on the same figure, it is seen that the desired M output is computed with a maximum of 3.588%, 12.983%, 34.589% and 49.461% external error in 1D, 2D, 3D and 4D analyzes, respectively. Considering these maximum errors, it has been

revealed that not all of the solutions produced by FIL are correct and although the average error values seem reasonable, as the number of analysis dimension increases some solutions may be not correct enough. Especially in multi-dimensional analyzes, mistakes made in FL model for each dimension before or not being sensitive enough during the constitution of FL model play an important role in obtaining the desired results that are not accurate. With the more sensitive constitution of the FL model, it is possible to reduce the max external errors and thus obtain very low values in the average error. The sensitivity of the FL model should be increased especially at solution points corresponding to local minimums and local maximums. In short, since the FIL method is based on FL, the sensitivity and errors in the results obtained in FIL are directly related to the FL model.

When Figure 20 is examined, it can be immediately noticed that the comments made for the M output are valid for the V output. In this figure, the maximum average and maximum errors for the V output were obtained as 4.936% and 25.954%, respectively, in 4 dimensional analyses. In Figure 18, these values for the M output are approximately twice (8.999% and 49.461%) that of the V output. Here, if the average errors can be reduced below 1%, it is foreseen that the maximum errors may remain within acceptable limits.

In this problem, the solution capability of FIL is also examined depending on the acceptable output error. For this purpose, the number of 1D dimensional solutions obtained in FIL depending on the acceptable amount of error is given in Figure 21 for both outputs. As can be seen from this figure, as the amount of acceptable output error increased, the number of solutions increased. As a result of the 1D analyses for the acceptable error amount of 0.1%, 1%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10%, 11, 94, 234, 451, 633 and 810 solutions for the M output, 74, 120, 396, 722, 922 and 1190 solutions for the V output were obtained respectively. These results, which is an expected situation, are due to the fact that the solutions that could not be obtained at the previous error level with small differences can be obtained at the increasing acceptable error level, and the problem has other solutions within the acceptable error limits, as stated in Problem 1. The main factors in obtaining more solutions for the output V are the structure of the problem, the desired value of the output parameter and the number of fuzzy sets in the FL model for this parameter.

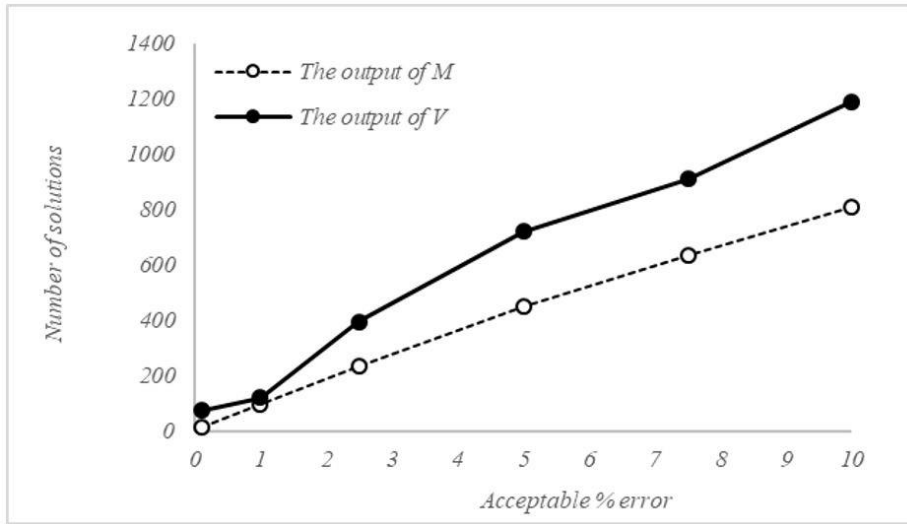


Figure 21. The number of solutions depended on acceptable error level

Depending on the acceptable error values for the M and V outputs, the average and maximum internal and external errors in the analysis obtained in the FIL are given in Figure 22, Figure 23, Figure 24 and Figure 25. As can be seen from Figure 22 and Figure 24, the maximum and average internal errors obtained for the M and V output parameters increased with the increase of the acceptable output error value. This is an expected natural result. The fact that the maximum internal errors are lower than the acceptable error levels shows the efficiency of the FIL method in 1D analysis. On the other hand, for M, the external average error was about 0.5% and the external maximum error was

about 4% (See Figure 23). Despite the increase in acceptable output error for V, the maximum and average external errors were obtained as 0% (See Figure 25). In other words, with the values of the input parameters determined by the FIL method for V, even at different acceptable error levels, results that are perfectly suitable for the mathematical solution were obtained. This demonstrates that the FIL method produces 100% accurate results at acceptable output error levels (0.1% -10% in this problem) for the V output and how effective it can be for low dimensional analyses (1D in this problem) in sensitive FL models.

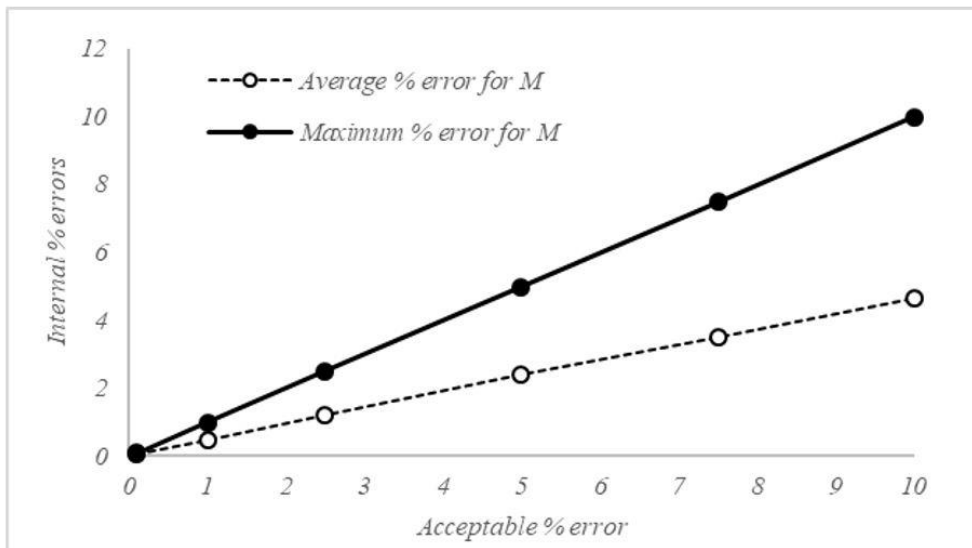


Figure 22. Average and maximum internal % errors in FIL for M depending on acceptable output error value

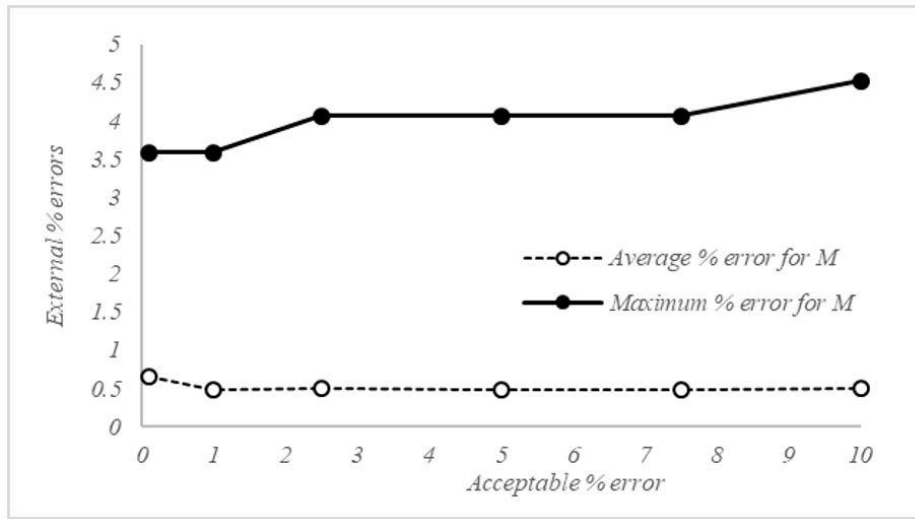


Figure 23. Average and maximum external % errors in FIL for M depending on acceptable output error value

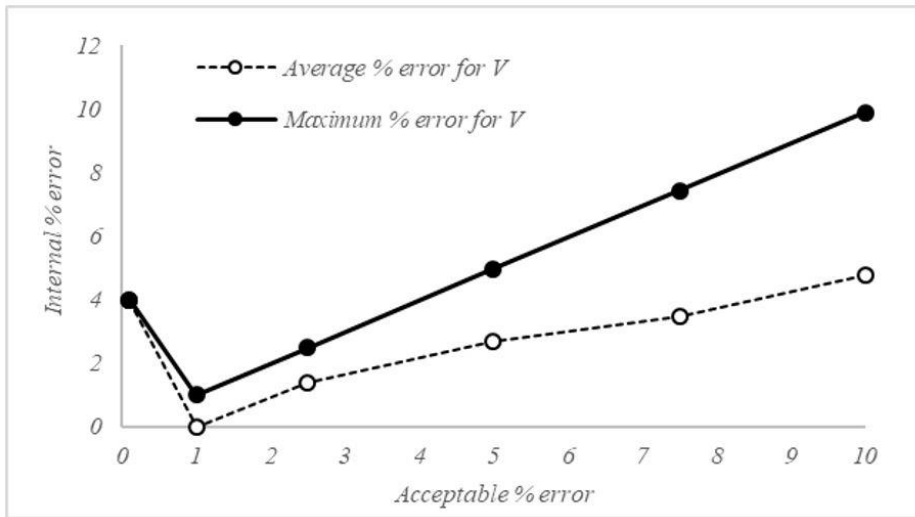


Figure 24. Average and maximum internal % errors in FIL for V depending on acceptable output error value

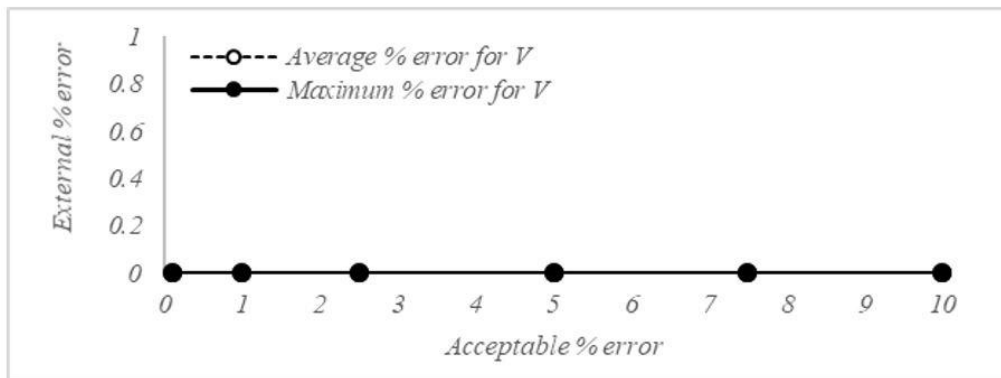


Figure 25. Average and maximum external % errors in FIL for V depending on acceptable output error value

When the dimension and error analysis results are considered together, for example, solutions with

big maximum external error values are obtained even at 0.1% acceptable output error level in 4D

solutions. This reveals that it is necessary to be very careful in using the FIL method in big dimensional analyzes. This not shows that FIL is not effective in big dimensional analyzes. This means that, the FIL method can only be used with very sensitive FL models in big dimensional analyzes (in multi-parameter problems). Errors that occur in FIL analysis are not caused by the FIL method. These errors are the errors of the FL model used with the FIL method.

Since the solutions based on sensitivity are examined in problem 1, there are no discussions based on sensitivity in problem 2.

3. Summary, conclusions and suggestions

In this study published in two parts, similar to the FL method which was developed by using forward-oriented inferences (from variables toward results) made by the human being, the FIL method has been tried to be improved by the inspiration from the backward (from results toward variables).

During the development of the FIL method, it was understood that it could be used and improved with many different methods. However, since this study is mainly aimed at introducing the method, it has been tried to be explained as simple as possible without going into too much detail.

Considering all the evaluations and examinations made above on these two problems, the following points can be summarized for FIL.

- 1 - The FIL method is based on FL.
- 2 - There is no need to constitute special data for the FIL. It can be applied on a FL model directly.
- 3 - A large number of alternative solutions can be obtained as a result of an FIL analysis.
- 4 - FIL can produce very effective results in small dimensional analysis.
- 5 - Very sensitive FL models should be constituted for big dimensional (multi-parameter) analyzes of FIL, and FIL should be used carefully for big dimensional analysis.

The following results and suggestions can be written considering the overall study.

- 1 - Considering internal error evaluations, it is predicted that FRL can be used very effectively in control problems.
- 2 - Since the FIL method can be applied on fuzzy logic models constituted for problems with multiple outputs, it is thought that it can also be used in optimization studies.

Finally, the biggest result obtained from this study is that inferences similar to the backward inferences made by human beings can be achieved with the FIL method. The fact that more than one result can be reached in backward inferences in the method explains why human beings have difficulty in making backward inferences. However, in order to be able to perform backward inference successfully by FIL method, there is a need for a well-developed FL model that can calculate with very low errors. This reveals that more mistakes can be made in backward inferences in situations where human beings have not experienced very well and explains why people do not prefer to make backward inferences much. The fact that the same data can be used in forward and backward inference in FL and FIL methods, just as human beings use, shows that the combined use of these two methods will support and reinforce each other in the field of artificial intelligence. In addition to all these, it can be easily said that the FIL method can be supported and developed with many methods and algorithms in the future and can be used successfully in many areas together with the FL method.

References

- Altaş, İ. H. (1999a). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85.
- Altaş, İ. H. (1999b). Bulanık mantık: Bulanık denetim. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 64(1999), 76-81.
- Altaş, I. H. (2017). *Fuzzy Logic Control in Energy Systems with Design Applications in MATLAB®/Simulink®* (91). IET.
- Chopard, B. and Droz, M. (1998). *Cellular automata* (Vol. 1). Berlin, Germany: Springer.
- Cvijović, D. and Klinowski, J. (1995). Taboo search: an approach to the multiple minima problem. *Science*, 267 (5198), 664-666. <https://doi.org/10.1126/science.267.5198.664>
- Erdun, H. (2020). Fuzzy Logic Defuzzification (Bulanıklaştırma) Methods with Examples: Erişim adresi https://www.researchgate.net/publication/344196954_Fuzzy_Logic_Defuzzification_Bulaniklas_tirma_Methods_with_Examples
- Harris, J. (2005). *Fuzzy logic applications in engineering science* (Vol. 29). Springer Science & Business Media.

- Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44. <https://doi.org/10.1109/2.485891>
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 4, 1942-1948.
- Karaboga, D. and Akay, B. (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1), 108-132. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.090>
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. *International Journal of Man-Machine Studies*, 8(6), 669-678. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(76\)80028-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(76)80028-4)
- Moscato, P., Cotta, C. and Mendes, A. (2004). Memetic algorithms. In *new optimization techniques in engineering* (pp. 53-85). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Öztekin, E. ve Filiz, K. (2015). *Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi*. Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu, Bayburt.
- Parpinelli, R. S., Lopes, H. S. and Freitas, A. A. (2002). Data mining with an ant colony optimization algorithm. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 6(4), 321-332. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2002.802452>
- Pörge, B. (2019). *Investigation of reliabilities of the triaxial concrete compressive strength models by fuzzy logic approach*, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5508-5518.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications* (Vol. 2). New York: Wiley.
- Terano, T., Asai, K. and Sugeno, M. (1992). *Fuzzy systems theory and its applications*. Academic Press Professional, Inc.
- Tanaka, K. (1997). An introduction to fuzzy logic for practical applications.
- Van Laarhoven, P. J. and Aarts, E. H. (1987). *Simulated annealing*. In *simulated annealing: Theory and applications* (pp. 7-15). Springer.
- Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*, 4(2), 65-85. <https://doi.org/10.1007/BF00175354>
- Yager, R. R. and Zadeh, L. A. (Eds.). (2012). *An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems* (Vol. 165). Springer Science & Business Media.
- Yang, X. S. and Gandomi, A. H. (2012). Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering Computations*, 29(5), 464-483. <https://doi.org/10.1108/02644401211235834>
- Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy Sets*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, (1), 28-44. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information Sciences*, 9(1), 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)

Kentsel yerleşim alanlarında çevresel gürültünün belirlenmesi: Bursa Dikkaldırım Mahallesi örneği

Determination of environmental noise in urban settlements: Bursa Dikkaldırım Neighborhood example

Melike YALILI KILIÇ^{*1,a}, İlker KILIÇ^{2,b}, Sümeyye ADALI^{1,c}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 22.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.05.2021

Öz

Günümüzde kentsel alanlarda gürültü kirliliği önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Özellikle trafik yoğunluğunun yaşandığı bölgeler gürültü açısından büyük risk altındadır. Bu çalışmada, Bursa ili, Osmangazi ilçesinde kentin en büyük parkı, stadyum, konut yapıları, eğitim, sağlık ve güvenlik kurumlarına yakın olan bir bölgede yer alan Dikkaldırım Mahallesi'nde çevresel gürültü seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır. Mahalle çevresinde gürültü açısından hassas noktalar belirlenerek, bu noktalarda mart-nisan-mayıs aylarında hafta içi perşembe ve cuma, hafta sonu cumartesi, pazar günleri sabah, öğle ve akşam saatlerinde ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelenmiş olup, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)'ne göre kıyaslanarak bölge özelinde yönetmelikle belirlenen sınır değerlerin sağlanıp sağlanmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, gürültü kirliliği seviyesinin 60-97 dBA aralığında oluştuğu ve mevcut yönetmelik (ÇGDYY) sınırlarının üzerinde olması nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder düzeye ulaştığı belirlenmiştir. Gürültü kirliliği azaltımı için uygulanabilecek çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Bursa, Gürültü, Kentsel gürültü, Trafik

Abstract

Today, noise pollution has become an important environmental problem in urban areas. Especially regions with high traffic are at great risk in terms of noise. In this study, the environmental noise level was tried to be determined in Dikkaldırım Neighborhood, which is located in an area close to the biggest park, stadium, residential buildings, education, health and safety institutions of the city in Osmangazi district of Bursa city. Sensitive points in terms of noise were determined around the neighborhood and measurements were made at these points in the morning, afternoon and evening hours on weekdays, Thursdays and Fridays, weekends and Sundays in March-April-May. The results obtained were statistically analyzed and compared according to the Regulation on the Assessment and Management of Environmental Noise (RAMEN), it was determined whether the limit values determined by the regulation were met or not. As a result of the study, it was determined that the level of noise pollution occurred in the range of 60-97 dBA and reached a level that threatens the environment and human health because it is above the current regulation (RAMEN) limits. Various suggestions for noise pollution reduction are presented.

Keywords: Bursa, Noise, Urban noise, Traffic

*a Melike YALILI KILIÇ; myalili@uludag.edu.tr; Tel: (0224) 294 21 17; orcid.org/0000-0001-7050-6742

^b orcid.org/0000-0003-0087-6718

^c orcid.org/0000-0002-5077-7358

1. Giriş

Günümüzde kentleşme ve teknolojinin gelişmesiyle beraber daha yoğun şekilde hissedilmeye başlayan gürültü kirliliği, özellikle kent merkezlerinde oluşturduğu rahatsızlıktan dolayı büyük bir çevre problemi haline gelmeye başlamıştır (Morova vd., 2010). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından gürültünün sağlık problemlerine yol açan en önemli ikinci çevre problemi olduğu bildirilmektedir (WHO, 2011; Savaş, 2019).

Yüksek gürültü maruziyeti, dünya genelinde işitme kayıplarının en yaygın nedeni olarak gösterilmektedir (Tekin, 2020). ABD, Şili, Meksika, Kanada, Avustralya gibi ülkelere ait gürültü yönetmelikleri incelendiğinde, gürültünün zararlı olmaya başladığı sınırın 8 saatlik bir süre için 85-90 dBA aralığında olduğu belirtilmektedir (Morova vd., 2010; Dadaş ve Demirel, 2019).

Gürültü kaynakları, kaynak ve alıcıların konum ve yayılma yollarına bağlı olarak yapı dışı ve yapı içi çevre gürültüleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Taşkaya ve Sesli, 2019). Yapı içi gürültü kaynakları arasında konuşma sesleri, ev araçları gürültüsü, müzik sesleri, büro gürültüleri, garaj gürültüleri, makine ve donanım gürültüleri (asansör, tesisat v.b.), işyeri gürültüleri; yapı dışı gürültü kaynakları arasında ise trafik gürültüleri (karayolu, denizyolu, demiryolu, uçak ve havaalanı gürültüleri), endüstri gürültüleri, yapım (şantiye) gürültüleri, insan faaliyetlerinden kaynaklı gürültüler, eğlence ve ticari amaçlı faaliyetler sonucu oluşan gürültüler yer almaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011). Ülkemizde yapı içi gürültüden kaynaklı olarak turizm merkezlerine tatil ve dinlenme amaçlı gelen insanların gürültü kirliliğinden zarar görmesinin engellenmesi amacıyla örnek seçilen bir otelde gürültü seviyelerinin tespit edilerek gürültü haritası hazırlanmış olup, gerekli önlemlerin yurt çapında alınması için veri oluşturması yoluna gidilmiştir (Özdemir vd., 2011). Bunun yanı sıra ülkemizde trafik kaynaklı gürültünün okul, hastahane, otel vb. hassas yapıları olumsuz etkilerini azaltmak için atık malzemelerden gürültü yalıtımı için panel üretim çalışmaları da yapılmıştır (İlgün vd., 2010).

Kentsel alanlarda meydana gelen gürültünün %80'i trafikten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle trafik gürültüsü kentlerde insan refahını etkileyen en yaygın ve en büyük gürültü kaynağı olarak görülmektedir (Aktürk vd., 2003; Delikanlı vd., 2014). Trafik gürültüleri arasında en büyük

çevresel etki karayolu gürültülerine aittir. Karayolu gürültüsü, yerleşim yerlerinin tamamında yaygın ve sürekli olması dolayısıyla rahatsız ediciliği yüksek olan bir gürültü kaynağıdır. Karayollarındaki araç sayıları ve ağırlıkları, araç hızları, engebeli ve bozulmuş yollar, dönemeç ve kavşaklar gibi parametreler karayollarında oluşan gürültü seviyesi üzerine etki etmektedir (Paşaoğlu, 2013).

Kentsel bölgelerde oluşan gürültü kirliliğini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde, literatürde pek çok çalışmanın yer aldığı görülmektedir. Özyonar ve Peker (2008) tarafından Sivas şehir merkezinde çevresel gürültü düzeyini belirlemek amacıyla, trafik ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu cadde, sokak ve kavşaklarda gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Avanos ilçe merkezinde 24 noktada yapılan çalışmada eşdeğer gürültü ölçüm seviyelerinin gündüz 79-85 dBA aralığında olduğu ve ilçe giriş-çıkış karayollarındaki maksimum gürültü seviyesinin Lmax 109 dBA, minimum Lmin 82 dBA olduğu belirlenmiştir (Kalıpcı, 2017). Gaziantep'te nüfus yoğunluğu yüksek olan bölgelerde karayolu trafiğinden kaynaklanan stratejik gürültü haritaları oluşturularak, yüksek seviyede gürültü maruziyeti yaşayan bölgelerdeki nüfus oranları tespit edilmeye çalışılmıştır (Tercan ve Yaman, 2021). İstanbul ili Beykoz ilçesi Kavacık mevkiindeki TEM Otoyolu üzerinde gürültü ölçümleri yapılarak bölgenin gürültü haritası oluşturulmuş ve gürültünün yerleşim alanına etkisini azaltmak için çözüm önerileri sunulmuştur (Savaş, 2019). Torun ve Bingül (2014), Erzurum'da demiryollarında gürültü ölçümleriyle maksimum, minimum ve eşdeğer gürültü seviye parametrelerini hesaplayarak demiryolu çevresinde oluşan gürültü seviyesini belirlemişlerdir. Konya ili Sarayönü ilçesinde 44 noktada yapılan çalışmada gürültü ölçüm seviyelerinin sabah 45-103 dBA, öğlen 44-90 dBA ve akşam 39-82 dBA aralığında olduğu belirlenmiştir (Öden ve Bilgin, 2019). Bu çalışmanın haricinde Konya'da trafikten kaynaklı gürültü için yapılmış farklı araştırmalar da mevcuttur (Kalıpcı ve Aslan, 2007; Özdemir vd., 2012). Delikanlı vd., (2014), Bartın ilinde yerleşim alanları yakınlarında araç trafiğinin yoğun olduğu noktalarda gürültü ölçümleri gerçekleştirilerek trafik kaynaklı çevresel gürültüyü belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, Bursa ilinin Osmangazi ilçesi Dikkaldırım Mahallesi'nde oluşan çevresel gürültü seviyesi belirlenmiştir. Bölgede gözlemler gerçekleştirilerek gürültünün yoğun olarak meydana geldiği noktalarda hafta içi perşembe ve

cuma, hafta sonu cumartesi ve pazar günleri, sabah, öğle ve akşam vakitlerinde ölçümler yapılarak gürültü seviyesi tespit edilmiş, oluşan gürültüye karşı alınabilecek önlemler sıralanmıştır.

2. Materyal ve metot

Gürültü kirliliği kentlerdeki nüfus artışına bağlı olarak her alanda insanları etkilemektedir. Bu alanlardan birisi de yerleşim yerleridir. Bu çalışma Bursa ilinin Osmangazi ilçesinde bulunan Dikkaldırım Mahallesi'ndeki trafikten kaynaklı gürültü kirliliği düzeyinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Dikkaldırım Mahallesi Bursa'nın en eski mahallelerinden biri olup, şehrin merkezi bir noktasında yer almaktadır

(Kaplanoğlu, 2021). Mahallenin bulunduğu bölgede 510 000 m²'lik alanıyla kentin en büyük parkı, stadyum, konut yapıları, eğitim, sağlık ve güvenlik kurumları bulunmaktadır. Yoğun olarak göç alan bölge, Bursa trafiğinin önemli kilit noktaları arasında yer almaktadır. Çevresel gürültü bölge için önemli bir kent sorunu haline gelmiştir.

Çalışmada öncelikle Dikkaldırım Mahallesi'nin haritası çıkarılmış ve gürültü açısından hassas noktalar belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalarda mart-nisan-mayıs aylarında hafta içi perşembe ve cuma, hafta sonu cumartesi, pazar günleri sabah, öğle ve akşam saatlerinde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm noktaları harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Ölçüm noktalarına ait uydu görüntüsü (26.01.2021)

Ölçümler, gürültünün yoğun olduğu saatler olan mesai başlangıç-bitiş saatleri düşünülerek seçilmiş olup, sabah 08.00-09.00, öğle 12.00-13.00 ve akşam 17.00-18.00 saatlerinde 3'er dakikalık periyotlar halinde yapılmıştır. Havanın yağışsız, rüzgarın sakin ve hafif olduğu günlerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin iyi hava koşullarında yapılması nedeniyle meteorolojik verilerin ölçümler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı düşünüldüğünden kayıt altına alınmamıştır. Çalışma süresince ölçüm materyali olarak EXTECH 407738 (Sound Level Meter) kullanılmıştır (Şekil 2). Ölçüm materyali, Tip 2 standartlarını (ANSI S1.4-1983, IEC 60651, EN 60651) karşılamakta olup, yüksek hassasiyete sahiptir. 26 dB ile 130 dB gibi geniş bir ölçüm aralığına sahip olup, gürültü ölçümü

gerçekleştirilecek çeşitli ortamlar için ideal bir araç olma özelliğindedir. Birer AC ve DC analog çıkışa sahip olan alet, IEC standardı 60942 1997-11'i karşılamaktadır (Anonim, 2021).

Ölçümler eşdeğer gürültü düzeyi (Leq) cinsinden, A ağırlıklı ses düzeyi (dBA) birimindedir. Ağaç, duvar, bina vb. gibi yüzeylerin en az 1.5 m uzağında gürültü ölçümü yapılmış olup, ölçüm esnasında ani rüzgâr, yağış, yüksek araç gürültüsü gibi ölçüm verilerinin doğruluğunu etkileyebilecek durumların meydana gelmesi durumunda ölçümler tekrarlanmıştır (Morgül ve Dal, 2012). Gürültü ölçümlerinde cihaz yerden yaklaşık olarak 1.2 m yukarıda konumlandırılarak ölçümler tamamlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Ölçüm materyali



Şekil 3. Ölçümlerin alınış şekli

Çalışmada elde edilen veriler SPSS 23 (IBM, 2019) yazılımı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirmede ölçüm noktaları ve ölçüm zamanları arasındaki farklılıklar tek yönlü varyans analizi ile test edilmiştir. İstatistiksel açıdan önemli olan farklılıklar için Games-Howell analizi ile çoklu karşılaştırma yapılmıştır. Eşit olmayan varyanslar ve eşit olmayan örnek boyutları için tasarlanmış olan bu analiz yöntemi, q istatistik dağılımını temel almaktadır. Games-Howell test istatistiği, hem “student t”, hem de genişletilmiş t modülü tabanında çalıştığından bu

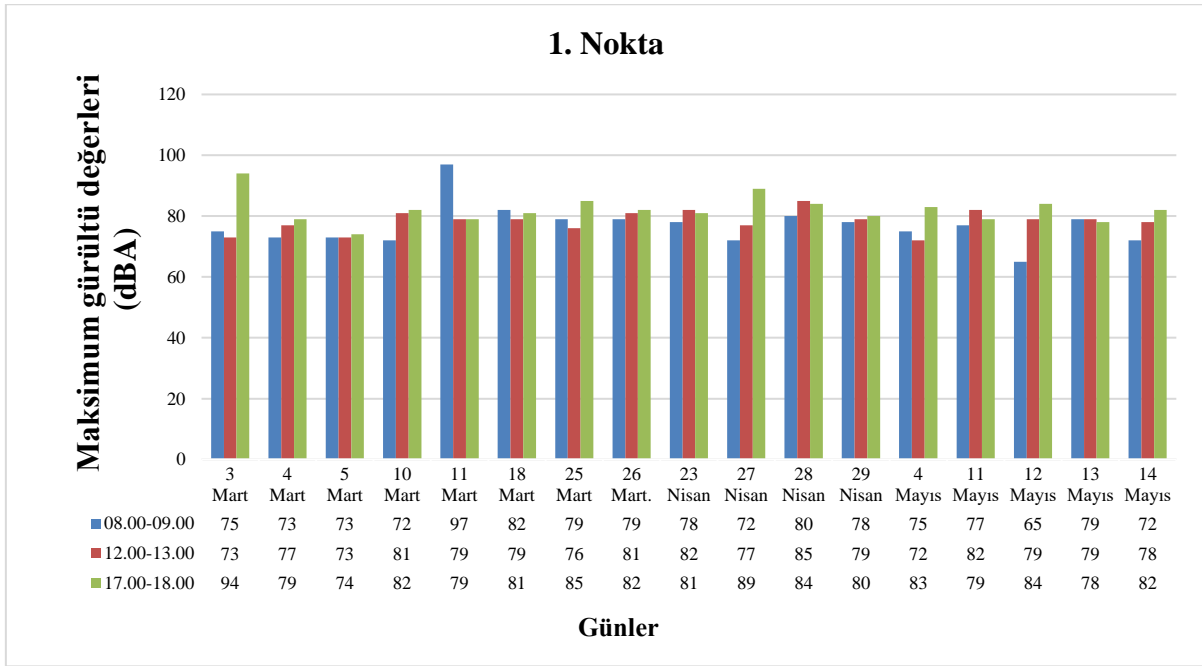
test istatistiği “liberal çoklu karşılaştırma testi” olarak adlandırılmaktadır (Games, 1971). Ayrıca, ölçüm noktaları ve ölçüm zamanlarının elde edilen gürültü değerleri üzerindeki etkisi çok yönlü varyans analizi ile test edilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Kent içi gürültü seviyeleri özellikle insan yoğunluğunun yüksek olduğu yerler açısından önemlidir. Bu yerler insanların toplu olarak, eğitim ve tedavi ihtiyaçlarını karşıladığı ve gürültüden etkilenmenin yüksek düzeylerde olduğu kurumlar ile insanların fiziksel ve psikolojik olarak kendisini tekrar kazanabilmesini sağlayan dinlenme, eğlenme, gezi, serbest zamanlarını değerlendirme gibi çeşitli aktiviteleri kapsayan geniş eylem alanlarıdır.

Çalışma kapsamında, Dikkaldırım Mahallesi’nde bulunan Dikkaldırım ve Bent Caddeleri üzerinde toplamda 6 nokta belirlenerek ölçümler yapılmıştır. Noktalar belirlenirken taşıt trafiğine yakınlık, cadde giriş çıkışları ve kavşaklar dikkate alınmıştır.

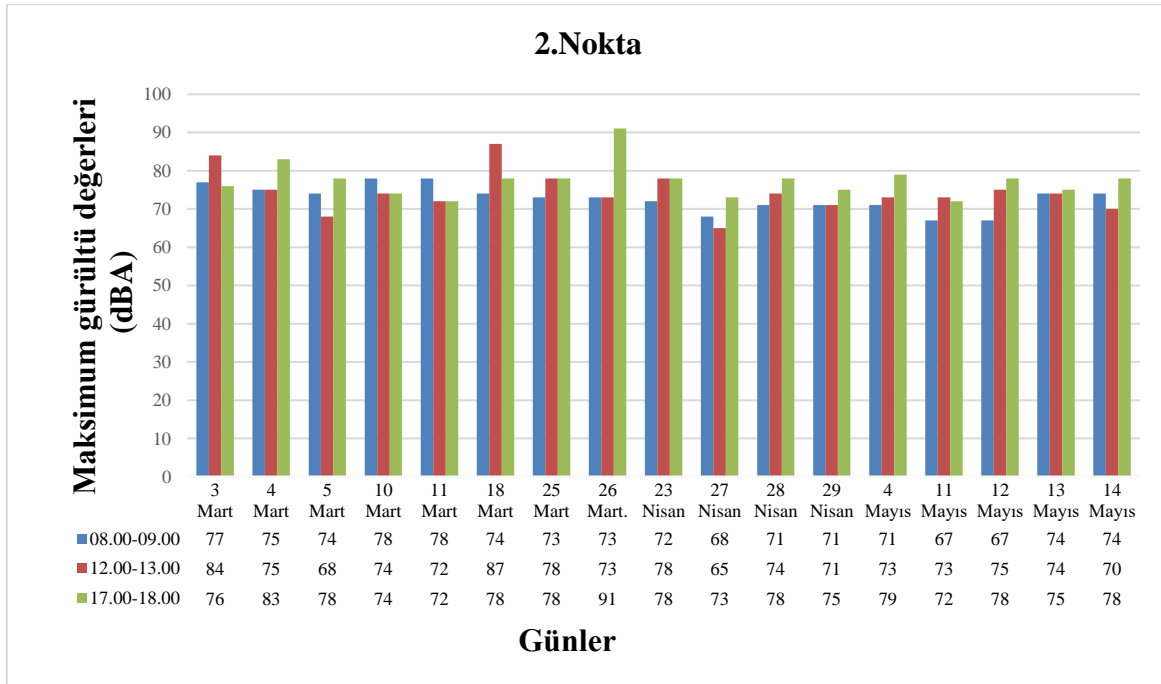
Birinci nokta Dikkaldırım Caddesi’nin Çekirge Devlet Hastanesi ve Askeriye arasında kalan bölgeden seçilen noktadır. Bu noktanın aynı zamanda taşıt trafiğinin yoğun olduğu Değirmen Sokak ile de bağlantısı vardır. Yapılan ölçümler neticesinde sabah en yüksek değer 97 dBA, öğle 85 dBA, akşam ise 94 dBA olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nde (ÇGDYY) mevcut olan yollarda gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanlarının ağırlıklı olduğu yerler için belirlenen sınır değerler, gündüz vakitleri için 65 dBA, akşam vakitleri için 60 dBA ve gece vakitleri için 55 dBA’dır (Anonim, 2010). Oluşan gürültü değerlerinin büyük çoğunluğunun ÇGDYY’de belirtilen sınır değerlerin üzerinde seyrettiği görülmektedir. Hastaneye yakınlığı ve yoğun taşıt trafiğinin bulunduğu Değirmen Sokak ile bağlantısının olması nedeniyle, bu noktada yüksek gürültü değerlerinin oluştuğu düşünülmektedir. Aynı zamanda cadde girişinin dar olması sebebiyle de araç trafiğinin oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4. Birinci noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

İkinci nokta Dikkaldırım Caddesi üzerinde işyerlerinin yoğunlukta olduğu bölgede yer almaktadır. İkinci noktada alınan ölçümlerde, minimum 65 dBA, maksimum 91 dBA değerleri okunmuştur (Şekil 5). Sabah en yüksek değer 78 dBA, öğle 87 dBA, akşam ise 91 dBA'dır. ÇGDYY'de ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar için

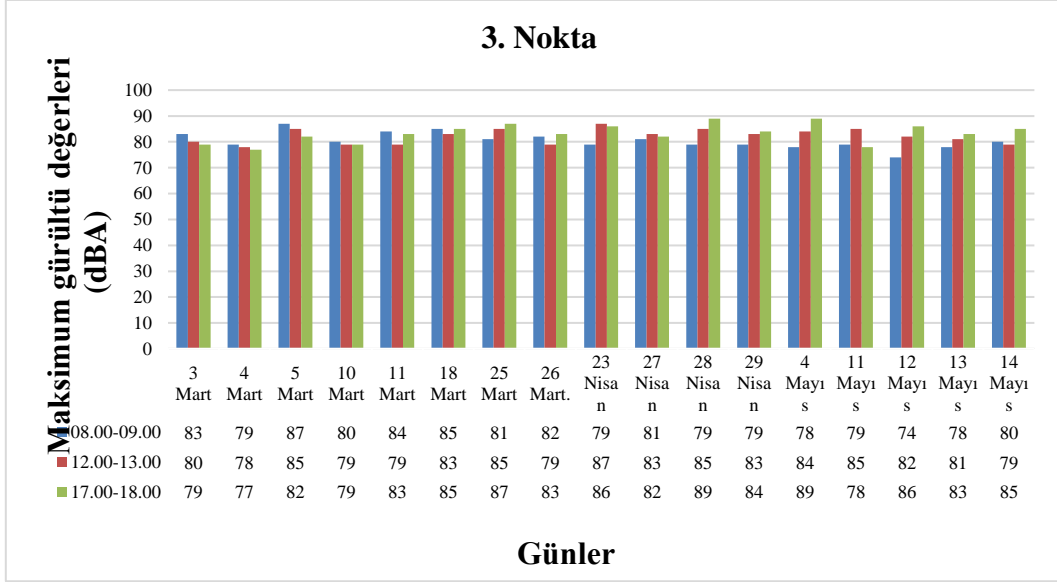
belirlenen sınır değerler göz önüne alındığında, gündüz vakitleri için belirlenen sınır değer olan 70 dBA'nın gündüz ölçümlerin çoğunda aşıldığı, akşam vakitleri için belirlenen sınır değer olan 65 dBA'nın ise akşam ölçümlerinin tamamında aşıldığı gözlenmiştir. Bu noktada iş yeri yoğunluğunun yanı sıra taşıt yoğunluğunun da fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. İkinci noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

Üçüncü nokta Dikkaldırım Caddesi üzerinde bulunan bir otobüs durağıdır. Bu noktanın bulunduğu alanda yoğun olarak işyerleri yer almaktadır. Bu nedenle insan yoğunluğu ve taşıt yoğunluğu oldukça fazladır. Bu noktada yapılan ölçümler sonucunda, minimum 77 dBA, maksimum 89 dBA değerleri elde edilmiştir (Şekil 6). Sabah ve öğle vakitlerinde oluşan en yüksek

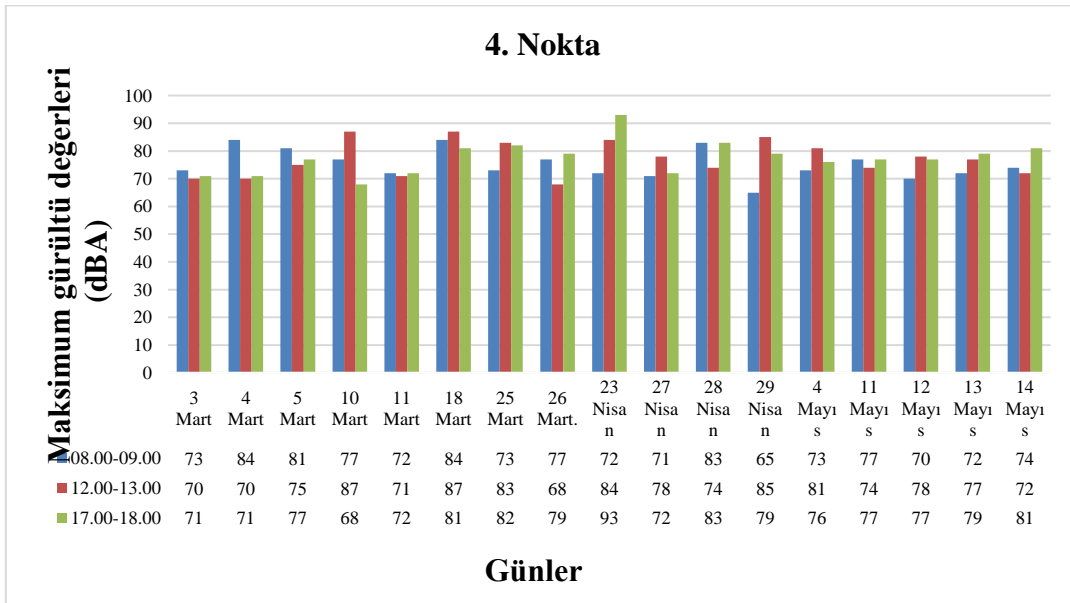
değer 87 dBA, akşam vakitlerinde ise 89 dBA'dır. ÇGDYY'de ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar için belirlenen sınır değerler göz önüne alındığında, gündüz ve akşam vakitleri için belirlenen sınır değerlerin ölçümlerin tamamında aşıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Üçüncü noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

Dördüncü nokta Mihraplı Camii'nin önünde, Dikkaldırım Caddesi ile Bent Caddesi'ni bağlayan kavşak üzerinde seçilmiştir. Bu noktada taşıt trafiğinin yoğunluğu göze çarpmaktadır. Ölçümler sonucunda minimum 65 dBA, maksimum 93 dBA değerleri okunmuştur. Vakitlere göre oluşan en yüksek değerler sabah 84 dBA, öğle 87 dBA,

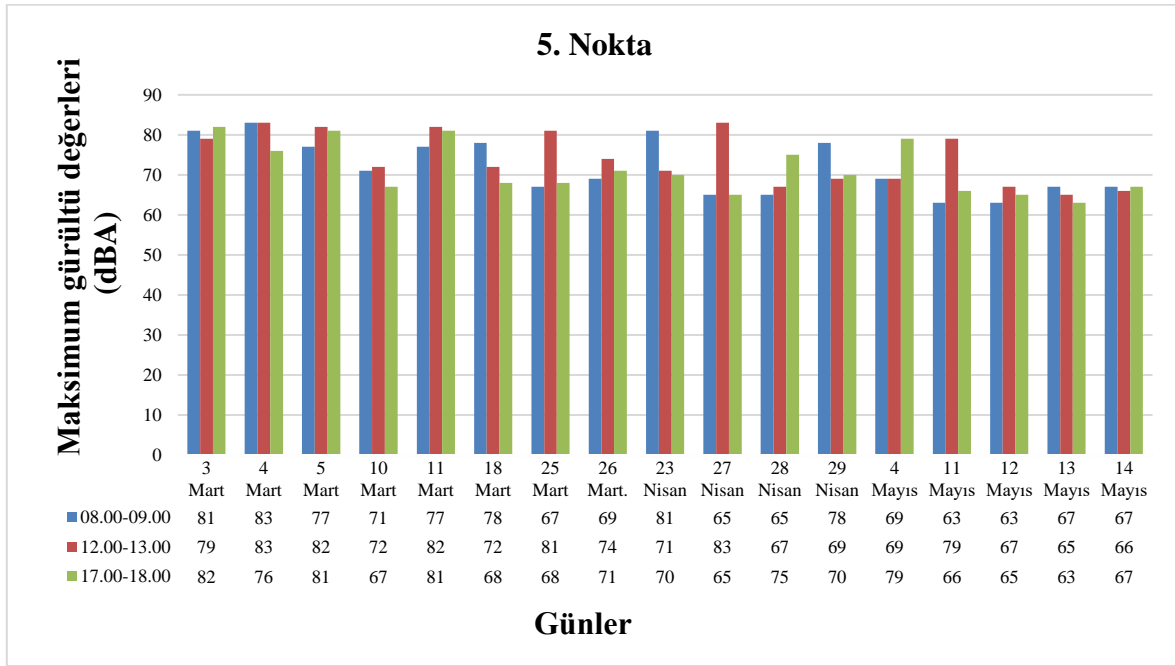
akşam ise 93 dBA olarak belirlenmiştir (Şekil 7). ÇGDYY'de mevcut yollarda gürültüye hassas kullanımlardan eğitim ve kültür alanlarının bulunduğu bölgeler için verilen sınır değerler olan gündüz 65 dBA ve gece 60 dBA olan sınır değerlerin gündüz ölçümlerinin çoğunda, gece ölçümlerinin ise tamamında aşıldığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Dördüncü noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

Beşinci nokta Hayran Caddesi üzerinde Sadi Etkeser İlkokulu'nun önünde seçilmiştir. Okulun karşısında tomruk yükleme alanı bulunmakta olup, zaman zaman yük kamyonları giriş çıkış yapmaktadır. Beşinci noktada yapılan ölçümlerde minimum 63 dBA, maksimum 83 dBA değerleri okunmuştur (Şekil 8). Vakitlere göre oluşan en yüksek değerler sırasıyla sabah 83 dBA, öğle 83 dBA, akşam ise 82 dBA şeklindedir. ÇGDYY'de mevcut yollarda gürültüye hassas kullanımlardan eğitim ve kültür alanlarının bulunduğu bölgeler için belirlenen gündüz 65 dBA ve gece 60 dBA olan sınır değerlerin gündüz ölçümlerinin çoğunda,

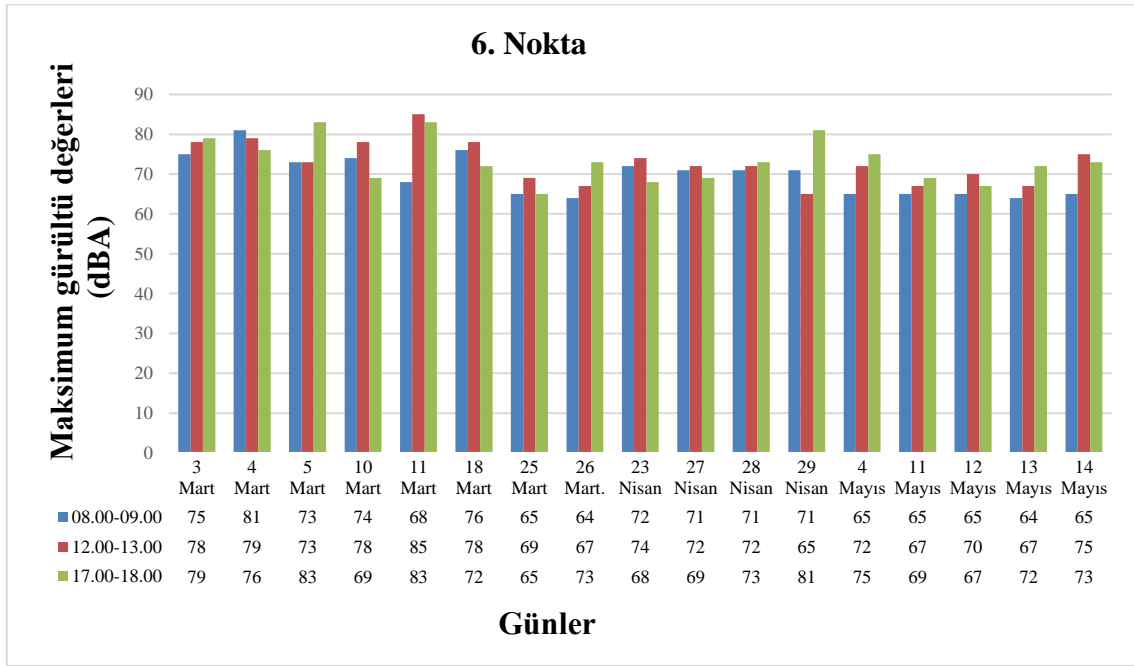
gece ölçümlerinin ise tamamında aşıldığı belirlenmiştir. Beşinci noktanın bulunduğu Hayran Caddesi Dikkaldırım Mahallesi'nin en yoğun caddelerinden biridir. Acemler-Dikkaldırım Acemler-Nilüfer arasında bağlantı yolu olduğu için taşıt yoğunluğu oldukça fazladır. Bu yüzden mart ayındaki değerler oldukça yüksek çıkmıştır. Ancak Hayran Caddesi'nin Dikkaldırım Caddesi ile bağlandığı kısımda içme suyu isale hattı çalışmasından dolayı yol trafiğe kapatılmış, bu yüzden nisan ve mayıs aylarında ölçüm değerlerinde düşüşler gözlenmiştir.



Şekil 8. Beşinci noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

Altıncı nokta Timsah Arena Stadyumu'nun önünde yer almakta olup, Hayran Caddesi üzerinde bulunmaktadır. Bu noktada gerçekleştirilen ölçümlerde, minimum 64 dBA, maksimum 85 dBA değerleri okunmuştur (Şekil 9). Sabah en yüksek değer 81 dBA, öğle 85 dBA, akşam ise 83 dBA olarak ölçülmüştür. ÇGDYY'de mevcut yollarda gürültüye hassas kullanımlardan eğitim ve kültür alanlarının bulunduğu bölgeler için verilen sınır değerler olan gündüz 65 dBA ve gece 60 dBA olan

değerlerin gündüz ölçümlerinin çoğunda, gece ölçümlerinin ise tamamında sağlanmadığı belirlenmiştir. Caddenin trafiğe kapatılması sebebiyle ölçüm değerlerinde belirli zamanlarda düşüş gözlenmiştir. Stadyumun önü olması sebebiyle ölçümlerin yüksek olması beklenmiştir, ancak ölçüm tarihleri ile maç tarihleri denk gelmediğinden bu noktadaki ana gürültü kaynağını karayolu trafiği oluşturmaktadır.



Şekil 9. Altıncı noktada elde edilen maksimum gürültü değerleri

Tablo 1’de hafta içi ve hafta sonu oluşan maksimum gürültü düzeyleri arasındaki değişim yer almaktadır.

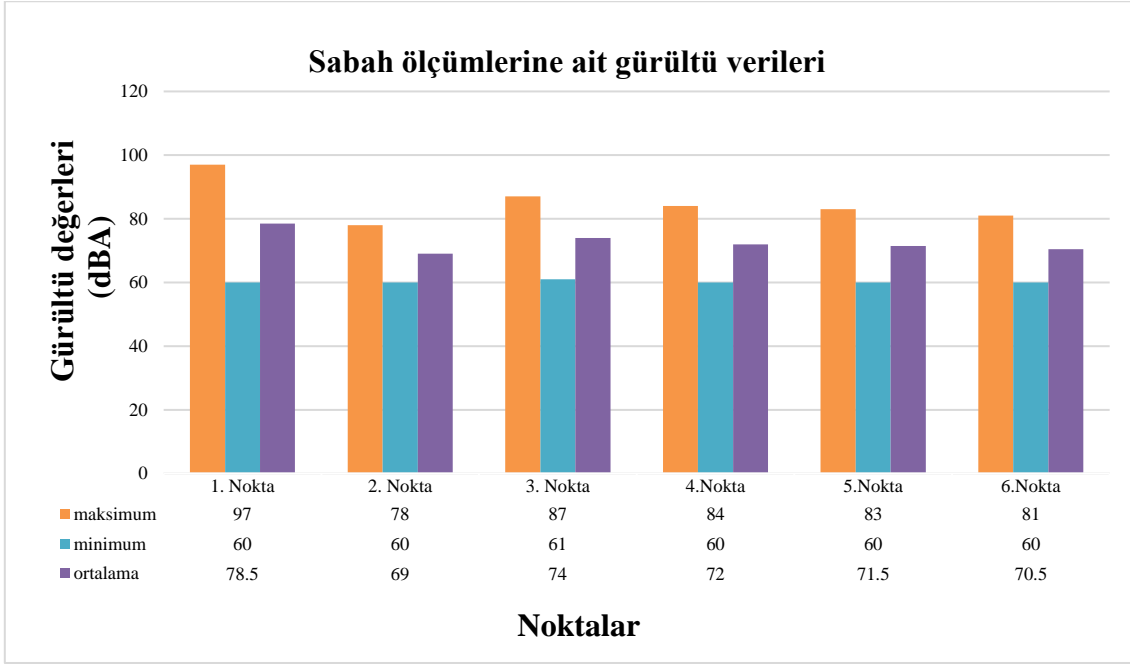
Tablo 1. Hafta içi ve hafta sonu oluşan maksimum gürültü düzeyleri arasındaki değişim

Ölçüm noktaları	Sabah		Öğle		Akşam	
	Hafta içi (dBA)	Hafta Sonu (dBA)	Hafta içi (dBA)	Hafta sonu (dBA)	Hafta içi (dBA)	Hafta sonu (dBA)
1. nokta	73.71	79.67	80.3	78.3	85	80.1
2. nokta	71.3	73.8	74	74.6	75.71	78.6
3. nokta	79.14	81.4	82.57	81.9	83.14	83.5
4. nokta	74.86	75.4	77.43	77.2	74.86	79.4
5. nokta	68.14	74.4	73.71	74.5	71.3	71.5
6. nokta	69.43	69.9	72.71	73.2	71.57	74.6

Tablo 1 incelendiğinde, seçilen noktaların trafiğin yoğun olduğu caddelerin üzerinde bulunmasından dolayı hafta içi ve hafta sonu ölçüm sonuçlarının yüksek değerlerde oluştuğu düşünülmektedir. Bilgen (2017) Nevşehir kent merkezinde ticari faaliyetlerin ve trafiğin yoğun olduğu bölgede gerçekleştirdiği gürültü belirleme ve haritalandırma çalışmalarında gürültü ölçümü gerçekleştirilen noktalarda ana gürültü kaynağının trafik gürültüsü olduğunu belirlemiştir. Çamlı ve Şahinkaya, (2018) gelişmiş sanayiye sahip ve yoğun nüfusa sahip bölgelerde ulaşımın taşıdığı yüksek önem nedeniyle bu bölgelerde trafiğin en

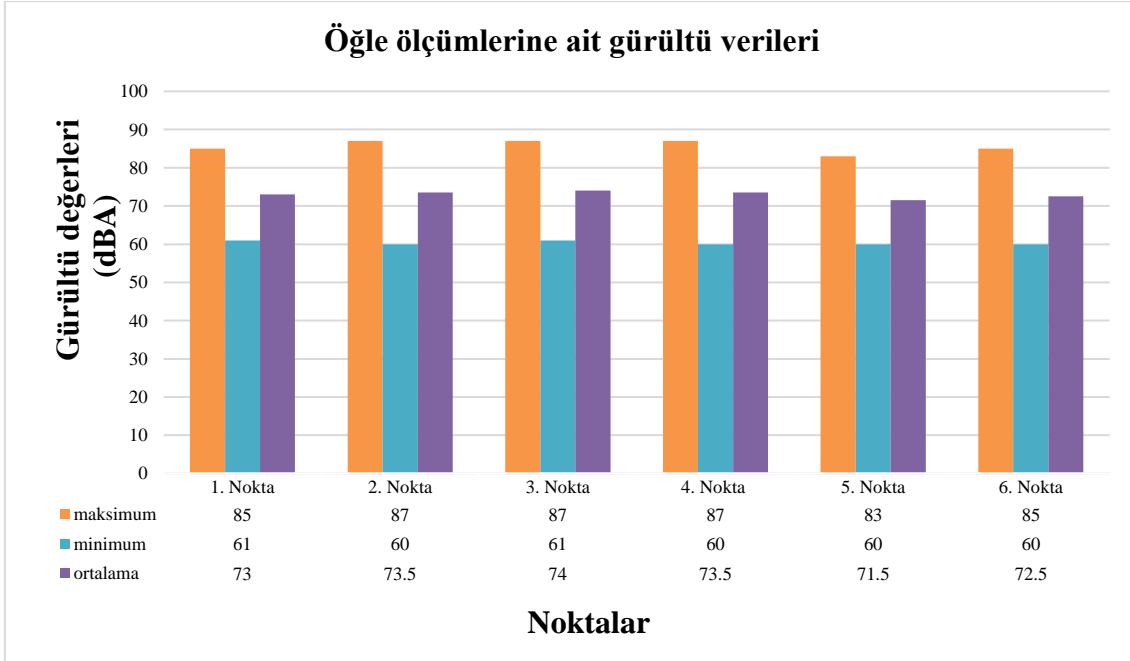
önemli gürültü kaynakları arasında yer aldığı belirtilmektedir.

Dikkaldırım Mahallesi’nde belirlenen 6 noktanın sabah ölçümlerinin toplam 17 adedinin 10’unda maksimum değer üçüncü noktada okunmuştur. Ölçümler arasında oluşan en yüksek değer ise birinci noktada 11 Mart günü 97 dBA olarak ölçülmüştür (Şekil 10). Bu değeri 87 dBA ile üçüncü nokta takip etmiştir. Bu noktalarda, taşıt kaynaklı olarak değerler artış göstermiştir. Sabah ölçüm vakitleri işe gidiş saatlerine denk geldiği için bu noktalarda bulunan caddeler üzerinde önemli trafik yoğunluğu gözlenmiştir.



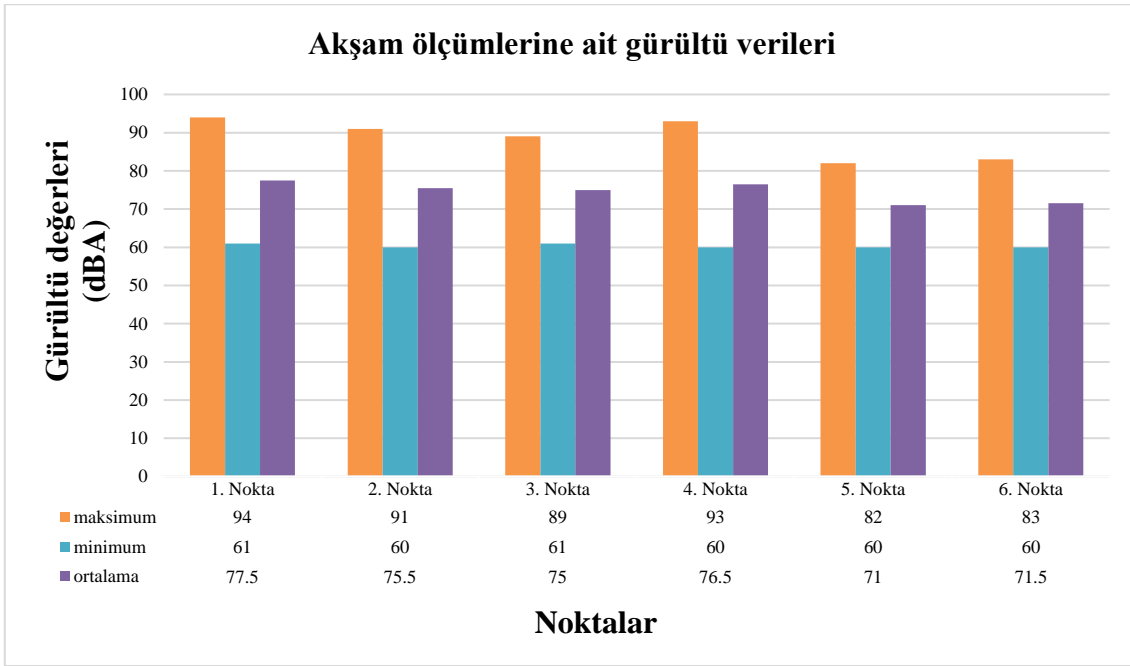
Şekil 10. Sabah ölçümlerine ait gürültü verileri

Noktaların öğle ölçümlerine ait en yüksek değer 2., 3. ve 4. noktalarda 87 dBA olarak ölçülmüştür (Şekil 11). Bu noktalarda, taşıt ve yaya trafiğinin fazla olması dolayısıyla diğer noktalara göre daha yüksek gürültü değerlerinin oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 11. Öğle ölçümlerine ait gürültü verileri

Ölçümler boyunca akşam saatinde en yüksek değer 1. noktada 3 Mart tarihinde 94 dBA olarak okunmuştur (Şekil 12). Bu noktada da benzer olarak, taşıt ve insan trafiğinin yoğun olduğu gözlenmiştir.



Şekil 12. Akşam ölçümlerine ait gürültü verileri

Gürültü ölçümlerinin gerçekleştirildiği 6 farklı nokta için yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda, ölçülen gürültü değerlerinin noktalar arasında istatistiksel olarak önemli derecede farklı olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$). Farklılıkların önemli olması nedeniyle uygulanan Games-Howell analizi sonucunda ise, ölçüm noktası 1 ve

2 arasında ve ölçüm noktası 3 ve 6 arasındaki farklılıkların önemli olmadıkları belirlenmiştir. Tek yönlü varyans analizi sonucunda ortaya çıkan farklılıkların önemlilikleri diğer noktalar arasındaki farklılıkların önemli olmasından kaynaklanmaktadır. Varyans analizi sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçüm yapılan noktalara göre elde edilen gürültü değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Ölçüm Noktası	N	Ortalama* (dBA)	Standart Sapma	Standart Hata	%95 Güven Aralığında Sınırlar		Minimum (dBA)	Maksimum (dBA)
					Alt Sınır (dBA)	Üst Sınır (dBA)		
1	51	75.00	3.25	0.46	74.09	75.91	68.50	84.00
2	51	75.54	3.67	0.51	74.51	76.57	67.50	85.50
3	51	66.13	4.11	0.57	64.97	67.28	61.00	79.00
4	51	72.38	3.47	0.49	71.41	73.36	65.00	80.00
5	51	69.04	4.05	0.57	67.90	70.18	61.00	78.50
6	51	64.54	3.17	0.44	63.65	65.43	61.00	78.50
Toplam	306	70.44	5.54	0.32	69.81	71.06	61.00	85.50

* $P < 0.05$, Farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir.

Çalışmada uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda üç farklı ölçüm zamanında elde edilen gürültü değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Böylece ölçüm yapılan zamanın gürültü değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilebilir (Tablo 3).

Ölçüm noktaları ve ölçüm zamanının gürültü değerleri üzerindeki birliktelik etkisinin belirlenmesi için yapılan çok yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, bu iki faktörün iterasyonu gürültü değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkiye sahip değildir (Tablo 4).

Tablo 3. Ölçüm zamanına göre elde edilen gürültü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	N	Ortalama* (dBA)	Standart Sapma	Standart Hata	%95 Güven Aralığında Sınırlar		Minimum (dBA)	Maksimum (dBA)
					Alt Sınır (dBA)	Üst Sınır (dBA)		
Sabah	102	70.15	5.12	0.51	69.14	71.15	61.00	81.50
Öğle	102	70.92	6.11	0.61	69.72	72.12	61.00	85.50
Akşam	102	70.25	5.37	0.53	69.19	71.30	61.00	83.00
Toplam	306	70.44	5.54	0.32	69.81	71.06	61.00	85.50

*P > 0.05, ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 4. Ölçüm zamanı ve noktaları iterasyonuna göre elde edilen gürültü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Ölçüm Noktası	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığında Sınırlar	
				Alt Sınır	Üst Sınır
1	1	74.382	.890	72.631	76.134
	2	74.647	.890	72.895	76.399
	3	66.147	.890	64.395	67.899
	4	72.441	.890	70.689	74.193
	5	69.265	.890	67.513	71.016
	6	64.000	.890	62.248	65.752
2	1	75.088	.890	73.337	76.840
	2	76.824	.890	75.072	78.575
	3	66.382	.890	64.631	68.134
	4	72.941	.890	71.189	74.693
	5	68.824	.890	67.072	70.575
	6	65.441	.890	63.689	67.193
3	1	75.529	.890	73.778	77.281
	2	75.147	.890	73.395	76.899
	3	65.853	.890	64.101	67.605
	4	71.765	.890	70.013	73.516
	5	69.029	.890	67.278	70.781
	6	64.176	.890	62.425	65.928

Bu çalışmaya benzer olarak [Çerçevik vd., \(2018\)](#), Bilecik ili kent merkezinde gerçekleştirdikleri çalışmada şehrin ana karayolunda meydana gelen gürültü kirliliği belirlenmeye çalışılmış olup, ölçüm gerçekleştirilen noktalarda oluşan gürültünün yönetmelikle belirlenen 63 dBA sınır değerinin 10-15 dBA üzerinde seyrettiği gözlenmiştir. [Delikanlı vd., \(2014\)](#), Bartın kent merkezinde trafik kaynaklı oluşan çevresel gürültünün belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, araç yoğunluğunun bulunduğu yedi noktada ölçümler yapılarak sabah ve akşam vakitlerinde oluşan gürültü düzeyleri tespit

edilmiştir. Şehir merkezinde ölçüm yapılan noktalarda oluşan gürültü düzeylerinin tüm vakitlerinde ÇGDYY’de belirlenen sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Kentte trafik kaynaklı gürültü sorununun ciddi boyutlara ulaştığı ve gürültü azaltıcı önlemlerin alınması gerektiği belirlenmiştir. Giresun’da 99 noktada yapılan gürültü ölçümleri ve coğrafi bilgi sistemi ile haritalama çalışmasında; limanın şehir içinde, kafe ve düğün salonlarının konut bölgelerinde bulunmasından dolayı kentteki sanayi, eğlence ve trafik gürültüsünün birbirine karıştığı ve yoğunluğu artırdığı görülmüştür. Üç caddede 68

dBA değeri aşılmıştır (Kalıpcı ve Dursun, 2009). Yine, Nevşehir il merkezinde 60 istasyonda yapılan trafik kaynaklı gürültü ölçümleri ve coğrafi bilgi sistemi ile yapılan haritalama çalışmasında ise ana arterlerde ölçümlerden elde edilen sonuçların insan sağlığı açısından zararlı olduğu ve tespit edilen önlemlerin bir an önce uygulamaya geçirilmesinin kent merkezinde yaşayan insanların sağlığının korunmasında son derece yarar sağlayacağı bildirilmiştir (Kalıpcı vd., 2020).

4. Sonuç

Bu çalışmada, Bursa ilinin Osmangazi ilçesine bağlı Dikkaldırım Mahallesi'nde oluşan gürültü seviyesinin belirlenmesi amacıyla gürültü ölçümleri yapılarak, bölgedeki gürültü kaynakları belirlenmeye çalışılmış ve oluşan gürültü düzeyleri ÇGDYY'de verilen sınır değerlerle karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Oluşan gürültü değerlerinin ÇGDYY'de belirlenmiş olan gürültü sınır değerlerinin çoğunlukla üzerinde seyrettiği gözlenmiştir. Trafik gürültüsünün ölçüm noktaları çevresinde büyük bir tehlike potansiyeli oluşturduğu görülmüş, bölgede yaşayan halkın sağlık ve refahının korunması amacıyla trafik kaynaklı gürültünün azaltılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Trafik gürültüsünün azaltılması amacıyla;

- İncelenen bölgenin gürültü haritasının oluşturularak maruz kalınan gürültü seviyelerinin belirlenmesi,
- İmar planlarında gürültü haritalarının da göz önünde bulundurularak yapım çalışmalarının yürütülmesi,
- Yeşil dalga uygulamasıyla yoğun trafiğin yaşandığı noktalarda bekleme süresinin azalmasını sağlanması,
- Araç bakımlarının zamanında yapılması,
- Karayolları kenarında gürültü oluşumunu engellemek amacıyla yapay yahut bitkisel materyal kullanılması,
- İlgili kamu kuruluşları, üniversitelerin ilgili bölümleri ve Sivil Toplum Kuruluşları tarafından şehir genelinde gürültü kirliliği seviyesinin azaltılması için gürültü eylem planlarının hazırlanarak bir an önce hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Aktürk, N., Akdemir, O. ve Üzkurt, İ. (2003). Trafik ışık sürelerinin neden olduğu çevresel taşıt gürültüsü. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1), 71-87.
- Anonim. (2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete (27601, 4 Haziran 2010).
- Anonim. (2021). Extech 407738 Sound Level Meter with Memory. <https://www.instrumart.com/products/24271/extech-407738-sound-level-meter-with-memory> (Erişim Tarihi: 30.03.2021)
- Bilgen, İ. (2017). Nevşehir il merkezinde trafik kaynaklı gürültü düzeyleri ölçümü ve gürültü haritasının hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Çamlı, H.İ. ve Şahinkaya, S. (2018). Doğal bir taş olan pomza ile gürültü izolasyon malzemesi üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Çerçevik, A.E., Kandemir, S.Y., Yıldız, M. ve Çelik, M. (2018). Bilecik ili şehir içi yollardan kaynaklı gürültü kirliliğinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 18(1), 366-374. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66688>
- Dadaş, E. ve Demirel, F. (2019). İş yerinde maruz kalınan gürültünün ulusal ve uluslararası mevzuatlar bağlamında incelenmesi. 4. Uluslararası İş Güvenliği ve Çalışan Sağlığı Kongresi, (ss. 330-341). Ankara.
- Delikanlı, N.E., Yücedağ, C. ve Kapdı, A. (2014). Bartın kentinde araç trafiğinden kaynaklı gürültü kirliliği üzerine bir ön çalışma. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2, 21-40.
- Games, P.A. (1971). Multiple comparisons of means. American Educational Research Journal, 8, 531-564.
- IBM. (2019). SPSS 23 Statistics software, USA.
- İlgün, A., Çöğürçü, M.T., Özdemir, C., Kalıpcı, E. and Şahinkaya, S. (2010). Determination of sound transfer coefficient of boron added waste cellulosic and paper mixture panels. Scientific Research and Essays, 5(12), 1530-1535.
- Kalıpcı E. and Arslan F. (2007). Determination of noise pollution knowledge in the sport centers of Konya city. Journal of International Environmental Application & Science, 2(3&4), 63-69.

- Kalıpcı E. and Dursun Ş. (2009). Presentation of Giresun city traffic noise pollution map via geographical information system. *Journal of Applied Sciences*, 9(3), 479-487.
- Kalıpcı, E. 2017. Avanos ilçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin mekansal analizi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 20-29. <https://doi.org/10.17100/nevbiitek.309489>
- Kalıpcı, E., Bilgen, İ. and Cüce, H. (2020). Nevşehir City Center Spatial Analysis of Noise Pollution by Using Geographical Information System. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 253-265. <https://doi.org/10.31466/kfbd.777168>
- Kaplanoğlu, R. (2021, Şubat 14). Dikkaldırım Mahallesi. https://www.bursa.com/wiki/Dikkaldırım_Mahallesi
- Morgül, Ö.K. ve Dal, H. (2012). Sakarya ili şehir merkezinin gürültü kirliliği üzerine bir ön çalışma. *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 16(2), 83-91.
- Morova, N., Şener, E., Terzi, S., Beyhan, M. ve Harman, B.İ. (2010). Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkesinin gürültü haritalarının coğrafi bilgi sistemleri ile hazırlanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 271-278.
- Öden, M.K. ve Bilgin İ. (2019). Sarayönü ilçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 103-114.
- Özdemir, C., Savur, A., Kalıpcı, E., Sahinkaya, S. and Demirci, M.T. (2011). Determination and control of noise pollution risk points at the level of touristic hotels. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 7(1), 95-102.
- Özdemir, C., Kalıpcı E., Öden M.K., Özdöner A. ve Şahinkaya S. (2012). Konya il merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliği ölçümü ve insan sağlığına etkileri. 21.Ulusal Biyoloji Kongresi (ss.851-852). İzmir.
- Özyonar, F. ve Peker, İ. (2008). Sivas kent merkezindeki çevresel gürültü kirliliğinin araştırılması. *Ekoloji*, 18(69), 75-80.
- Paşaoğlu, A. (2013). Eyüp Hasdal-Kemerburgaz yolu Göktürk Mevkiinde otoyoldan kaynaklanan çevresel gürültünün değerlendirilmesi, Gürültü Haritasının Hazırlanması ve Gürültü Perdesi Modeli. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Savaş, S. (2019). İstanbul Kavacık Mevkiinde TEM Otoyolundan kaynaklanan gürültünün haritalanması ve gürültü perdesi modelinin uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Taşkaya, S. ve Sesli, F.A. (2019). Gürültü kirliliğinde stratejik ile lokal konumsal verilerin Power Testi ile analizi, Elazığ İli İzzetpaşa Örneği. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi (IJEASED)*, 1(1), 1-13.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2011). Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tekin, V. (2020). Canlı performansların ses şiddeti ve duyma bozuklukları bağlamında incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- Tercan, Ş.H. ve Yaman, G. (2021). Kent içi trafikten kaynaklanan stratejik gürültü haritalarının değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 27-40. <https://doi.org/10.21324/dacd.786159>
- Torun, F.E. ve Bingül, Z. (2014). Demiryollarından kaynaklanan çevresel gürültü ve Erzurum ili örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 67-74.
- WHO. (2011). Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326424>

Düşük Reynolds sayılı alveolar akışta partikül boyutunun aerosol dinamikleri üzerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi

Numerical analysis of the particle size effect on aerosol dynamics in low Reynolds number alveolar flow

Doğan ÇİLOĞLU*^{1,a}

¹Atatürk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 19.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 27.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 15.05.2021

Öz

Akciğer hastalıklarında etkili bir tedavi yönteminin geliştirilmesi ve ilaç taşınımının iyileştirilmesi açısından akciğerlerin asiner bölgesindeki hava akışının ve solunan farmasötik veya zararlı partiküllerin taşınmasının incelenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, insan akciğerinin asiner bölgesinde etrafı alveol keseleri ile çevrilmiş bir respiratuar bronşiol modeli üzerinde alveolar hava akışı ve farklı boyutlardaki partiküllerin aerosol dinamikleri üzerine etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar, çoklu nefes periyotları ve üç farklı solunum şartı (düşük, normal ve ağır solunum) için yapılmıştır. Her bir akış durumunda model girişinden hesap alanına farklı çaplara sahip aerosol partikülleri salınmış ve yörüngeleri sayısal olarak takip edilmiştir. Sonuçlar, hareketli alveol duvarları sayesinde alveol çukurlarına hava ve partikül girişinin olduğunu göstermiştir. Alveol çukurunda meydana gelen resirkülasyonlu akış yapılarının partikül dinamiklerini karakterize ettiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre model içerisinde kalan aerosol miktarı, partikül boyutu ve akış debisiyle azalmıştır. 7 µm'nin üzerinde çapa sahip aerosol partiküllerinin kanal cidarlarında ve 5 µm'nin altındaki partiküllerin ise alveol boşluklarında biriktiği belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, solunan farmasötik veya zararlı partiküllerin alveolar bölgede davranışlarıyla ilgili önemli fizyolojik sonuçlar sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Asiner akış dinamiği, Düşük Reynolds sayılı akış, Resirkülasyon, Sonlu elemanlar

Abstract

In order to develop an effective treatment method and improve drug delivery in lung diseases, it is very important to examine the airflow and the transport of inhaled pharmaceutical or harmful particles in the acinar region of the lungs. In this study, the alveolar airflow and the effect of particles of different sizes on aerosol dynamics were numerically investigated on a respiratory bronchiole model surrounded by alveolar sacs in the acinar region of the human lung using computational fluid dynamics (CFD). Numerical simulations were made for multiple breathing periods and three different respiratory conditions (i.e, low, normal and heavy breathing). In each flow situation, aerosol particles with different diameters from the model entry to the computational domain were released and their trajectories were tracked numerically. The results showed that there was air and particle entry into the alveolar cavities due to the movable alveolar walls. It was determined that the recirculating flow structures occurring in the alveolus characterize the particle dynamics. According to the results, the amount of aerosol remaining in the model decreased with particle size and flow rate. It was also found that aerosol particles with a diameter of more than 7 µm deposited on the duct walls and the particles below 5 µm in the alveolar cavities. Consequently, this study provides the important physiological results regarding the behavior of inhaled pharmaceutical or harmful particles in the alveolar region.

Keywords: Acinar fluid dynamics, Low Reynolds number flow, Recirculation, Finite element

*a Doğan ÇİLOĞLU; dciloglu@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 26 37; orcid.org/0000-0002-7570-9271

1. Giriş

2020 yılı tüm dünya için Covid-19 virüsü ile mücadele yılı olmuştur. Bu virüs solunum yollarıyla insan vücuduna girmekte ve akciğerlere yerleşerek burada çoğalmaktadır. Bu bölgede hava kanallarının iltihaplanması ile onların tıkanmasına yol açarak birçok insanın ölümüne neden olan Coronavirus, bu hastalığı atlatan bireylerin akciğerlerinde ise “post-Covid fibrosis (hava kanallarının sıvı ile dolması)” gibi ciddi kalıcı hasarlar bırakabilmektedir (George vd., 2020). Bilhassa gaz alışverişinin yapıldığı mikro boyutlarda asiner bölgede, bu ve benzeri akciğer hastalıklarının etkili tedavisinde hava akışı ve zararlı partiküllerin ya da tedavi amaçlı kullanılan aerosol partiküllerinin davranışının belirlenmesi hayati öneme sahiptir.

Solunum sistemi üst ve alt solunum sistemi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Burun (nasus), yutak (pharynx) ve gırtlak (larynx) üst solunum sistemini, soluk borusu (trachea), bronşlar (bronchi) ve respiratuar bronşoller ise alt solunum sistemini oluşturur. Bronşlar bir ağaç dallarını andıran şekliyle tüm akciğere dağılır ve solunan havanın alveollere kadar taşınmasını sağlarlar. Alveoller, solunum yollarını kısmen veya tamamen kapsayan ve solunan havadaki oksijen ile kanda bulunan karbondioksitin yer değiştirdiği hava kesecikleridir. Yaklaşık 75 m² gibi oldukça büyük bir yüzey alanına sahip olan insan akciğerleri, ortalama 480 milyon alveol bulundurmaktadır. Bir alveolün çapı ise sağlıklı bireylerde 0.2 ila 0.45 mm (ortalama 0.36 mm) ve hasta bireylerde ise 0.46 ila 0.89 mm (ortalama 0.7 mm) 'dir (Bennett vd., 1985; Knudsen vd., 2010). Alveoller, hava yolu ağacının 16. neslinden (G16) itibaren görünmeye başlar ve bu bölge alveolar bölge (asinus bölgesi) olarak bilinir. Alveollerin yüzeylerinde çok sayıda kılcak damar bulunmaktadır. Bu nedenle asinus bölgesi, toksik maddelerin olumsuz sağlık etkilerinin veya uygulanan farmasötik ajanların terapötik sonuçlarının değerlendirilmesinde hava hareketlerinin ve partiküllerin birikiminin belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Ancak, mikro boyutta bir alveolün gözlerden uzak konumu, karmaşık yapısı, kişiye özgü ve hareketli oluşu nedeniyle asinusta salınımlı hava akışını ve partikül dinamiklerini incelemek oldukça güçtür.

Asinus bölgesinde hava, düşük Reynolds (Re) sayılı bir akış karakteri sergilemektedir. Bu bölgedeki hava akışına ait Re sayıları 0.01-2 aralığında değişmektedir. Literatürde, in vivo (canlıda), in vitro (modelde) ve in siliko (sayısal) yaklaşım kullanılarak düşük Re sayılı akışlarda

partikül taşınımının incelendiği birçok araştırma bulunmasına rağmen, alveol dinamikleri konusundaki bilgilerimiz hala yeterli değildir. Asinus bölgesine aerosol partiküllerinin taşınımı; farmasötik aerosollerin veya diğer ilaçların iletim stratejilerinin gelişmesinde, hedef bölgelere partiküllerin iletiminin sağlanmasında, yan etkilerinin azaltılmasında ve zararlı partikül tutulumunun değerlendirilmesinde oldukça önemlidir. Laminer bir akış koşulunun olduğu düşük Re sayılı akışların gözlemlendiği asinus bölgesine etkili partikül taşınımının nasıl gerçekleştiği konusu bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Genelde 5 µm'den küçük partiküller asinus bölgesine ulaşabilir, daha büyük partiküller ise akciğerin daha üst bölgelerinde tutunurlar (Heyder, 2004). 0.4 µm'den küçük partiküllerin hareketi taşınım ve moleküler difüzyon ile belirlenirken, 0.5 ila 4 µm arasındaki partiküller taşınım ve yerçekimi kuvvetleri arasındaki denge ile belirlenir. Çapı 0.5-1 µm olan parçacıklar asinusta çok düşük çökme verimine sahiptir ve dağılmayan kütsüz akışkan parçacıkları gibi davranırlar (Harrington vd., 2006). Bu boyut aralığındaki parçacıklar, çeşitli fizyolojik süreçlerde çok önemli bir rol oynamaktadırlar (Sznitman vd., 2009). Heyder vd. (1988) yaklaşık 1 µm çapında partiküllerden oluşan bir aerosol bolus kullanarak sayısal olarak partikül hareketlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, ağız yoluyla alınan (inhaler) bolus dağılımının akciğer kapasitesi arttıkça arttığını vurgulamışlardır. Partikül yüklü inhaler havadan akciğer içinde kalan havaya (residual hava) partiküllerin net taşınımı, sebebi tam olarak açıklanamayan tersinmez süreçlerin bir sonucu olarak meydana geldiği bildirilmiştir. Bu durum, olası taşıma mekanizmalarının ve bunların sebeplerinin araştırılmasını tetiklemiştir. Özellikle akciğerin derin bölgelerinde, yani 15. nesil sonrası alveolar bölgedeki viskoz akışlarda, partikül taşınımının nasıl gerçekleştiği oldukça önemlidir.

Literatürde asinus bölgede ve etrafı alveollerle kaplı bronşiol model kullanılarak partikül birikiminin incelendiği bazı çalışmalar bulunmaktadır. Darquenne ve Paiva (1996), tek yönde sabit akış koşulları altında alveollü kanal yapısına benzeyen iki boyutlu ve üç boyutlu modeller geliştirmişlerdir. 2D ve 3D modeller arasında partikül birikiminde önemli farklılıklar belirlenmiş ve bu durumun modellerin kendine has partikül dinamiklerinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Alveollü kanal modelini kullanarak iki yönlü (nefes alıp verme) akış koşullarının dikkate alınarak partikül dinamikleri ilk olarak

Tsuda ve Henry (1985) tarafından incelenmiştir. Ritmik olarak daralan ve genişleyen alveollü bir kanalda oldukça karmaşık ve tersinmez akışların gerçekleştiği rapor edilmiştir. Sznitman vd. (2009), alveolar akışları ve partikül birikimini hem bir kanala monte edilmiş küresel alveol modelinde hem de iki yönlü akış şartı için hareketli sınırları olan bir asiner model kullanarak simüle etmişlerdir. Partikül yörüngelerinin ve birikiminin alveolar yerleşimle kuvvetli bir şekilde ilişkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, salınımlı konveksiyon akışın 1 µm çapındaki partiküller üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bildirilirken, 3 µm çapındaki partiküller için bu etki yerçekimine nazaran daha azdır. Alveollü kanallarda hava akışı ve partikül dinamikleriyle ilgili deneysel çalışmalar hem büyütülmüş modellerde (Berg ve Robinson, 2011) hem de gerçek ölçülerdeki modeller üzerinde (Sznitman vd., 2010; Fishler vd., 2015) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonuçları itibariyle sayısal çalışmalarla (Harding ve Robinson, 2010; Katan vd., 2016) iyi bir uyum sergilemiştir.

Tsuda vd. (1995) ve Henry vd. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, alveol kesesi içerisindeki akışın resirkülasyonuna bağlı olarak partiküllerin hareketinde bir değişim gözlenmiştir. Henry vd. (2009), sabit duvarlı bir salınımlı akış modelinde konvektif taşınımın gerçekleşmesi için alveollerin varlığının yeterli olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar, aerosol taşınım mekanizmalarının temelinde geometrik özelliklerin önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Sarangapani ve Wexler (1999), taşınım mekanizmasının çok sayıda nefes döngüsüyle açıklanabileceğini ve bu nedenle tek bir nefes çevrimine göre gözlemlenen partikül dağılımının tam sonuç vermeyeceğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise araştırmacılar, 30 adet yumru şeklinde alveol hücre kullanılmış ve belirli kabuller altında nefes alma (inspirasyon) ve verme (ekspirasyon) modellenmiştir (Lee ve Lee, 2003).

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda alveolar duvarları sabit ve hareketli kabul edilerek alveollü ve alveolsüz hava kanalları arasındaki partikül dağılımı incelenmiştir. Bu deneysel ve sayısal çalışmalarda partikül davranışlarıyla ilgili çeşitli olası nedenler öne sürülse de, asinustaki konvektif partikül dağılımı mekanizması üzerine tutarlı ve somut kanıtlar ortaya konamamıştır. Darquenne ve Prisk (2003), aerosol bolus dağılımı üzerine sayısal ve deneysel sonuçları değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, çapı 0.5 ve 1 µm partiküller için, yerçekimsiz ortamda aerosol dağılımının partikül

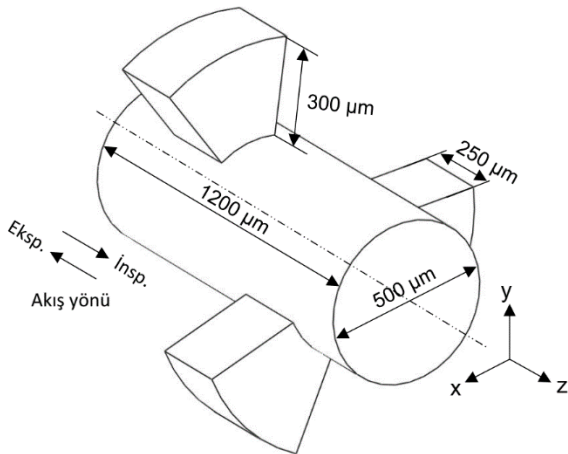
boyutuna bağlı olmadığı gözlenmiştir. Olası nedenlerden birinin akışın kendisinin neden olduğu bir karışım hareketi olduğu öne sürülmüştür. Darquenne ve Prisk (2004) daha sonra asiner akışta taşınımı incelemek için bir ters akış mekanizması tasarlamışlardır. Çalışmalarında partikül bolusu, iki farklı penetrasyon miktarında mikro yerçekimi altında solunmuş ve birkaç tersine akış ve nefes tutma şartları uygulanmıştır. Araştırmacılar, akım çizgilerinde uzama ve kıvrılmanın uygulanan ters akış süreçlerinde gözlenmediğini ve bu olayların tam akış döngüsünün gerçekleştiği bir solunum çevrimi sırasında oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Özet olarak, şimdiye kadar solunum bronşiyollerinde ve alveolar kanallarda partikül birikimi üzerine bir dizi çalışma yapılmıştır. Ancak alveol keselerinde partikül birikimi ile ilgili çalışmalar azdır. Alveolar hava akışı alveol duvarlarının ritmik olarak genişlemesi ve daralması ile gerçekleşir. Aksine, respiratuar bronşiyollerinde ve alveol kanallarında ise solunan havanın çoğu bronşiyolar kanallarda kalır ve havanın sadece küçük bir kısmı kanal etrafındaki alveollere girmektedir (Tsuda vd., 1985). Sonuç olarak, asinusta hava akışı ve partikül dinamikleri terminal alveollerde ve ileri nesillerdeki alveollü kanallarda oldukça farklı olabilmektedir. Kumar vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, bal peteği formundaki respiratuar bronşiyol, alveolar kanal ve ucu kapalı terminal alveol modellerinde hava akışı sayısal olarak incelenmiştir. Duvar hareketlerinin respiratuar bronşiyol ve alveolar kanal da resirkülasyon akışını tetiklediği ve terminal alveol modelinde ise resirkülasyon akışına rastlanmadığını rapor edilmiştir. Kumar vd. (2011) bir diğer çalışmalarında, respiratuar bronşiyol ve alveolar kanalda taşınımın dağılımı incelemişlerdir. Çalışmalarında sürekli akışın asiner akışlarda önemli bir karışım mekanizması olduğunu kütsüz sıvı parçacıklarını izleyerek tespit etmişlerdir. Ancak, bu iki çalışmada terminal alveollerin içindeki parçacık davranışları üzerindeki duvar hareketi etkileri araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, insan akciğerinin asinus bölgesinde bulunan bir respiratuar bronşiyol model üzerinde ritmik olarak hareket eden bir alveoldeki hava akışı ve partikül dinamiklerini çoklu nefes periyotlarında ve farklı solunum şartlarında sayısal olarak incelemektir. İlk solunum çevrimi sadece hava için gerçekleştikten sonra ikinci çevrimde model girişinden farklı çaplarda aerosol partikülleri salınmıştır. Simülasyonlar üç nefes çevrimi için gerçekleştirilmiş ve aerosol partiküllerinin yörüngeleri sayısal çözüm boyunca takip edilmiştir. Böylece bu çalışmada bir respiratuar bronşiyol modelde hava akışı ve partikül

dinamikleri karakterize edilmiş ve değişen fizyolojik faktörlerin partikül birikimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. Gereç ve yöntem

İnsan akciğerinin asinar bölgesine ait bir respiratuar bronşiol'ü (jenerasyon 17, G17) temsil eden 3B geometrik model Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu şekilde, bir lümen hava kanalı etrafında kısmen yerleşmiş alveol keseleri görülmektedir. Alveol keselerinin dış duvarları bir nefes çevrimi süresince hareketli olduğu ve %25 oranında kanal duvarlarıyla birlikte her yönde aynı oranda genişleyip daraldığı kabul edilmiştir. İspirasyon durumunda akışkan soldan sağa doğru, ekspirasyon esnasında ise sağdan sola doğru hareket etmektedir. Lümen kanalından giren havaya ait ortalama Re sayısı ($Re=U_0D/\nu$) ortalama kanal giriş hızı ve kanal çapı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda partiküllerin kanaldaki hava hareketi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı kabul edilmiştir (one-way coupling). Akış alanı zamana bağlı ve üç boyutlu Navier-Stokes denklemleri sıkıştırılmaz akış kabulü kullanılarak Arbitrary Lagrange-Euler modeli (Xia and Lin, 2008; Xia vd., 2010) ile ANSYS Fluent ticari paket programı kullanılarak sayısal olarak çözülmesiyle belirlenmiştir. Korunum denklemleri doğrusal olmadığından ve birbirine bağlandığından, çözüm süreci, tüm korunum denklemleri kümesinin çözüm yakınlaşana kadar tekrar tekrar çözüldüğü tekrarlamaları içermektedir. Fluent paket programında Coupled şeması kullanılarak basınç ve hız parametreleri zamana bağlı olarak birlikte çözülmüştür. Gradyan için Least squares cell based, basınç için Presto ayrıklaştırma şeması ve momentum için Second order upwind şeması kullanılmıştır.



Şekil 1. Asinus bölgesinde bir respiratuar bronşiol için geometrik model

Sayısal çalışmada ağ bağımsız çözümler için model ilk olarak 995,248 tetrahedral elemana ayrıştırılmıştır. Sonraki ağ yapıları için eleman sayıları 1,640,236 ve 2,415,651 olarak alınmıştır. Üç ağ yapısı için ortalama kanal hızı (U_0) değeri hesaplatılmıştır ve kalın ve en ince ağ yapısı için yaklaşık %0.4 hata gerçekleşmiştir. Bu nedenle akış alanı yaklaşık bir milyon tetrahedral elemana ayrıştırılmıştır. Nefes alma (inspirasyon) ve verme (ekspirasyon) süreleri 2'şer saniye seçilmiş (dakikada 15 normal solunum şartına karşılık) ve üç ardışık nefes çevrimi uygulanmıştır (toplam nefes periyodu, 12 s). Hesaplamalar ortalama debi değerleri dikkate alınarak hafif ($Q=15$ L/dk, $Re=0.29$), normal ($Q=30$ L/dk, $Re=0.58$) ve ağır ($Q=60$ L/dk, $Re=1.16$) solunum koşuluna karşılık gelen üç farklı solunum şartında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümde bu debi değerlerine karşılık gelen akışkan hızı değerleri (sırasıyla, 0.0097, 0.00194 ve 0.0389 m/s) giriş sınır şartı olarak alınmıştır. Diğer taraftan, kanal duvarları esnek kabul edilmiş ve cidarda kaymama sınır koşulu tanımlanmıştır. Model boyunca başlangıç basıncı 101 kPa (atmosferik basıncı) olarak ayarlanmıştır. Simülasyonlarda çapları 1 ila 10 µm aralığında rastgele seçilmiş on farklı çapa sahip ve 1100 kg/m³ yoğunluğunda küresel aerosol partiküller kullanılmış ve havanın ise 37°C sıcaklığındaki fiziksel özellikleri dikkate alınmıştır. Daha büyük çaplı partiküller yüksek atalet kuvvetlerinden dolayı asiner bölgeye ulaşamazlar (Talaat ve Xi, 2017). Bu nedenle maksimum partikül çapı 10 µm olarak alınmıştır. Simülasyonlarda kullanılan partiküller ikinci nefes çevrimi başında ($t=4$ s) model girişinden hesap alanına salınmış ve üçüncü nefes çevriminin sonuna kadar takip edilmiştir ($t=12$ s). Aerosol partiküllerinin modele giriş hızları hava giriş hızıyla aynı olduğu kabul edilmiştir. Tüm hesaplamalarda zaman adımı 0.05 s ve yakınsama kriteri 10⁻⁶ olarak alınmıştır. Simülasyonlar 32 GB RAM ve iki adet 2.30 GHz Intel Xeon CPUs barındıran DELL marka bir iş istasyonu kullanılarak yapılmıştır. Üç nefes çevrimi için ortalama simülasyon süresi 15 saattir.

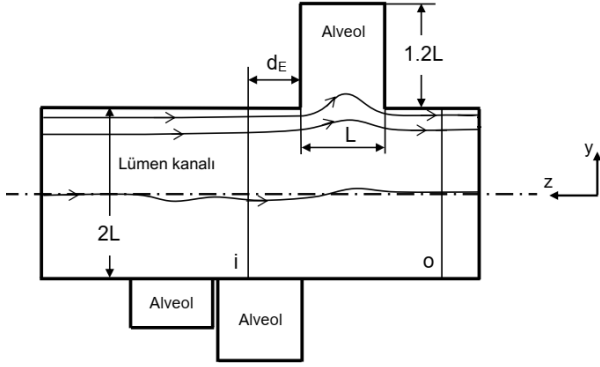
3. Bulgular ve tartışma

Düşük Re sayılı akış nedeniyle, akış şartları kanal çap değerinden çok daha küçük bir mesafede tam gelişmiş olmaktadır. Bu nedenle kanal girişinde (i) sinüzoidal dalga formunda parabolik bir hız profili, kanal çıkışında (o) ise homojen Neumann çıkış akış koşulları

$$(p_x = (1/Re)(u_{xx} + u_{yy}))$$

uygulanmıştır (Şekil 2). Burada Re sayısı iki boyutlu kanal yüksekliği kullanılarak $Re=U_0H/\nu$ bağıntısı ile belirlenmiştir. Simülasyonlar üç farklı

solunum şartına karşılık gelen üç farklı Re sayısı koşulunda gerçekleştirilmiştir ($Re=0.29$, 0.58 ve 1.16). Bu çalışmada kullanılan respiratuar bronşiol medel yazarın bir önceki çalışmasında (Ciloglu (2020)) kullanılan model ile aynıdır. Burada elde edilen sayısal sonuçların doğruluğu, Ciloglu (2020) çalışmasında yapılmıştır, ki orada partikül birikimi için elde edilen sayısal değerler Darquenne (2009) tarafından elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve verilerin bir uyum içerisinde olduğu sunulmuştur. Bu çalışmada uygulanan düşük Re sayılı akışlar, insan akciğerinin asiner bölgesinde gerçekleşen akış şartlarını karşılamaktadır (Kumar vd., 2011).

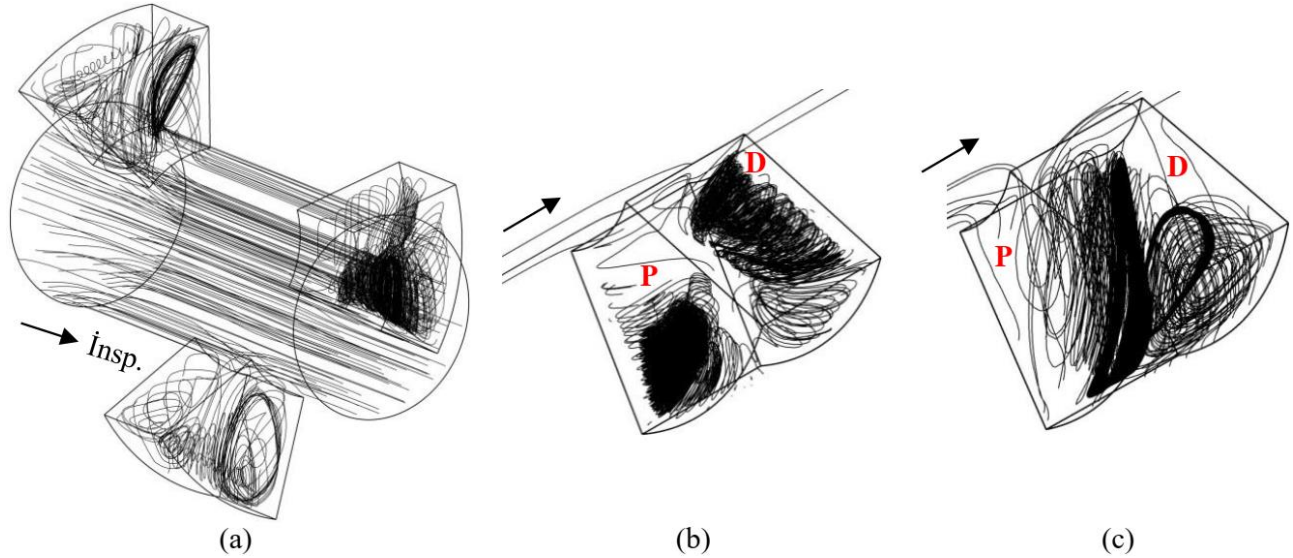


Şekil 2. İspirasyon esnasında iki boyutlu respiratuar bronşiol kanalın şematik görünümü. Burada; L alveol giriş açıklığını, d_E alveol giriş

uzunluğunu, “i” parabolik hız profiline uygulandığı kanal girişini ve “o” Neumann çıkış akış koşullarının uygulandığı kanal çıkışını göstermektedir.

3.1. Alveolar akış yapısı

Şekil 3 'te inspirasyon durumunda ($t=2s$) farklı solunum şartları için üç boyutlu akım çizgileri gösterilmektedir. Burada, lümen kanalına giren havanın bir kısmının alveol çukuruna doğru yöneldiği ve burada bir girdap hareketi oluşturduğu görülmektedir. Bütün akış durumlarında alveollere hava akışının olduğu ve burada resirkülasyon (girdap) bölgelerinin meydana geldiği ve zamanla alveollerin distal kenarlarına (D) ulaştığı belirlenmiştir. Bu durumun, solunan ve residual hava arasında gaz değişimini tetikleyen biyolojik etkileri olabilir (Talaat ve Xi, 2017). Şekil 3(a)'da, hava akışının lümen kanalında simetrik olmasına rağmen, alveol içerisinde asimetrik olduğu görülmektedir. Asimetrik akış profiline oluşması, alveollerin asimetrik yerleşiminin yanı sıra, kanal içi akış her ne kadar düşük Re sayılı bir akış olsa da atalet etkilerinin azda olsa akışı etkilemesi nedeniyledir. Şekil 3(b) ve (c)'de alveol giriş ağzındaki akım çizgileri incelendiğinde, akış ayrılmasının alveolün proksimal (P) duvar kenarlarına yakın bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3. İspirasyon durumunda ($t=2 s$) (a) $Q=15 L/dk$ ve $Re=0.29$ için üç boyutlu respiratuar bronşiol kanalda akım çizgileri, (b) $Q=30 L/dk$ ve $Re=0.58$ için alveolar akışta akım çizgileri ve (c) $Q=60 L/dk$ ve $Re=1.16$ için alveolar akışta akım çizgileri (Burada; P : proksimal duvar, D : distal duvar).

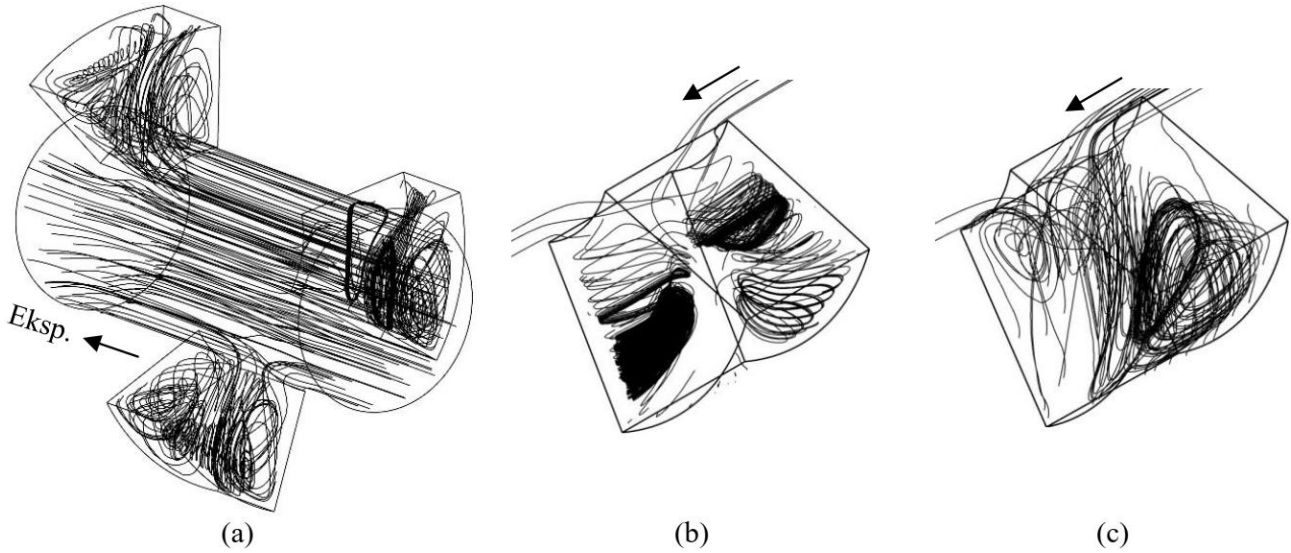
Genel olarak alveollü bir kanalda hava akışı alveollerin ritmik olarak genişlemesine ve daralmasına bağlıdır (Kumar vd., 2009). Alveolar duvar hareketinin neden olduğu bu alveolar çekme kuvveti ile bağlantılı olarak, kanalın çevresindeki

alveollere az miktarda kanal hava akışının saptığı gözlenmektedir. Proksimal bölgede alveolar boşluğun boyutu kanal çapına göre çok daha küçüktür. Bu nedenle kanal akışının çok az bir kısmı alveollere girer, ancak alveol girişine yakın

bu akım her ne kadar az miktarda olsa da alveol çukurunda girdap hareketi oluşturabilir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, elde edilen sonuçlar kanal akışıyla karşılaştırıldığında alveollerdeki hava akışı resirkülasyonlu akış özelliği sergilediğini göstermiştir. Böylece, asinusun proksimal bölgesinde (asinusun ilk birkaç nesli) alveolar akış, tipik olarak proksimal duvar (P) yakınında meydana gelen bir resirkülasyon akış hareketiyle meydana geldiği söylenebilir (Şekil 3). Diğer taraftan, lümen kanalı ve alveoller arasındaki akış etkileşimi, yine alveolar duvarların genişlemesi ve daralmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan bir sürüklenme bölgesi aracılığıyla gerçekleşir. Bu nedenle lümen kanalından alveollere ve alveollerden kanala doğru olan akışkan hareketi, proksimal duvar kenarına (P) yakın bir bölgede gerçekleşmiştir (Henry vd., 2002; Kumar vd., 2009). Asiner bölgenin ilerisindeki nesillerde

(distal) ise alveoller içindeki resirkülasyonlu akış, radyal akışa dönmektedir. Buna kanal boyunca azalan kesme kuvveti neden olmaktadır. Böylece G23 neslinde alveol içindeki akış tamamen radyal akışa dönmektedir (Cilolu, 2020). Bu nedenle distal akciğer nesillerindeki hava kanallarından alveollere kütle transferinin arttığı söylenebilir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi, ekspirasyon durumunda akış özellikleri akış yönünün tersine çevrilmesi dışında inspirasyon fazıyla hemen hemen aynıdır. Ekspirasyon sırasında, asiner bölgenin distalinde ortaya çıkan radyal akışlı hava alveol boşluklarından lümen kanalına doğru yönelir. Benzer şekilde, proksimal bölgedeki alveollerdeki akışın yönü de ekspirasyonla tersine döner. Hava akış yönünün tersine dönmesi sırasında, düşük inspirasyon akış hızından kaynaklanabilecek kararsız akış tersinmezlikleri ortaya çıkabilir.



Şekil 4. Ekspirasyon durumunda ($t=4s$) alveolar akışa ait üç boyutlu akım çizgileri; (a) $Re=0.29$, (b) $Re=0.58$ ve (c) $Re=1.16$.

Ayrıca Şekil 4'te görüleceği üzere, inspirasyon sırasında akış alanında ortaya çıkan resirkülasyon bölgeleri ekspirasyon sırasında tamamen kaybolmamıştır. Bu artık girdaplar, salınımlı akışlarda gözlenen bir olay olan ve yukarıda bahsedilen akış tersinmezliklerinden kaynaklanmış olabilir ve ayrıca partiküllerin taşınımı ve birikimi bu artık girdaplardan etkilenebilir (Ottino vd., 1988; Tsuda vd., 2002).

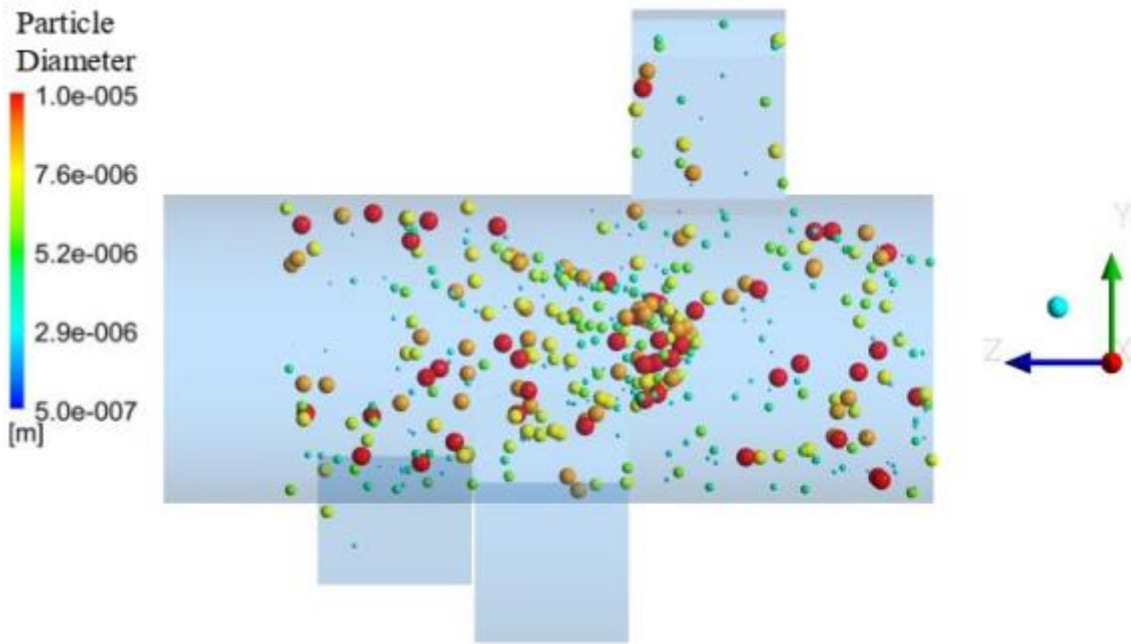
3.2. Alveolar partikül dağılımı

Bu çalışmada ağız yoluyla alınan ve çapları 1 ila 10 μm aralığında değişen 50000 adet aerosol partikül dikkate alınmıştır. Partiküller, inspirasyon fazında

model girişinden sürekli enjeksiyonla enjekte edilmiş ve model duvarlarında birikene ya da modeli terk eden kadar sayısal olarak takip edilmişlerdir. Yerçekimi negatif y yönünde alınmıştır (Şekil 1). 15 L/dk akış debisinde ve model girişinden hava hızıyla aynı hızda salınan aerosol partiküllerinin ikinci inspirasyon fazı sonrası ($t=6 s$) kanal ve alveol içindeki durumları Şekil 5'te gösterilmektedir. Burada aerosol partiküllerinin çoğu lümen kanalındaki hava akışı vasıtasıyla taşındığı görülmektedir. Şekil 6'da akış debisi sırasıyla 15, 30 ve 60 L/dk ve tidal hacim 1000 ml olan ve inspirasyon/ekspirasyon fazlarında aerosol partiküllerinin dağılımları xy-düzleminde gösterilmektedir. Alveol duvarlarının ritmik hareketi sayesinde lümen kanalından alveolar ağıza doğru gelen partiküllerin bir kısmı

alveol boşluğuna doğru yönelmiştir. Bu durumda, bu parçacıklar geldikleri konuma geri dönemeyebilir, yani alveol duvarlarında birikebilir ve tedavi sürecini etkileyebilirler. Ayrıca, lümen kanalı boyunca hareket eden partiküllerin kanalda kalma süreleri alveollere yönelen az miktardaki partikülden daha kısadır. Bu nedenle incelenen kanaldaki partiküllerin net dağılımının, özellikle eksenel yönde dağılım mekanizmasıyla gerçekleşmiştir. Sayısal sonuçlara göre, partikül çapının artışıyla partikül birikimi azalmıştır. Genel olarak, çapı $7 \mu\text{m}$ 'nin altındaki aerosol partiküller alveol boşluklarına yönelmişlerdir. Daha büyük

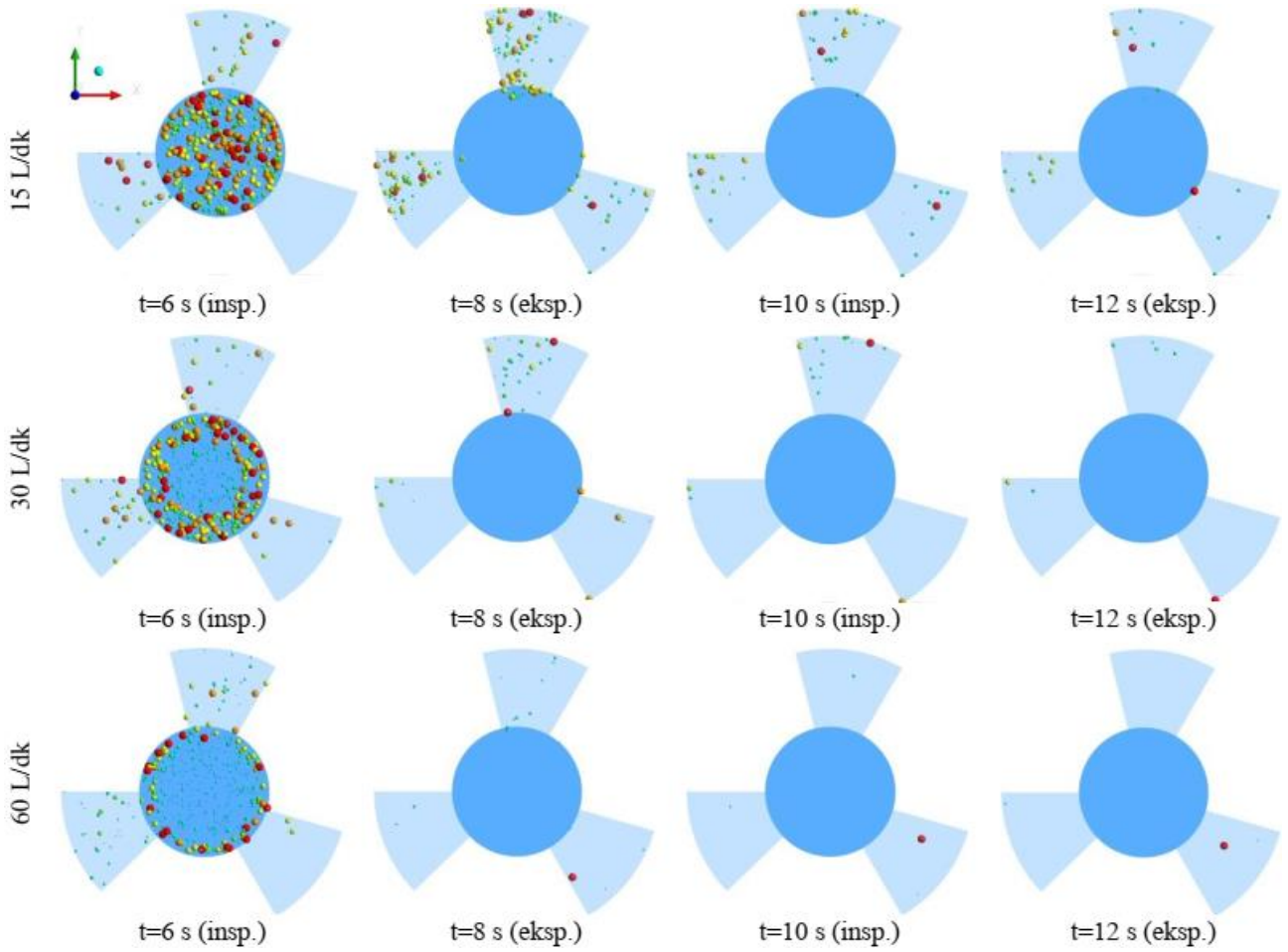
partiküllerin çoğu sahip oldukları yüksek ataletleri nedeniyle lümen kanal cidarına yakın hareket ederek ya kanal cidarında tutunmuştur ya da kanalı terk etmiştir (Şekil 6, $t=6$ s). Şekil 6 da ayrıca, Re sayısındaki artışla, solunum süresi boyunca model içerisinde biriken partiküllerin sayısında azalma olduğu görülmektedir. Böylece, akış debisindeki artışla daha fazla partikülün distal bölgelere iletildiği ve bu bölgelerde tutunmuş olabileceği söylenebilir. Bu nedenle, respiratuar bronşiol modelde aerosol birikiminin partikül boyutu ve akış debisiyle azaldığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 5. Respiratuar bronşiol modelde ikinci inspirasyon fazı sonrası ($t=6$ s) aerosol partiküllerinin dağılımı ($Q=15$ L/dk ve $Re=0.29$).

Şekil 6'da ayrıca, ekspirasyon fazı sonrasında ($t=8$ ve $t=12$ s) aerosol partiküllerinin durumu da görülmektedir. Ekspirasyon fazı sırasında, partiküller pulmoner bölgenin dışına yani üst akciğer nesillerine doğru hareket etmişlerdir. Dolayısıyla inspirasyon fazının aksine, ekspirasyonda partikül birikiminin proksimal bölgelerde daha yüksek olması beklenmektedir. Ekspirasyon sırasında alveollerin içinde bulunan partiküllerin bir kısmı alveolün kasılma hareketi nedeniyle lümen kanalına doğru geri çekilmiştir. Ancak, alveol içindeki hava akış hızı lümen kanalındakinden çok daha düşük olduğu için, ekspirasyon sırasında parçacıkların geriye doğru olan hareketleri de zayıftır ve böylece yüzeyde tutunma eğilimleri yüksektir. Buna yerçekiminin de etkisi eklenince ekspirasyon sırasında partiküllerin yörüngeleri, inspirasyon fazından

farklı olmuştur. Ekspirasyon fazı sırasında yerçekimi etkisi, partiküllerin kalma sürelerini artırmıştır ve dolayısıyla daha fazla sayıda partikül birikmiştir. Sonuç olarak, partiküllerin küçük bir kısmı ekspirasyon sonunda geometriden çıkmıştır. Daha büyük çaplı partiküller proksimal bölgede birikime yatkınken, daha düşük çaptaki partiküller orta (G18-G21) ve son nesillerde (G22-G23) daha fazla birikim gösterebilir (Çiloğlu, 2020). Bu durum, proksimal bölgede asılı halde bulunan çok sayıda büyük çaplı partikülden kaynaklanmaktadır. Bu asılı partiküllerin çoğu son inspirasyon fazında tekrar inhale olmuştur. Düşük inspirasyon akış debisi nedeniyle, bu asılı partiküller ekspirasyon esnasında orta asiner bölgeye kadar ulaşırlar ve sedimentasyon nedeniyle proksimal alveolar bölgede birikime eğilimlidirler.



Şekil 6. Respiratuar bronşiol modelde solunum periyodu süresince aerosol partiküllerinin dağılımı.

Üçüncü solunum çevrimi sırasında, kalan partiküller asinusun distal bölgelerine doğru hareket ettiği için kanal içerisinde hiçbir partikülün kalmadığı görülmektedir (Şekil 6, $t=10$ s). Diğer taraftan, alveol çukurlarında ise özellikle çapı $5 \mu\text{m}$ 'nin altındaki aerosol partiküllerinin biriktiği belirlenmiştir. Sonraki solunum döngülerinde ise respiratuar bronşiol modelde askıda kalan tüm parçacıklar asinusun daha da aşağısına taşınacak ve buradaki alveol keselerinde birikecektir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, insan akciğerinin asiner bölgesinde bulunan bir respiratuar bronşiol modelindeki alveollerde hava ve farklı boyutlardaki aerosol partiküllerinin partikül dinamikleri farklı solunum şartlarında (hafif, normal ve ağır solunum) ve ardışık nefes periyotlarında CFD kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan aerosol partiküllerinin Lagrange sürüklenmesiyle hareketlerini izlemek için modellenen respiratuar bronşiol kanalı üzerindeki alveoller, bir giriş ağzı bulunan basit çukursu geometriler olarak düşünülmüştür. Böylece, lümen kanalında ve bir alveol içindeki partikül

dinamiklerini ve bunların birbirleriyle etkileşimini incelemek mümkün olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, ritmik alveolar duvar hareketi alveollere doğru olan alveolar hava hareketini tetiklemiştir. Tüm akış durumlarında lümen kanalında simetrik bir akış profili meydana gelirken, alveollerde ise asimetrik bir akış profili ve girdaplı yapılar gözlenmiştir. Respiratuar bronşiol modelde partikül dinamikleri genel olarak aksel hava akışıyla karakterize olmuştur. İspirasyon ve ekspirasyon fazlarında aerosol partiküllerinin yörüngelerinin farklı olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, respiratuar bronşiol modelde aerosol birikiminin partikül boyutu ve akış debisiyle azaldığını göstermiştir. Çapı $7 \mu\text{m}$ 'nin üzerindeki aerosol partiküllerinin kanal cidarlarında biriktiği ve çapı $5 \mu\text{m}$ 'nin altındaki partiküllerin çoğunun ise alveol boşluklarında biriktiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, aerosol partiküllerinin çapındaki azalma ve akış debisindeki artışla daha fazla partikülün distal bölgelere iletildiği ve bu bölgelerde tutunmuş olabileceği söylenebilir. Ekspirasyon esnasında aerosol partiküllerinin bir kısmı alveollerden lümen kanalına doğru çekilerek asiner bölgenin

dışına çıkmışlardır, yani akciğerin daha üst nesillerine doğru hareket etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar alveollerin içindeki akış yapılarının resirkülasyon akışla önemli ölçüde değiştiğini rapor eden önceki çalışmalarla uyum içerisindedir (Henry vd., 2002; Darquenne vd., 2009; Kumar vd., 2009; Kumar vd., 2011). Elde edilen sonuçlar, ayrıca, solunan farmasötik veya zararlı partiküllerin alveolar bölgede durumu ile ilgili önemli fizyolojik sonuçlar sunmaktadır. Bu nedenle bu çalışma, Covid-19 sonrası kalıcı solunum sıkıntısı çeken hastalar için etkili tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Alveolar bölgenin derinlerinde yani distal nesillerdeki düşük Re sayılı akış, daralarak dallanan yapılar, alveol duvar hareketinin kararsızlığı ve kanal-alveolar akış faz gecikmesi gibi farklı mekanizmalar sayesinde partiküllerin birikimi tanımlanabilir ve gelecekteki bir çalışmanın konusu olabilir. İnsan akciğerinin tüm asiner bölgesi için aerosol partikül birikiminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekir ve bu tahminlerin in-vivo çalışmalarıyla tamamen uyum sağlamayacağı unutulmamalıdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise pulmoner bölgede hava ve partikül dinamiklerini simüle etmek için yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografi (CT) tabanlı alveol kesecikleri modelleri kullanılmıştır (Tawhai ve Lin, 2010). Geometrik varyasyonların yanında, inspirasyon ve ekspirasyon arasındaki dalga formu farklılıklarının ve duvar hareketinde kararsızlık gibi asimetri etkileri de henüz araştırılmamıştır.

Kaynaklar

Bennett, W.D. and Smaldone, G.C. (1985). Use of aerosols to estimate mean air-space size in chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of Applied Physiology*, 64(4), 1554-1560. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.4.1554>

Berg, E.J. and Robinson, R.J. (2011). Stereoscopic particle image velocimetry analysis of healthy and emphysemic alveolar sac models. *Journal of Biomechanical Engineering*, 133(6), 061004. <https://doi.org/10.1115/1.4004251>

Ciloglu, D. (2020). A numerical study of the aerosol behavior in intra-acinar region of a human lung. *Physics of Fluids*, 32(10), 103305. <https://doi.org/10.1063/5.0024200>

Darquenne, C. and Prisk, G.K. (2003). Effect of gravitational sedimentation on simulated aerosol dispersion in the human acinus. *Journal of Aerosol Science*, 34(4), 405-418. [https://doi.org/10.1016/s0021-8502\(02\)00187-8](https://doi.org/10.1016/s0021-8502(02)00187-8)

Darquenne, C. and Prisk, G.K. (2004). Effect of small flow reversals on aerosol mixing in the alveolar region of the human lung. *Journal of Applied Physiology*, 97, 2083-2089. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00588.2004>

Darquenne, C. and Paiva, M. (1996). Two- and three-dimensional simulations of aerosol transport and deposition in alveolar zone of human lung. *Journal of Applied Physiology*, 80(4), 1401-1414. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.4.1401>

Darquenne, C., Harrington, L. and Prisk, G.K. (2009). Alveolar duct expansion greatly enhances aerosol deposition: a three-dimensional computational fluid dynamics study. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 367, 2333-2346. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0295>

Fishler, R., Hofemeier, P., Etzion, Y., Dubowski, Y. and Sznitman, J. (2015). Particle dynamics and deposition in true-scale pulmonary acinar models. *Scientific Reports*, 5, 14071. <https://doi.org/10.1038/srep14071>

George, P.M., Wells, A.U. and Jenkins, R.G. (2020). Pulmonary fibrosis and COVID-19: the potential role for antifibrotic therapy. *Lancet Respiratory Medicine*, 2600(20), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30225-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30225-3)

Harding, E.M. and Robinson, R.J. (2010). Flow in a terminal alveolar sac model with expanding walls using computational fluid dynamics. *Inhalation Toxicology*, 22(8), 669-678. <https://doi.org/10.3109/08958371003749939>

Harrington, L., Prisk, G.K. and Darquenne, C. (2006). Importance of the bifurcation zone and branch orientation in simulated aerosol deposition in the alveolar zone of the human lung. *Journal of Aerosol Science*, 37(1), 37-62. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.03.005>

Henry, F.S., Butler, J.P. and Tsuda, A. (2002). Kinematically irreversible acinar flow: A departure from classical dispersive aerosol transport theories. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 835-845. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00385.2001>

Henry, F.S., Laine-Pearson, F.E. and Tsuda, A. (2009). Hamiltonian chaos in a model alveolus. *Journal of Biomechanical Engineering*, 131(1), 011006. <https://doi.org/10.1115/1.2953559>

Heyder, J. (2004). Deposition of inhaled particles in the human respiratory tract and consequences for regional targeting in respiratory drug delivery. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 1(4), 315-320. <https://doi.org/10.1513/pats.200409-046TA>

- Heyder, J., Blanchard, J.D., Feldman, H.A. and Brian, J.D. (1988). Convective mixing in human respiratory tract: Estimates with aerosol boli. *Journal of Applied Physiology*, 64(3), 1273-1278. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.3.1273>
- Katan, J.T., Hofemeier, P. and Sznitman, J. (2016). Computational models of inhalation therapy in early childhood: Therapeutic aerosols in the developing acinus. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 29(3), 288-298. <https://doi.org/10.1089/jamp.2015.1271>
- Knudsen, L., Weibel, E.R., Gundersen, H.J.G., Weinstein, F.V. and Ochs, M. (2010). Assessment of air space size characteristics by intercept (chord) measurement: An accurate and efficient stereological approach. *Journal of Applied Physiology*, 108(2), 412-421. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01100.2009>
- Kumar, H., Tawhai, M.H., Hoffman, E.A. and Lin, C.L. (2009). The effects of geometry on airflow in the acinar region of the human lung. *Journal of Biomechanics*, 42(11), 1635-1642. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.04.046>
- Kumar, H., Tawhai, M.H., Hoffman, E.A. and Lin, C.L. (2011). Steady streaming: A key mixing mechanism in low-Reynolds-number acinar flows. *Physics of Fluids*, 23(4), 1-21. 41902. <https://doi.org/10.1063/1.3567066>
- Lee, D.Y. and Lee, J.W. (2003). Characteristics of particle transport in an expanding or contracting alveolated tube. *Journal of Aerosol Science*, 34(9), 1193-1215. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(03)00097-1)
- Ottino, J.M., Leong, C.W., Rising, H. and Swanson, P.D. (1988). Morphological structures produced by mixing in chaotic flows. *Nature*, 333(6172), 419-425. <https://doi.org/10.1038/333419a0>
- Sarangapani, R. and Wexler, A.S. (1999). Modeling aerosol bolus dispersion in human airways. *Journal of Aerosol Science*, 30(10), 1345-1362. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(99\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(99)00027-0)
- Sznitman, J., Heimsch, T., Wildhaber, J.H., Tsuda, A. and Rosgen, T. (2009). Respiratory flow phenomena and gravitational deposition in a three-dimensional space-filling model of the pulmonary acinar tree. *Journal of Biomechanical Engineering*, 131(3), 031010. <https://doi.org/10.1115/1.3049481>
- Sznitman, J., Sutter, R., Altorfer, D., Stampanoni, M., Rosgen, T. and Schittny, J.C. (2010). Visualization of respiratory flows from 3D reconstructed alveolar airspaces using X-ray tomographic microscopy. *Journal of Visualization*, 13(4), 337-345. <https://doi.org/10.1007/s12650-010-0043-0>
- Talaat, K. and Xi, J. (2017). Computational modeling of aerosol transport, dispersion, and deposition in rhythmically expanding and contracting terminal alveoli. *Journal of Aerosol Science*, 112, 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.07.004>
- Tawhai, M.H. and Lin, C.-L. (2010). Image-based modeling of lung structure and function. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 32, 1421-1431. <https://doi.org/10.1002/jmri.22382>
- Tsuda, A., Henry, F.S. and Butler, J.P. (1985). Chaotic mixing of alveolated duct flow in rhythmically expanding pulmonary acinus. *Journal of Applied Physiology*, 79(3), 1055-1063. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.3.1055>
- Tsuda, A., Rogers, R.A., Hydon, P.E. and Butler, J.P. (2002). Chaotic mixing deep in the lung. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 99(15), 10173-10178. <https://doi.org/10.1073/pnas.102318299>
- Xia, G, Tawhai, M.H., Hoffman, E.A. and Lin, C.-L. (2010). Airway wall stiffness and peak wall shear stress: A fluid-structure interaction study in rigid and compliant airways. *Annals of Biomedical Engineering*, 38(5), 1836-1853. <https://doi.org/10.1007/s10439-010-9956-y>
- Xia, G. and Lin, C.-L. (2008). An unstructured finite volume approach for structural dynamics in response to fluid motions. *Computers & Structures*, 86(7), 684-701. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2007.07.008>

Farklı ışık kaynakları altında kristal viyole boyar maddesinin kaolin-BiFeO₃ nanokompozit üzerinde fotobozunması

Photodegradation of crystal violet dyestuff on kaolinite-BiFeO₃ nanocomposite under different light irradiations

Eda KELEŞ GÜNER^{*1,a}, Fatih İÇER^{2,b}, Agah Oktay ÖZDEMİR^{3,c}, Bülent ÇAĞLAR^{2,d}

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Üzümlü Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 24150, Erzincan

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 24150, Erzincan

³Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 24150, Erzincan

• Geliş tarihi / Received: 09.02.2021

• Düzeltiletilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 15.05.2021

Öz

Kaolin yüzeyine perovskit yapılı BiFeO₃ (BFO) nanoparçacıklarının yerleştirilmesiyle kaolin-BiFeO₃ (KBFO) nanokompoziti hazırlandı. Saf kaolin (K), saf BFO ve hazırlanan KBFO nanokompozitin fotokatalitik aktiviteleri UVA ve görünür bölge ışınları altında katyonik bir boyar madde olan kristal viyole (KV)'nin fotokatalitik bozunması incelenerek değerlendirildi. KBFO nanokompozitinin diğer katalizörlere nispeten daha yüksek fotokatalitik aktivite sergilediği ve fotobozunmanın yalancı birinci dereceden kinetik izlediği belirlendi. Ayrıca pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve katalizör miktarı gibi deneysel parametrelerin fotokataliz reaksiyonuna etkileri incelenerek en uygun değerleri tespit edildi. pH 9'da 10mgL⁻¹ başlangıç boya konsantrasyonunda ve 100 mg katalizör varlığında KV'nin KBFO katalizörü üzerindeki fotokatalitik bozunma verimleri UVA ve GB ışınları altında sırasıyla %84 ve %89 olarak belirlendi. KV'nin KBFO nanokompozit üzerindeki fotokatalitik bozunmasından sorumlu olan reaktif türlerinin katkısını belirlemek için radikal süpürücü deneyler yapıldı ve olası mekanizma önerildi. Yapılan radikal süpürücü deneylerine göre hidroksil radikallerinin KV'nin fotokatalitik bozunmasında başlıca role sahip olduğu tespit edildi.

Anahtar kelimeler: BiFeO₃, Fotokataliz, Kaolin, Kinetik, Kristal viyole

Abstract

Kaolinite-BiFeO₃ (KBFO) nanocomposite was prepared by decorating of perovskite structured BiFeO₃ (BFO) nanoparticles on kaolinite surface. Photocatalytic activities of pure kaolin (K), bare BFO and obtained KBFO nanocomposite were evaluated by examining the photocatalytic degradation of cationic crystal violet dyestuff (CV) under UVA and visible light irradiations (GB). KBFO nanocomposite exhibited higher photocatalytic activity than other catalysts and it was determined that photodegradation followed pseudo first order kinetic. In addition, the optimal values were determined by investigating the effects of experimental parameters such as pH, initial dye concentration and catalyst amount values over photocatalysis. The photocatalytic degradation efficiencies of KV on KBFO at pH 9, presence of 10mgL⁻¹ initial dye concentration and 100mg catalyst under UVA and GB light regions were determined as 84% and 89%, respectively. To determine the contribution of the reactive species responsible for the photocatalytic degradation of KV on the KBFO nanocomposite, radical scavenging experiments were performed and a possible mechanism was proposed. According to radical scavenging experiments, hydroxyl radicals have a major role in the photocatalytic degradation of CV.

Keywords: BiFeO₃, Photocatalysis, Kaolinite, Kinetic, Crystal violet

*a Eda KELEŞ GÜNER; eda.guner@erzincan.edu.tr; Tel: (0446) 441 34 61; orcid.org/0000-0002-4421-1315

^b orcid.org/0000-0003-1696-3197

^c orcid.org/0000-0003-4488-746X

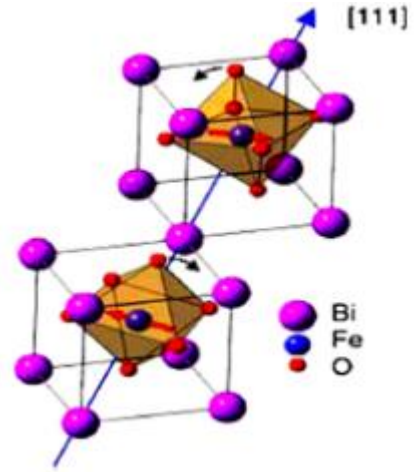
^d orcid.org/0000-0002-6087-3685

1. Giriş

Dünya üzerindeki yaşamın devamı temiz su kaynaklarına bağlıdır. Halbuki, 21. yüzyılda artan nüfus, sanayileşme ve küresel ısınma sebebiyle temiz su kaynakları giderek azalmaktadır. Özellikle tekstil, kozmetik, plastik, ilaç, boya gibi endüstrinin birçok dalında kullanılan boya ve diğer atık maddeler su kaynaklarını kirleterek çevreyi tehdit etmektedir (Wang vd., 2015; Basavarajappa vd., 2018; Çağlar vd., 2018; Du vd., 2020; Kızıltaş ve Tekin, 2020). Hayli toksik oldukları bilinen bu kirleticilerin sulardan giderimi için çöktürme, adsorpsiyon, ozonlama, kimyasal oksidasyon, ters ozmoz, membran filtrasyonu gibi çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemlerin yüksek maliyet, zararlı yan ürünlerin oluşması, seçici olmamaları ve yüksek enerji gereksinimi gibi dezavantajlarından ötürü daha ileri oksidasyon prosesleri tercih edilmektedir (Thiam vd., 2015; Ortiz vd., 2016; Huang vd., 2017; Gopi vd., 2017). Bu ileri proseslerden biri olan fotokataliz yöntemi daha hesaplı, verimi yüksek, daha pratik ve uygulaması kolay olduğundan ötürü oldukça cazip hale gelmiştir (Mohanty vd., 2020; Kızıltaş vd., 2020; Zou vd., 2017). Fotokataliz; uygun enerjili ışık kaynağı ve oksijen veya hava gibi bir yükseltgen madde varlığında yarı iletken özelliğe sahip fotokatalizör katılarından faydalanarak zararlı atıkların parçalanıp giderilmesi işlemine dayanmaktadır. Bu proste, daha çok TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , SnO_2 , WO_3 , ZrO_2 , Nb_2O_5 , CdS ve ZnS gibi yarı iletkenler ve metal oksitler fotokatalizör olarak kullanılmaktadır (Bozkurt Çırak vd., 2019; Gusain vd., 2019; Priya vd., 2020). Ancak bu verilen fotokatalizörler genelde UV ışınması altında etkinlik gösterir ve bant genişliğinin yüksek olmasından dolayı görünür bölge veya güneş ışınları altında yeterince aktif değildir. Bu sebeple, bant genişliğini azaltmak ve görünür ışık altında etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, farklı metal veya metal olmayan katkılar ilave etme, yüzey modifikasyonu, başka bir yarıiletken ile kompozit oluşturma, karbon esaslı malzemeler ile modifiye etme ve platform kullanma gibi teknikler tercih edilmektedir (Karlsson vd., 2008; Abazari vd., 2016; Chang vd., 2016).

Son zamanlarda, bizmut temelli karışık oksitler görünür bölge ve güneş ışığına duyarlı fotokatalizörler elde etmek için yeni potansiyel adaylar olarak büyük ilgi uyandırmıştır (Moniruddin vd., 2018; Haruna vd., 2020). Genel yapısı ABO_3 şeklinde olan (A ve B: katyonlar) kristallere perovskit oksitler denir. Bu yapıda A

katyonu bizmut ve B iyonu demir (Fe) olan kristal bizmut ferrit kristalidir. Bu nedenle terminolojik olarak perovskit ferrit yerine bizmut ferrit ($BiFeO_3$) olarak adlandırılır. Perovskit krsitalleri A ve B katyonlarının özelliklerine göre veya farklı katkılar ile ferromanyetik, ferroelektrik ve multiferroik olabilirler. İdeal kübik yapıdaki bir perovskit kristal çok önemli manyetik ve manyetoelektrik özellikleri olan bir malzeme değildir. Ancak kristal simetrisi bozulmuş perovskit malzemelerin önemli manyetik ve elektriksel özellikleri vardır (Volnistem vd., 2020). BFO ayrıca, uygun bant genişliği (~ 2.2 eV) ve mükemmel kimyasal kararlılığı sebebiyle organik kirleticilerin bozulması ve suyun ayrışması için kullanılan görünür ışığa duyarlı önemli bir yarı iletken fotokatalizördür. Bizmut ferritin kristal yapısı Şekil 1'de verilmiştir (Safi ve Shokrollahi, 2012).

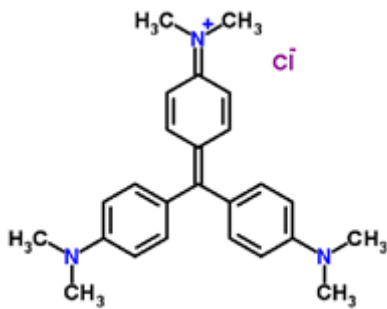


Şekil 1. BFO kristal yapısı

Bununla birlikte saf bizmut ferritte, uyarılma sonucu oluşan elektron/boşluk çiftleri birbirleriyle yeniden etkileşerek (rekombinasyon) ileri reaktif türlerin oluşumunu engellerler ve fotokatalitik performansı azaltırlar. BFO'daki bu rekombinasyonu azaltmak ve fotokatalitik performansı arttırmak için özellikle kil, grafen ve karbon nanotüp gibi platformlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu platformlar ayrıca uygun bir yüzey sağlayarak dekore olan BFO nanopartiküllerinin bu yüzeyde daha iyi dağılarak nanopartiküllerin boyutunun, gözenek genişliğinin ve agregasyonunun azalmasına sebep olurlar ve böylece BFO nanopartiküllerin fotokatalitik performansının artmasını sağlarlar. Buna ilaveten kullanılan platformlar katalitik aktif merkezlere sahip olmalarından ötürü boya moleküllerinin adsorpsiyonunu ve oluşan radikallerin tutunan bu boyalara ulaşmasını kolaylaştırarak fotokatalitik prosese ilave katkıda bulunurlar (Çağlar vd., 2018).

Kil temelli malzemeler, geleneksel seramiklerden modern fonksiyonel nanokompozitlere kadar geniş bir uygulama alanlarına sahip olmaları nedeniyle büyük ilgi görmektedirler. Tabakalı yapıya, büyük yüzey alanına ve bazı spesifik özelliklerine bağlı olarak kil temelli ileri malzemeler katalizörler desteklerinde ve/veya katalizör olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Killer sulu alüminyum silikatlar olup, çevre dostu, doğada bol miktarda bulunan, kolay ulaşılabilir, kimyasal kararlılığa sahip, düşük maliyetli ve mekanik dayanımı yüksek malzemelerdir. Kil minerallerinin önemli bir alt grubu olan ve bir tetrahedral tabaka üzerine bir oktahedral tabakanın yerleşmesiyle meydana gelen kaolin; adsorpsiyon yeteneği, tabakalı silikat yapısı ve yüksek termal kararlılığından ötürü titanyum dioksit, karbon nitrid, çinko oksit, demir oksitler, bakır ferrit, bakır çinko oksit ve grafen oksit gibi nanoyapıların yerleştirilmesiyle yeni nanokompozit fotokatalizörlerin hazırlanmasında platform olarak kullanılmıştır (Guo vd., 2014; Dong vd., 2019; Li vd., 2018; Fei vd., 2020; Keleş Güner ve Çağlar, 2020). Ancak, literatürde, BFO nanoparçacıklarının kaolin yüzeyine yerleştirilmesiyle hazırlanan nanokompozitin KV'nin fotobozunmasında katalizör olarak kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada BFO nanoparçacıklarının tabakalı yapıya sahip kaolin yüzeyine yerleştirilmesiyle; BFO nanoparçacıklarının agregasyonunun azalması, kaolinin adsorbe özelliğiyle tutunan boya moleküllerinin artması ve neticesinde fotokatalitik performansının artırılması amaçlanmıştır.

Kristal viyole (KV), tekstil endüstrisinde, boyamada, veterinerlikte ve tıpta önemli ölçüde kullanılan ve bu sebeple çevre kirliliğine sebep olan toksik bir boyadır. Şekil 2'de molekül yapısı verilen KV, suda kolaylıkla çözünebilen aromatik yapılu katyonik (bazik) bir boyadır.



Şekil 2. KV Molekül Yapısı

BFO nanoparçacıklarının fotokatalitik performansını artırmak için, bu çalışmada kaolin

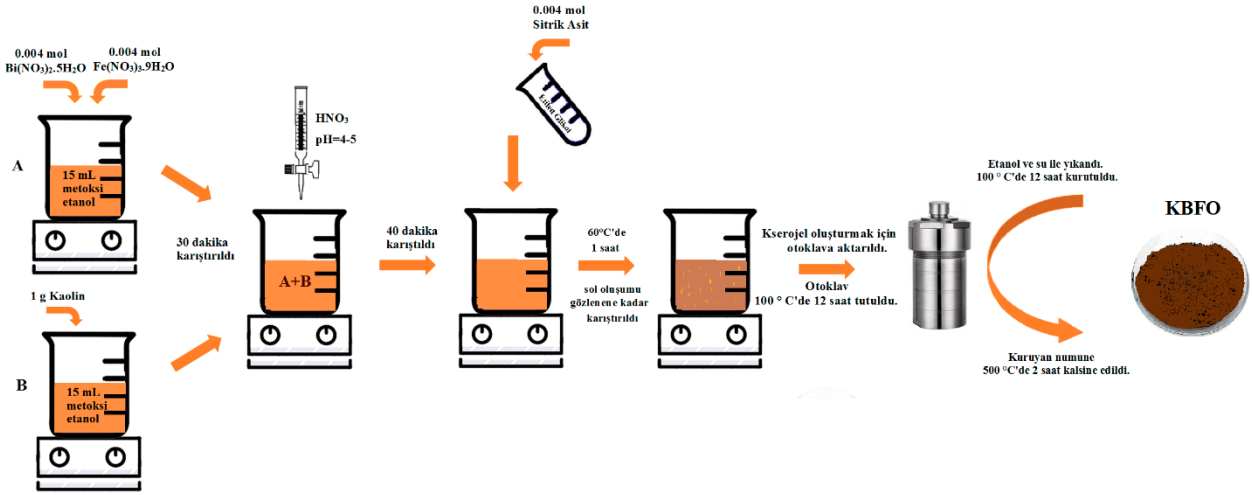
yüzeyine BFO nanoparçacıklarının yerleştirilmesiyle KBFO nanokompoziti hazırlanmıştır. Elde edilen nanokompozitin, saf kaolinin ve saf BFO nanokompozitlerin heterojen fotokatalitik aktiviteleri karşılaştırılması olarak, sulu çözeltiden kristal viyole (KV) boya maddesinin UVA ve GB ışınları altında foto-parçalanması takip edilerek araştırılmıştır. pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve katalizör miktarı gibi faktörlerin bu fotokataliz deneyi üzerine etkileri araştırılmıştır ve reaksiyon kinetiği de değerlendirilmiştir. Ayrıca, 2-propanol, L-askorbik asit, sodyum EDTA tuzu ve AgNO₃ gibi radikal süpürücüler kullanılarak fotokatalitik bozunmada rol alan reaktif türlerin katkısı belirlenerek, olası mekanizma önerilmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. BFO nanopartiküllerin ve KBFO nanokompozitin sentezlenmesi

Kaolin, bizmut (III) nitrat pentahidrat (Bi(NO₃)₃.5H₂O), demir nitrat nonahidrat (Fe(NO₃)₃.9H₂O), sitrik asit monohidrat (C₆H₈O₇.H₂O), 2-metoksietanol (C₃H₈O₂), etilen glikol (CH₂OH)₂, nitrik asit (HNO₃), amonyak çözeltisi (NH₃) (ağırlıkça % 32) ve kristal viyole (C₂₅N₃H₃₀Cl) Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca, deiyonize su kullanılmıştır.

KBFO nanokompozit, sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir (Gao vd., 2007). A çözeltisi: 15 mL 2-metoksietanol içerisinde eş molar (0.004 mol) Fe(NO₃)₃.9H₂O ve Bi(NO₃)₃.5H₂O çözünerek hazırlandı. B süspansiyonu: aynı miktardaki 2-metoksietanol'de 1g kaolinin manyetik karıştırıcıda dağıtılmasıyla hazırlandı. 30 dakika sonra A çözeltisine, B süspansiyonu sürekli karıştırma altında damla damla ilave edildi. 40 dakika boyunca karıştırma işlemi devam ederken HNO₃ çözeltisi ilave edilerek pH 4-5'e ayarlandı. Daha sonra bu karışıma 0.004 mol sitrik asit ve 5 mL etilen glikol ilave edildi. 60 °C'de sol oluşumu gözlenene kadar yaklaşık 1 saat karıştırılmaya devam edildi. Sol oluşumunun ardından, numune teflon astarlı paslanmaz çelik otoklava aktarıldı ve xerojel oluşturmak için 100 °C'de 12 saat tutuldu. Ardından, elde edilen numune 100 °C'de 1 gün boyunca kurutuldu. Daha sonra numune 500 °C'de 2 saat kalsine edilerek KBFO nanokompozit elde edildi. Saf BFO nanopartikülleri, kaolin süspansiyonu eklenmeden yukarıdaki prosedür gibi hazırlandı. Deney prosedür akış diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. KBFO'nun sentez diyagramı

2.2. Karakterizasyon

Numunelerin SEM/EDX analizleri alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (Quanta FEG 450-FEI) kullanılarak yapılmıştır.

2.3. Fotokataliz çalışmaları

Sentezlenen KBFO nanokompozit katalizörün fotokatalitik aktivitesi, KV boya maddesinin fotobozunması incelenerek değerlendirildi. Fotokatalitik aktivite testleri fotoreaktör cihazında (Luzchem, LZC-4X) hem UVA lambası altında hem de LED lambalar ile görünür bölge ışınları altında gerçekleştirildi. Bütün ölçümler, katalizörlerin iyi dağılması için sabit hızda karıştırma altında ve oda sıcaklığında yapıldı.

KV'nin fotobozunması üzerine katalizör miktarı (20 ile 200 mg L⁻¹ arasında), başlangıç boya konsantrasyonu (5 mgL⁻¹ ile 20 mgL⁻¹ arasında) ve başlangıç çözelti pH'sı (3 ile 9.0 arasında) gibi önemli parametreler UVA ve görünür bölge ışınları altında incelendi ve en uygun parametreler belirlendi. Başlangıç çözelti pH'sı NaOH (0.1 M) ve/veya HCl (0.1 M) ile ayarlandı. Daha sonra, KV'nin fotobozunması ayrı ayrı saf kaolin (K), saf bizmutferrit (BFO) ve kaolin-bizmutferrit nanokompozit (KBFO) katalizörleri varlığında zamanın fonksiyonu olarak incelendi. Fotokatalitik reaksiyon çözeltileri, katalizör yüzeyi üzerinde KV moleküllerinin adsorpsiyon/desorpsiyon dengesini

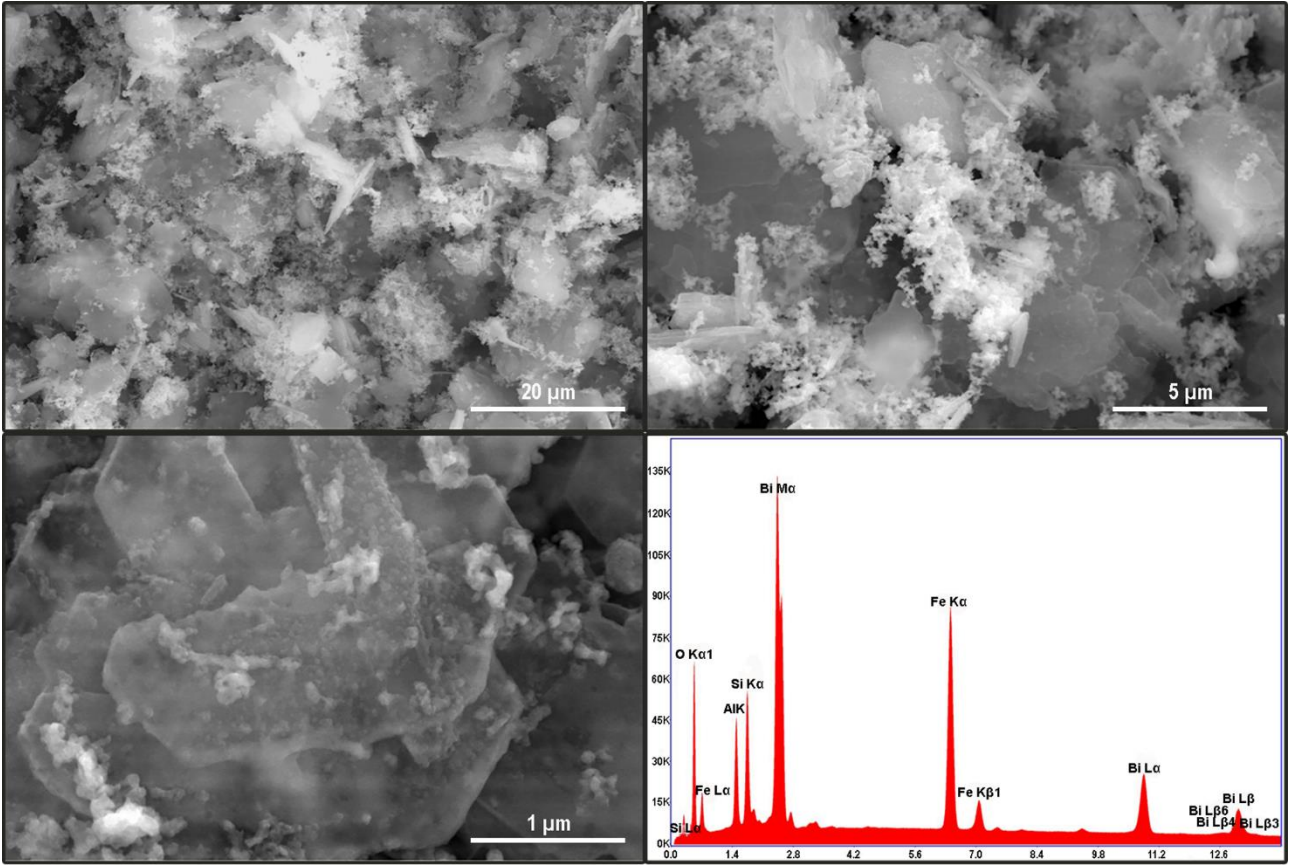
sağlamak için 60 dakika boyunca karanlıkta karıştırıldı. Başlangıç boya konsantrasyonu (C₀) adsorpsiyon /desorpsiyon dengesi tamamlandıktan sonra çözeltilerden 2 mL alınıp maksimum dalga boyundaki (590nm) absorpsiyon ölçülerek belirlendi. Daha sonra KV'nin fotobozunmasını incelemek için belirlenen zaman aralıklarında çözeltilerden 1 mL'lik kısımlar alınarak UV-görünür spektrofotometresinde maksimum dalga boyunda (590nm) absorpsiyonları ölçüldü ve Lambert-Beer eşitliğiyle konsantrasyonları belirlendi (C_t). KV'nin fotobozunması, eşitlik (1)'e göre değerlendirildi ve tüm fotobozunma çalışmaları aynı koşullar altında üç kez tekrarlandı. Elde edilen sonuçların ortalaması grafiğe geçirildi ve tüm çalışmalar için bağıl standart sapma değerleri %2.3 ile 5.4 aralığında hesaplandı.

$$\text{Bozunma (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

burada C₀ ve C_t, sırasıyla başlangıç ve t anında KV'nin konsantrasyonlarıdır.

3. Bulgular ve tartışma

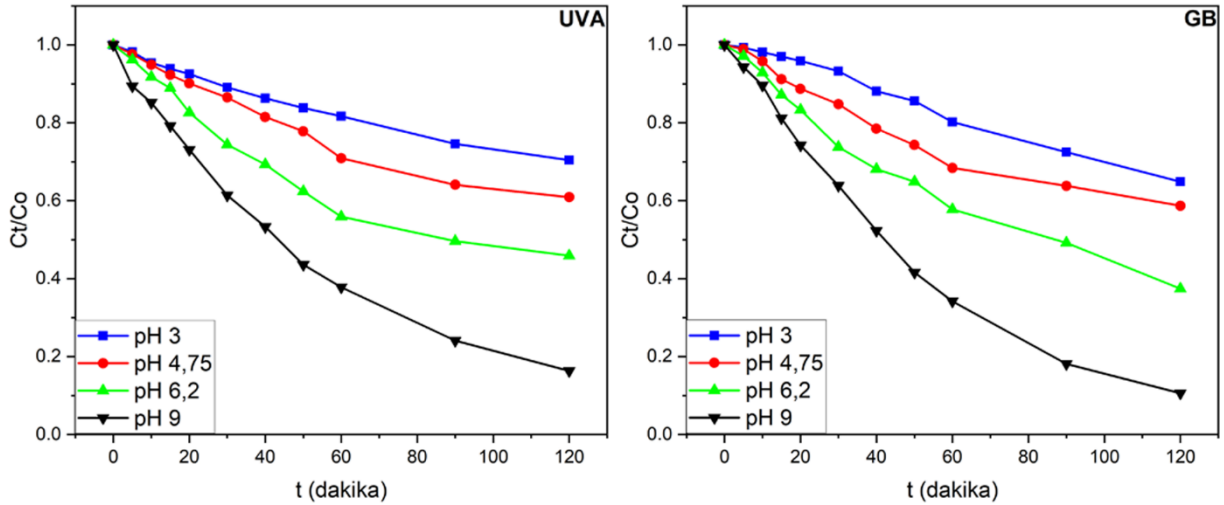
KBFO nanokompozitinin SEM-EDX görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. BFO nanoparçacıklarının kaolin yüzeyine dağılarak yerleştiği görülmektedir. Numunenin EDX analizinde Al, Si, Bi, O ve Fe elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Al, Si ve O elementleri kaolinin kili için karakteristik iken Bi, Fe ve O elementleri de BFO nanoparçacıklarının varlığını ispatlamaktadır.



Şekil 4. KBFO numunesinin SEM/EDX görüntüleri

Fotokataliz tepkimelerde boyar madde çözeltisinin başlangıç pH'sının önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Çözeltinin başlangıç pH'sı gerek boyar maddenin formunu ve yükünü değiştirerek gerekse katalizörün yüzey yükünü değiştirerek fotokataliz performansına etki etmektedir. pH=0.8 üzerindeki pH değerlerinde katyonik yapıya sahip olan KV boyar maddesi, 9.5'in üzerindeki pH larda

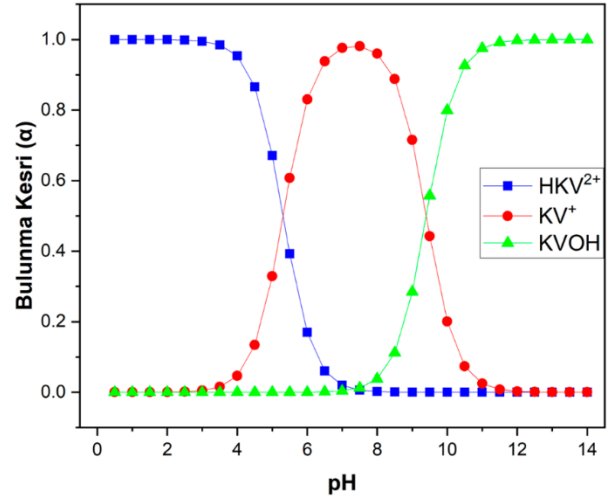
(pH > 9.5) çözelti renksiz forma dönüşmüştür. Bu durumda maksimum dalga boyundaki absorpsiyon pikinin kaybolmasına sebep olur (Devi vd., 2017). Bu yüzden deneylerimiz pH 9'a kadar çalışılmıştır. En uygun pH değerini belirlemek için, 10 mgL⁻¹ (100 mL) KV boyasının 100 mg KBFO katalizörü üzerindeki fotobozunması çözeltinin ilk pH'sı 3 ile 9 aralığında incelenerek belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. KV'nin fotobozunması üzerine pH'nın etkisi (Katalizör miktarı: 100mgL⁻¹, başlangıç boya konsantrasyonu:10 mgL⁻¹)

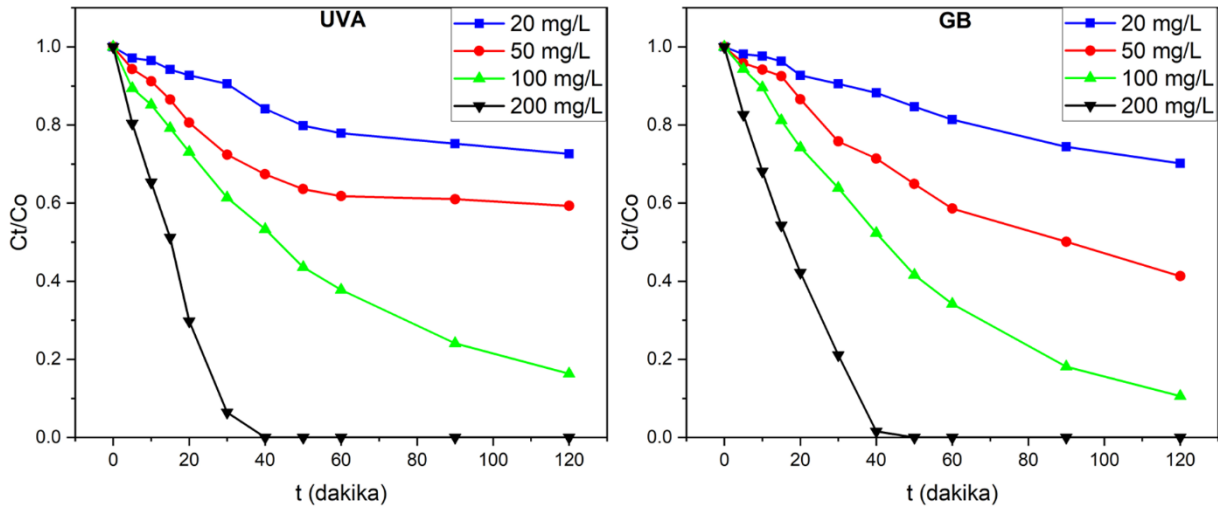
Şekil 5'te görüldüğü gibi UVA ışması altında pH 3, 4.75, 6 ve 9'da KV'nin fotobozunmaları (120 dakika sonunda) sırasıyla %29.6, 39.1, 54.1 ve 83.7 olurken; görünür bölge ışığı altında sırasıyla % 35.1, 41.3, 62.6 ve 89.4 olarak belirlenmiştir (120 dk üzeri sürelerde fotobozunma oranı değişmediğinden grafikler 120 dk'ya kadar çizilmiştir). Görüldüğü üzere, bütün pH'larda görünür ışık altında KV'nin fotobozunmaları UVA ışması altındaki bozunmalarına yakın olmakla beraber nispeten daha yüksektir. Bu durum elde edilen yeni nanokompozitin fotokatalitik performansının hem görünür ışık hem de UVA ışması altında hayli etkili olduğunu göstermektedir. Her iki ışık kaynağı altında boyar maddenin pH 9'daki fotobozunması diğer pH'larda ki bozunmalarına göre daha fazla olmuştur. Bu durumun muhtemel iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi, KV boyasının sulu çözeltilerde pH'ye bağlı olarak farklı türlerinin bulunmasıdır. Şekil 6'da KV molekülünün tür kesirlerinin pH'ya bağlı değişimi gösterilmiştir. Asidik çözelti ortamında KV yapısındaki azot atomları üzerinden protonlanarak HKV^{2+} türünü oluşturmaktadır. Çözelti pH'sı 5.3 ile 10.5 olduğu durumda KV^+ formu baskındır. Daha bazik çözeltilerde renksiz $KVOH$ formu baskın olarak bulunmaktadır. Bu durum, pH 9.0'da KV boyasının hala katyonik yapıda olduğunu göstermektedir. Diğer bir sebebi ise, çözeltinin pH'sı arttıkça, kaolin yüzeyindeki negatif yüklü merkezlerin sayısı artarken pozitif yüklü merkezlerin sayısı azalmasıdır. Böylece, negatif yüklü kaolin üzerine adsorbe olan katyonik KV moleküllerinin miktarı artmaktadır (Doğan vd., 2009). Düşük pH'larda ise ortamda yüksek miktarda bulunan hidronyum iyonları katyonik yapıdaki boyar madde ile yarışmaya girmektedir.

Hidronyum iyonun yüksek mobilitesi göz önüne alındığında pH arttıkça, katalizör yüzeyine bağlanan boyar madde miktarının artacağı açıktır. Dolayısıyla, fotokatalizde oluşan reaktif türler katalizör yüzeyine tutunmuş boyar maddelere daha kolayca ulaşarak onların parçalanmasını hızlandırmaktadır. Yukarıda açıklanan sebepler, artan pH ile fotokataliz veriminin artışı açıklamaktadır. Elde edilen verilere göre en uygun pH değeri 9 olarak belirlenmiş ve sonraki tüm deneylerde bu pH değeri kullanılmıştır.



Şekil 6. KV'nin tür kesirlerinin pH'ya bağlı değişimi

En uygun katalizör miktarını belirlemek için KV'nin fotobozunması KBFO nanokompozit miktarı 20, 50, 100 ve 200 mg olmak üzere dört farklı miktarda alınarak (pH 9, başlangıç boya konsantrasyonu 10 mgL^{-1} ve oda sıcaklığı şartlarında) çalışılmıştır (Şekil 7).

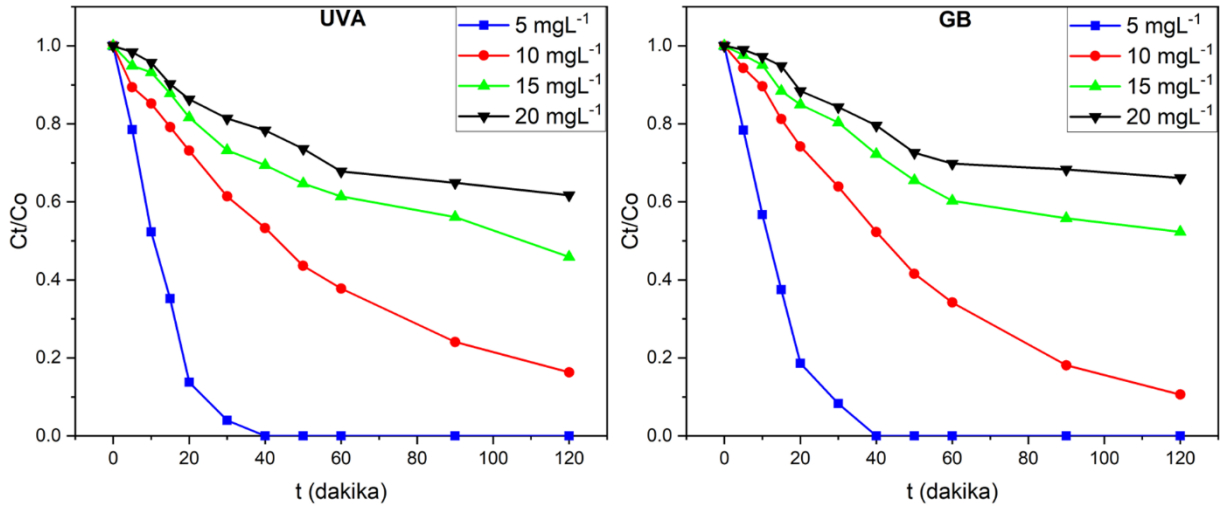


Şekil 7. KV'nin fotobozunması üzerine katalizör miktarının etkisi (pH:9, başlangıç boya konsantrasyonu: 10 mgL^{-1})

Şekil 7'de, UVA ışması altında KV'nin KBFO nanokompozit üzerindeki bozunma oranının, katalizör miktarının 20'den 200 mg'ye artırılmasıyla %27.4'den %100'e yükseldiği; görünür bölge ışılması altında ise % 29.8'den %100'e yükseldiği görülebilir. Bu durum artan katalizör miktarı ile katalizördeki aktif merkezlerin sayısının artmasıyla daha çok miktarda KV boyar maddesinin yüzeye tutunmasına imkân sağlamasıyla ilişkilidir. Her iki ışık kaynağı içinde 200 mg katalizör miktarı varlığında KV'nin yaklaşık 40 dakikada tamamen bozunduğu görülmektedir. Ancak kinetik çalışmalarını daha detaylı çalışmak için katalizör miktarı 100 mg olarak seçilmiştir.

Başlangıç boya konsantrasyonunun KV'nin foto bozunma üzerindeki etkisini belirlemek için, UVA ve görünür ışmaları altında KBFO nanokompozit üzerinde pH 9'da, 100 mg katalizör varlığında, 5 mgL⁻¹ ile 20 mgL⁻¹ arasında farklı başlangıç boya konsantrasyonların varlığında bir dizi bozunma

deneyi gerçekleştirildi. 5 mgL⁻¹'den 20 mgL⁻¹'e artan başlangıç boya konsantrasyonunun, boya molekülleri tarafından katalizör yüzeyinde daha fazla fotokatalitik aktif merkezlere girmesi sebebiyle KV'nin fotobozunma verimlerinin kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Buna ilaveten fotokatalitik çalışmalarda artan boya konsantrasyonuyla boya çözeltisinin şeffaflığının azalması ışmaların katalizör yüzeyine nüfusunun azalttığı bilinen bir durumdur (Nandi vd., 2008; Khani vd., 2013). Artan KV molekülleri daha fazla ışmayı soğurarak, daha az fotonun fotokatalizör yüzeyine ulaşmasına ve dolayısıyla daha düşük bir fotobozunma verimine sebep olur. UVA ve görünür ışmaları altında KV'nin başlangıç konsantrasyonu 5.0 mgL⁻¹ olduğunda, her iki katalizör için bozunma verimleri 40 dakikada %100'e ulaşmıştır (Şekil 8). Ancak kinetik verilerini daha iyi detaylı incelemek için en uygun başlangıç boya konsantrasyonu olarak 10 mgL⁻¹ belirlenmiştir.

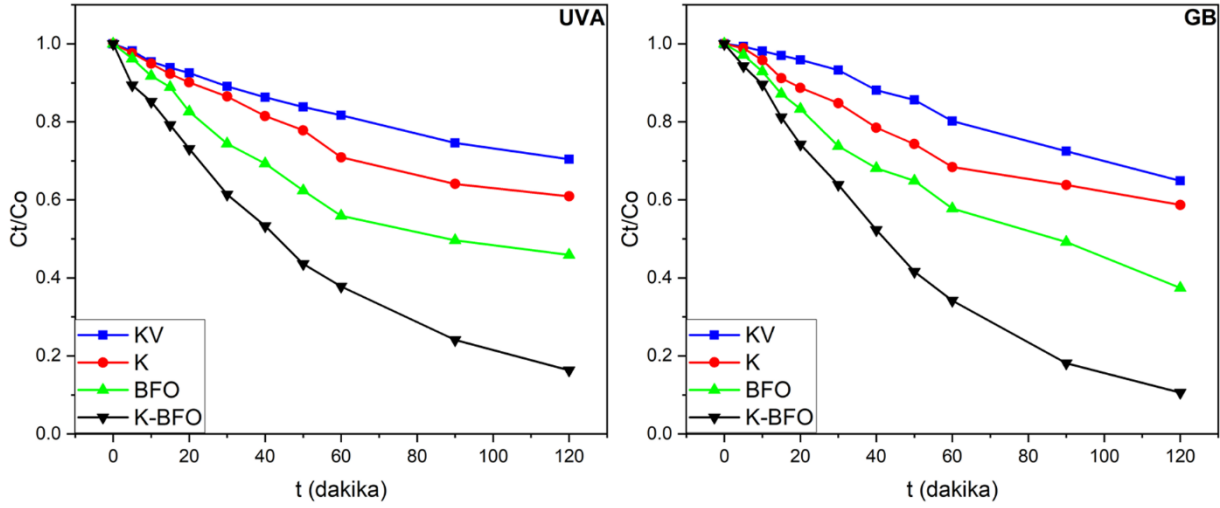


Şekil 8. KV'nin fotobozunma üzerine boya konsantrasyonunun etkisi (pH:9, katalizör miktarı:100mgL⁻¹)

Yukarıdaki sonuçlara göre, KV'nin KBFO'e göre fotokatalitik bozunması için en uygun şartlar, her iki ışık kaynağı için 10 mgL⁻¹'lik başlangıç KV konsantrasyonu, 100 mg'lik katalizör miktarı ve pH 9 olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan KBFO nanokompozitinin fotokatalitik aktivitesi, adsorpsiyon/desorpsiyon dengelemesinden sonraki zamanın fonksiyonu olarak UVA ve görünür bölge ışmaları altında model kirlenici olarak KV boyarmaddesinin

fotobozunmasına göre belirlenmiştir. Tüm fotobozunma çalışmaları, yukarıda verilen en uygun şartlar altında yapılmıştır. Karşılaştırma amacıyla, katalizörsüz saf KV'nin ve ayrı ayrı saf K ve BFO nanopartiküllerinin varlığında KV'nin fotobozunması aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. UVA ve görünür bölge ışmaları altında bu fotokatalizörler üzerinde KV'nin bozunmasının zamana karşı değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Farklı katalizörler varlığında KV'nin fotobozunması (pH 9, başlangıç boya konsantrasyonu:10 mgL⁻¹, katalizör miktarı: 100mgL⁻¹)

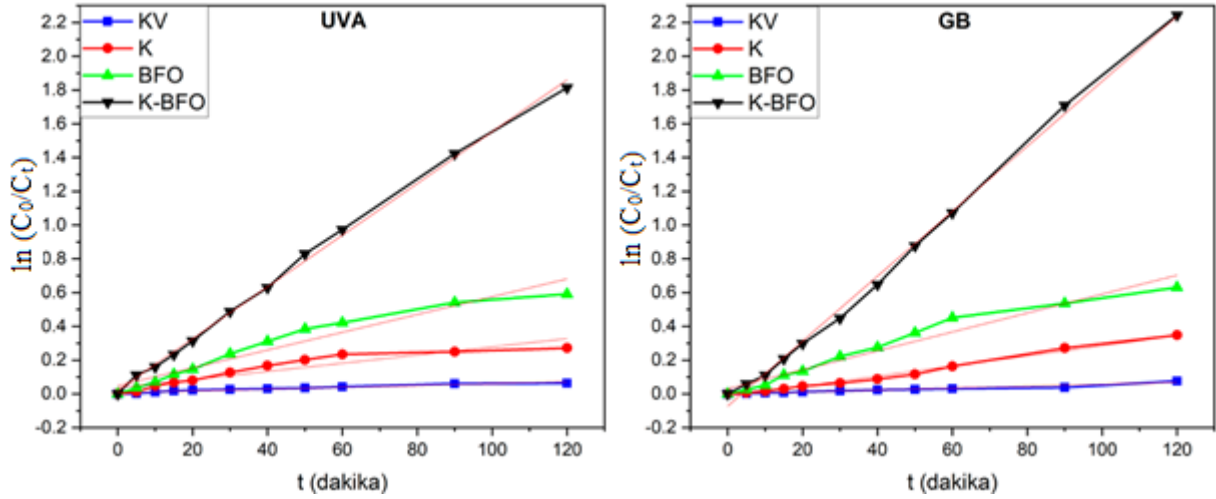
KV'nin fotobozunması, herhangi bir fotokataliz olmaksızın UVA ışınları altında yaklaşık olarak %6.1 iken, görünür ışığı altında %7.4 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, gelen fotonların KV'nin uyarılarak bozunmasında önemli bir rolünün olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, her iki ışımaya altında K, BFO ve KBFO fotokatalizörleri varlığında KV'nin bozunması zamanla tutarlı bir şekilde artmıştır. K varlığında KV'nin fotobozunması UVA altında ve görünür ışınları altında 120 dakika sonra sırasıyla %23.8 ve 29.4 olarak belirlenmiştir. Literatür çalışmalarının da belirtildiği gibi, kaolin yapısındaki yüzey hidroksil gruplarının ve çeşitli elementlerin, foto-uyarılma sonucu oluşan boşluklarla (hollerle) etkileşerek oluşturdukları reaktif oksijen radikal türlerinin kirleticilerin parçalanmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir (Shawky vd., 2019). KV'nin BFO nanoparçacıkları üzerinde fotokatalitik bozunması, UVA ve görünür bölge ışınları altında sırasıyla %44.6 ve 46.8 olarak tespit edilmiştir. Kaolin kilinin bir platform olarak kullanılması, aynı koşullarda yeni sentezlenen KBFO fotokatalizörün bozunma verimini önemli ölçüde artırdığı sonuçlardan açıkça görülmektedir. KBFO varlığında KV'nin fotobozunması UVA ve görünür bölge ışınları altında 120 dakika içinde %83.7 ve %89.4 olarak belirlenmiştir. KBFO nanokompozitinin K ve BFO katalizörleriyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde artan bu

fotokatalitik performansı, sadece K ve BFO arasında oluşan sinerjik etkiyle değil, aynı zamanda kaolinin platform olarak kullanılması neticesinde foto indüklenmiş e/h⁺ 'nın rekombinasyonunun azalmasıyla da açıklanabilir. Buna ilaveten BFO nanoparçacıklarının kil yüzeyine daha homojen dağılırarak yığılımlarının azalması ve kaolin yüzeyinin de ilaveten boya moleküllerini adsorplayarak fotokatalitik etkiye katkı sağladığı düşünülmektedir (Çağlar vd., 2018).

KV boyar maddesinin fotobozunma kinetiğini tanımlamak için Langmuir-Hinshelwood kinetik modelinden türetilen yalancı-birinci dereceden reaksiyon kinetik modeli (Eşitlik 2) kullanılmış ve deneysel veriler bu kinetik modele göre değerlendirilmiştir (Al-Ekabi ve Serpone, 1988; Uyguner ve Bekbolet, 2004, Kumar vd., 2008).

$$\ln (C_0/C_t) = k \cdot t \quad (2)$$

Burada; C₀ adsorpsiyon /desorpsiyon dengesinden hemen sonra ve ışınlamadan hemen önce KV'nin ilk konsantrasyonudur, C_t, ilgili ışınlama zamanında KV konsantrasyonunu, k, gözlenen yalancı birinci dereceden hız sabitidir (dak⁻¹) ve t ışınlama süresidir (dak) (Şekil 10).



Şekil 10. KV'nin fotobozunması için yalancı-birinciden kinetik

k sabiti, Şekil 10'da gösterildiği gibi zamana (t) karşı $\ln(C_0/C_t)$ grafiğinden elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmıştır. UVA altında K, BFO ve KBFO nanokompoziti varlığında KV bozunmasına ait yalancı birinci derece hız sabitleri 0.0024, 0.0053 ve 0.0153 dak^{-1} 'dir. Görünür ışık altındaki foto reaksiyonlar için hız sabitleri ise sırasıyla 0.006, 0.003, 0.0043, 0.0056 ve 0.0192 dak^{-1} olarak

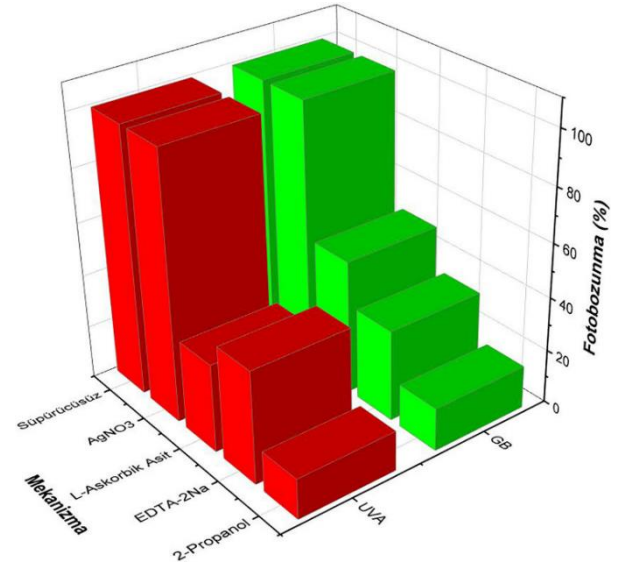
hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, her iki ışık kaynağı içinde KBFO nanokompoziti için hesaplanan k sabiti diğer katalizörler varlığındaki fotobozunma için hesaplanan k sabitlerinden önemli ölçüde büyüktür. Tablo 1'de gözlenen yalancı birinci dereceden hız sabitleri, karşılık gelen başlangıç fotokatalitik bozunma hızları (r_0) ve korelasyon katsayıları verilmiştir.

Tablo 1. Yalancı-birinciden kinetik için KV'nin fotobozunma hız sabitleri ve korelasyon katsayıları

Örnek	k (dak^{-1})	r_0 ($\mu\text{M.dak}^{-1}$)	R^2
	UVA/GB	UVA/GB	UVA/GB
KV	0.001/0.006	0.067/0.006	0.94/0.95
K	0.002/0.003	0.036/0.015	0.874/0.99
BFO	0.005/0.006	0.049/0.031	0.939/0.959
KBFO	0.015/0.019	0.021/0.072	0.998/0.998

Tablo 1'de görüldüğü gibi, KBFO'nin gözlenen hız sabiti, başlangıç bozunma hızı ve korelasyon katsayısı, her iki ışık kaynağı altında da diğer örneklerinkinden hayli büyüktür. Bu durum, KBFO nanokompozit en yüksek fotokatalitik performansa sahip olduğunu ve fotobozunmanın yalancı birinci kinetik izlediğini göstermektedir.

Fotokatalitik deneylerde kirlenici ve boyaların bozunmasında hidroksil radikalleri ($\bullet\text{OH}$), süperoksit radikalleri ($\text{O}_2\bullet$), boşluklar ve elektronların (e^-) sorumlu olduğu bilinmektedir (Jiang vd., 2015; Vinoth vd., 2016). Fotokataliz sırasında rol oynayan bu reaktif türlerin katkısını tayin etmek amacıyla bir dizi serbest radikal süpürme deneyi gerçekleştirildi. Radikal süpürücüler eklenmiş ve radikal süpürücünün olmadığı durumlardaki fotokatalitik verimler Şekil 11'de gösterilmiştir.



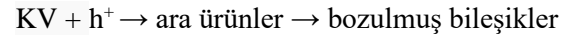
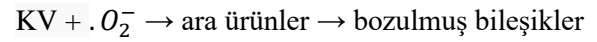
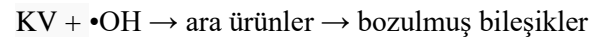
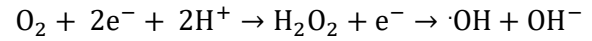
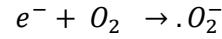
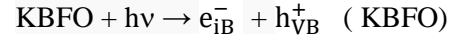
Şekil 11. KV'nin fotobozunmasında reaktif türlerin etkisi

Çalışmada hidroksil radikal ($\bullet\text{OH}$), süperoksit radikal ($\text{O}_2\bullet$), boşluk ve elektron (e^-) süpürücü olarak sırasıyla 2-propanol, L-askorbik asit, sodyum EDTA tuzu ve AgNO_3 bileşikleri kullanılmıştır. AgNO_3 ilavesi KV'nin fotobozunma verimi üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir, bu da elektronların (e^-) bu fotokatalitik işlemde doğrudan aktif türler olmadığını göstermektedir. L-askorbik asit ilavesinde KV'nin bozunma verimi UVA ve görünür bölge ışınları için sırasıyla %33 ve 50'e düşmüştür. Bu sonuçlar, KV moleküllerinin fotokatalitik bozunmasında süperoksit radikallerini etkisinin olduğu, ancak bozunmanın sadece süperoksit radikalleri ($\text{O}_2\bullet$) aracılığıyla gerçekleşmediğini göstermektedir. KV reaksiyon çözeltisine sodyum EDTA tuzu eklendiğinde ise, KV bozunma verimi UVA ve görünür bölge ışınları için sırasıyla %42 ve %34 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, KV'nin fotokatalitik bozunmasında foto indüklenmiş boşlukların (h^+) rol aldığını ortaya koymuştur. $\bullet\text{OH}$ radikali süpürücü olarak kullanılan 2-propanolün ilavesiyle KV'nin bozunma verimi UVA ve görünür bölge ışınları için sırasıyla %15 ve 16 olarak tespit edilmiştir. Bu önemli ölçüdeki azalma, $\bullet\text{OH}$ radikallerinin KV'nin bozunması için başlıca sorumlu reaktif türler olduğunu ortaya koymuştur.

Radikal süpürücü deneylerinde oluşan reaktif türlere göre aşağıdaki mekanizma önerilmektedir. Önerilen mekanizmaya göre; ilk olarak, uygun enerjili ışınlar ($h\nu$ gerek UVA ve gerekse GB ışınları) KBFO yüzeyine düşürüldüğünde uyarılma sonucu fotokatalizörün iletkenlik bandına elektron (e_{iB}^-) geçer ve değerlik bandında da boşluklar (h_{VB}^+) oluşur. Ardından, iletkenlik bandındaki elektronlar çözeltideki O_2 ile etkileşerek süperoksit anyon radikallerini (O_2^-); değerlik bandındaki boşluklar (h_{VB}^+) boya ile etkileşerek boyayı parçalarlar (boyanın bozunmasını sağlarlar). Yine iletkenlik bandındaki elektronlar O_2 ve H^+ ile etkileşerek H_2O_2 'yi, H_2O_2 molekülleri de elektronla etkileşerek hidroksil radikallerini ($\bullet\text{OH}$) oluştururlar. Daha sonra, oluşan bu reaktif türler ($\bullet\text{OH}$ ve (O_2^-) radikalleri) ve boşluklar (h_{VB}^+) boya ile etkileşerek boyayı parçalarlar (boyanın bozunmasını sağlarlar).

Çalışmada, saf BFO'nin fotokatalizör yeteneği KBFO'ya göre az olduğu tespit edilmiştir. Saf BFO'da oluşan elektron-boşluk çiftleri kolaylıkla rekombinasyona uğradığından BFO fotokatalitik aktivitesi azdır. Platform olarak negatif yüzeye sahip kaolinin kilinin kullanılmasıyla hazırlanan KBFO nanokompozitinde ise, gerek negatif yüklü kaolin yüzeyi ile oluşan pozitif yüklü holler

arasındaki çekim kuvvetleri gerekse negatif yüklü kaolin yüzeyi ve elektronlar arasındaki itme kuvvetleri bu elektron-boşluk çiftlerinin ayrımını artırarak rekombinasyonunu azaltmaktadır. Bu durumda KBFO'nun fotokatalitik performansını arttırmaktadır. Ayrıca kaolin yüzeyine KV molekülleri tutunur ve oluşan bu reaktif türlerin tutunan boyaya ulaşımı daha kolay olduğundan bu durumda fotokatalitik etkiyi arttırmaktadır (Çağlar vd., 2018).



4. Sonuçlar

Kaolin üzerine perovskit yapılı BiFeO_3 nanoparçacıkları dekore edilmesi suretiyle hazırlanan KBFO nanokompoziti UVA ve görünür bölge ışınları altında KV'nin foto-bozunmasında katalizör olarak kullanıldı. Bu nanokompozitin katalizör olarak kullanıldığı KV'nin fotokatalitik bozunması için en uygun şartlar pH 9, 10 mg L^{-1} başlangıç KV konsantrasyonu ve 100 mg katalizör miktarı olarak belirlendi. Bu en uygun şartlar altında, ilgili fotokatalizör varlığında 120 dakika içerisinde UVA ve GB ışınları altında sırasıyla KV'nin %84 ve %89'nun bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. KBFO nanokompozitin kullanıldığı bozunma reaksiyonunun K ve BFO katalizörlerinin kullanıldığı reaksiyonlara nispeten daha büyük hız sabiti ve korelasyon katsayına sahip olduğu ve birinci dereceden kinetiği takip ettiği belirlenmiştir. Platform olarak kaolin kilinin kullanılması BFO nanoparçacıklarının fotokatalitik performansını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Radikal süpürücü deneylerine göre fotokatalitik bozunmada $\bullet\text{OH}$ radikallerinin başlıca etkiye, süperoksit radikalleri ve hollerin ise daha az etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma BiFeO_3 nanopartikülleri dekore edilmiş kaolin nanokompozitinin çeşitli boya ve diğer kirleticilerin fotobozunmasında katalizör olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu çalışmanın kil temelli başka fotokatalizörlerin üretimine ve bunların fotokatalitik reaksiyonlarda katalizör olarak kullanılmasına ışık tutacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Abazari, R., Mahjoub, A. R. and Sanati, S. (2016). Magnetically recoverable Fe₃O₄-ZnO/AOT nanocomposites: synthesis of a core-shell structure via a novel and mild route for photocatalytic degradation of toxic dyes, *Journal of Molecular Liquids* 223,1133–1142. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.09.038>.
- Al-Ekabi, H. and Serpone, N. (1988). Kinetic studies in heterogeneous photocatalysis. I. Photocatalytic degradation of chlorinated phenols in aerated aqueous solutions over TiO₂ supported on a glass matrix, *The Journal of Physical Chemistry* 92, 5726. <https://doi.org/10.1021/j100331a036>.
- Basavarajappa, P.S., Seethya, N. H. B., Ganganagappa, N., Eshwaraswamy, K. B. and Reddy, K. R. (2018). Enhanced photocatalytic activity and biosensing of gadolinium substituted BiFeO₃ nanoparticles, *ChemistrySelect*, 9025-9033. <https://doi:10.1002/slct.201801198>.
- Bozkurt Çırak, B., Çağlar, B., Kılınç, T., Morkoç Karadeniz, S., Erdoğan, Y., Kılıç, S., Kahveci, E., Ekinçi A. E. and Çırak, Ç. (2019). Synthesis and characterization of ZnO nanorice decorated TiO₂ nanotubes for enhanced photocatalytic activity, *Materials Research Bulletin* 109, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.09.039>.
- Chang, J., Ma, J., Ma, Q., Zhang, D, Qiao, N., Hu, M. and Ma, H. (2016). Adsorption of methylene blue onto Fe₃O₄/activated montmorillonite nanocomposite, *Applied Clay Science* 119, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.06.038>.
- Çağlar, B., Keleş Güner E., Keleş, K., Özdokur, K. V., Çubuk, O., Çoldur, F., Çağlar S., Topçu, C. and Tabak, A. (2018). Fe₃O₄ nanoparticles decorated smectite nanocomposite: Characterization, photocatalytic and electrocatalytic activities *Solid State Sciences* 83, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2018.07.013>.
- Devi, G., Nithya, P. M., Abraham, C. and Kavita, R. (2017). Influence of surface metallic silver deposit and surface fluorination on the photocatalytic activity of rutile TiO₂ for the degradation of crystal violet a cationic dye under UV light irradiation. *Materials Today Communications* 10, 1-13 <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.11.001>.
- Doğan, M., Karaoğlu, M. H. and Alkan, M. (2009). Adsorption kinetics of maxilon yellow 4GL and maxilon red GRL dyes on kaolinite, *Journal of Hazardous Materials* 165, 1142-1151. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.101>.
- Dong, X., Ren, B., Sun, Z., Li, C., Zhang, X., Kong, M., Zheng, S. and Dionysiou, D. D. (2019). Monodispersed CuFe₂O₄ nanoparticles anchored on natural kaolinite as highly efficient peroxymonosulfate catalyst for bisphenol A degradation, *Applied Catalysis B Environmental* 253, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.04.052>.
- Du, C., Song, Y., Shi, S., Jiang, B., Yang, J. and Xiao, S. (2020). Preparation and characterization of a novel Fe₃O₄-graphene-biochar composite for crystal violet adsorption, *Science of the Total Environment* 711, 134662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134662>.
- Fei, F., Gao, Z., Wu, H., Wurendaodi, W., Zhao, S. and Asuha, S. (2020). Facile solid-state synthesis of Fe₃O₄/kaolinite nanocomposites for enhanced dye adsorption, *Journal of Solid State Chemistry* 291, 121655. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121655>.
- Gao, F., Chen, X. Y., Yin, K. B., Dong, S., Ren, Z. F., Yuan, F., Yu, T., Zou, Z. G. and Liu, J. M. (2007). Visible-light photocatalytic properties of weak magnetic BiFeO₃ nanoparticles, *Advanced Materials* 19, 2889-2892. <https://doi.org/10.1002/adma.200602377>.
- Gopi, S., Balakrishnan, P., Pius, A. and Thomas, S. (2017). Chitin nanowhisker (ChNW)-functionalized electrospun PVDF membrane for enhanced removal of indigo carmine, *Carbohydrate Polymers* 165, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.046>.
- Guo, S., Zhang, G. and Wang, J. (2014). Photo-Fenton degradation of rhodamine B using Fe₂O₃-Kaolin as heterogeneous catalyst: Characterization, process optimization and mechanism, *Journal of Colloid Interface Science* 433, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.07.017>.
- Gusain, R., Gupta, K., Joshi, P. and Khatri, O. P. (2019). Adsorptive removal and photocatalytic degradation of organic pollutants using metal oxides and their composites: A comprehensive review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 272, 102009. DOI: 10.1016/j.cis.2019.102009.
- Haruna, A., Abdulkadir, I. and Idris, S.O. (2020). Photocatalytic activity and doping effects of BiFeO₃ nanoparticles in model organic dyes, *Heliyon* 6, e03237. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03237>.
- Huang, H., Zhang J., Jiang L. and Zang, Z. (2017). Preparation of cubic Cu₂O nanoparticles wrapped by reduced graphene oxide for the efficient removal of rhodamine B, *Journal of Alloys and Compounds* 718, 112-115. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.05.132>.

- Jiang, Y. R., Lin, H. P., Chung, W. H., Dai, Y. M., Lin, W. Y. and Chen, C. C. (2015). Controlled hydrothermal synthesis of BiOxCly/BiOmIn composites exhibiting visible-light photocatalytic degradation of crystal violet, *Journal of Hazardous Materials* 283, 787–805, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.10.025>.
- Karlsson, H. L., Cronholm, P., Gustafsson, J. and Möller, L. (2008). Copper oxide nanoparticles are highly toxic: a comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes, *Chemical Research in Toxicology* 21, 9, 1726-1732. <https://doi.org/10.1021/tx800064j>.
- Keleş Güner, E. ve Çağlar, B. (2020). CuxZn(1-x)O Kaolin Nanokompozitinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Fotokatalitik Aktivitesi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 13(2), 369-383. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.703223>.
- Khani, A., Sohrabi, M.R., Khosravi, M. and Davallo, M. (2013). Enhancing purification of an azo dye solution in nanosized zero-valent iron-ZnO photocatalyst system using subsequent semibatch packed-bed reactor, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 37, 91-99. <https://doi.org/10.3906/muh-1201-6>.
- Kızıldaş, H. and Tekin, T. (2020). Increasing of photocatalytic performance of TiO₂ nanotubes by doping AgS and CdS, *Chemical Engineering Communications* 204 (8), 852-857. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1304387>.
- Kızıldaş, H., Tekin, T. and Tekin, D. (2020). Preparation and characterization of recyclable Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂ composite photocatalyst, and investigation of the photocatalytic activity, *Chemical Engineering Communications*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1743694>.
- Kumar, K. V., Porkodi, K. and Rocha, F. (2008) Langmuir-Hinshelwood kinetics - a theoretical study, *Catalysis Communications*, 9, 82–84.
- Li, C., Sun, Z., Song, A., Dong, X., Zheng, S. and Dionysiou, D. D. (2018). Flowing nitrogen atmosphere induced rich oxygen vacancies overspread the surface of TiO₂/kaolinite composite for enhanced photocatalytic activity within broad radiation spectrum, *Applied Catalysis B Environmental* 236, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.04.083>.
- Mohanty, S., Moulick, S. and Kumar, Maji, S. (2020). Adsorption/photodegradation of crystal violet (basic dye) from aqueous solution by hydrothermally synthesized titanate nanotube (TNT), *Journal of Water Process Engineering* 37, 101428. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101428>.
- Moniruddin, M., Ilyassov, B., Zhao, X., Smith, E., Serikov, T., Ibrayev, N. and Nuraje, N. (2018). Recent progress on perovskite materials in photovoltaic and water splitting applications. *Materials Today Energy* 7, 246–259. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2017.10.005>.
- Nandi, B. K., Goswami, A., Das, A. K., Mondal, B. and Purkait, M. K. (2008). Kinetic and equilibrium studies on the adsorption of crystal violet dye using kaolin as an adsorbent, *Separation Science and Technology* 43, 1382–1403. <https://doi.org/10.1080/01496390701885331>.
- Ortiz, E., Gómez-Chávez, V., Cortés-Romero, C.M., Solís, H., Ruiz-Ramos, R. and Loera-Serna, S. (2016). Degradation of indigo carmine using advanced oxidation processes: synergy effects and toxicological study, *Journal of Environmental Protection Science* 7, 1693–1706. <https://doi.org/10.4236/jep.2016.712137>.
- Priya R., Stanly, S., Dhanalekshmi, S. B., Mohammad, F., Al-Lohedan, H.A, Oh, W. C. and Sagadevan, S. (2020). Comparative studies of crystal violet dye removal between semiconductor nanoparticles and natural adsorbents, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics* 206, 164281. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164281>.
- Safi, R. and Shokrollahi, H. (2012). Physics, chemistry and synthesis methods of nanostructured bismuth ferrite (BiFeO₃) as a ferroelectro-magnetic material, *Progress in Solid State Chemistry* 40, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2012.03.001>.
- Shawky, A., El-Sheikh, S. M., Rashed, M. N., Abdo, S. M. and El-Dosoqy, T. I. (2019). Exfoliated kaolinite nanolayers as an alternative photocatalyst with superb activity, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7 (3), 103174. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103174>.
- Thiam, A., Sirés, I., Garrido, J.A., Rodríguez, R.M. and Brillas, E. (2015). Decolorization and mineralization of Allura Red AC aqueous solutions by electrochemical advanced oxidation processes, *Journal of Hazardous Materials* 290, 34–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.02.050>.
- Uyguner, C.S. and Bekbolet, M. (2004). Photocatalytic degradation of natural organic matter: Kinetic considerations and light intensity dependence, *International Journal of Photoenergy* 6 (2), 73-80.

- Wang, W., Tade, M. O. and Shao, Z. (2015). Research progress of perovskite materials in photocatalysis-and photovoltaics-related energy conversion and environmental treatment, *Chemical Society Reviews* 44, 5371–5408. <https://doi.org/10.1039/C5CS00113G>.
- Vinoth, R., Karthik P., Muthamizhchelvan, C., Neppolian, B. and Ashokkumar, M. (2016). Carrier separation and charge transport characteristics of reduced graphene oxide supported visible-light active photocatalysts, *Physical Chemistry Chemical Physics* 18, 5179-5191. <https://doi.org/10.1039/c5cp08041j>.
- Volnistem, E.A., Bini, R.D., Silva, D.M., Rosso, J.M., Dias, G.S., Cótica, L.F. and Santos, I.A. (2020). Intensifying the photocatalytic degradation of methylene blue by the formation of BiFeO₃/Fe₃O₄ nanointerfaces, *Ceramics International* 46, 18768–18777. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.194>.
- Zou, C. Y., Liu, S. Q., Shen, Z., Zhang, Y., Jiang, N. S., Ji, W. C. (2017). Efficient removal of ammonia with a novel graphene-supported BiFeO₃ as a reusable photocatalyst under visible light, *Chinese Journal of Catalysis* 38, 20–28. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62752-9](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62752-9).

Standartlaştırılmış yağış indeksi hesabında kullanılan dağılım fonksiyonu etkisinin ve kuraklık karakteristiklerinin araştırılması

Investigation of the effect of the distribution function used in the calculation of the standardized precipitation index and the drought characteristics

Okan Mert KATIPOĞLU^{*1,a}, Reşat ACAR^{2,b}

¹ Erzurum Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzurum

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25100, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 20.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.05.2021

Öz

Yağışın tipi ve yapısı; yükseklik, yer şekilleri, bitki örtüsü, deniz akıntıları, denize yakınlık ve uzaklık gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle yağış verilerinin tek bir dağılım ile ifadesi oldukça zordur. Yapılan çalışmada yağış verilerine hidrolojide sıkça kullanılan Gamma, Lognormal, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GED), Weibull, Normal, Lojistik, Loglojistik dağılımları uydurularak elde edilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Gamma SYİ değerlerinin hesaplanması ve bu değerlere run teorisi uygulanarak elde edilen kuraklık karakteristiklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yağış verilerine en iyi uyan olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesinde Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D) ve Ki-kare (χ^2) testleri ve grafiksel metotlar kullanılmıştır. Analizler sonucunda, Fırat havzasındaki yağışları GED dağılımının, Gamma dağılımından daha iyi temsil ettiği ve hesaplanan SYİ değerlerinde ortalama %2 sapma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca havzada şiddetli ve uzun süreli kuraklıklar dikkat çekmektedir. Bu sebeple havzada kuraklık önlemlerinin alınması, kuraklık azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve sürekli bir şekilde uygulanması, su tasarrufunun sağlanması, kurak dönemlerde sigorta görevi gören yeraltı sularının korunması, sulama sistemlerinin modernleşmesi ve iklim değişikliğine karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Dağılım fonksiyonları, Kuraklık karakteristikleri, Runs teorisi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Uygunluk testleri

Abstract

The type and structure of rainfall varies according to various parameters such as altitude, geographical formations, vegetation, sea currents, proximity and distance to the sea. Thus, it is very difficult to explain precipitation data with a single distribution. In the study, Standardized Precipitation Index (SPI) values were obtained by fitting Gamma, Lognormal, Generalized Extreme Value (GED), Weibull, Normal, Logistic, Loglogistic distributions to the precipitation data. It is aimed to compare the drought characteristics obtained by applying run theory to these SPI and Gamma SPI values. Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D) and Chi-square (χ^2) tests and graphical methods were used to determine the probability density function that best fits the precipitation data. As a result of the analysis, it was specified that the GED distribution represented the precipitation in the Euphrates Basin better than the Gamma distribution and that there was an average deviation of 2% in the calculated SPI values. In addition, severe and prolonged droughts are remarkable in the Basin. For this reason, it is necessary to take drought measures in the basin, to develop and continuously implement drought reduction strategies, to save water, to protect groundwater that serves as insurance in dry periods, to modernize irrigation systems and to take precautions against climate change.

Keywords: Distribution function, Drought characteristics, Theory of Runs, Standardized Precipitation Index (SPI), Goodness of fit test

*a Okan Mert KATIPOĞLU; okatipoglu@erzurum.edu.tr; Tel: (0539) 864 60 25; orcid.org/ 0000-0001-6421-6087

^b orcid.org/ 0000-0002-0653-1991

1. Giriş

Yeşil alanda azalma, fosil yakıtla çalışan motorlu taşıtlar ve nüfusta artma havadaki karbondioksit (CO₂) oranının artışına neden olmaktadır. Bu artış küresel ısınma kaynaklı iklimsel değişimlere sebebiyet verebilmektedir (Öztürk, 2002). Dolayısıyla dünyada ve ülkemizde yaşanan taşkın ve kuraklık gibi doğal felaketlerin görülme sıklıkları ve şiddetlerinde artışlar meydana gelmektedir. Kuraklık; toplumsal refah, sağlık, tarım, turizm ve ekonomi gibi bir çok alanı olumsuz yönde etkilemesi açısından en önemli doğal afet arasında yer almaktadır. Kuraklığın diğer afetlerden en önemli farkı; daha fazla insanı etkilemesi ve takibinin zor olmasıdır (Pamuk vd., 2004; İçel, 2014).

Kuraklıklar genel olarak; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık ve tarımsal kuraklık olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Meteorolojik kuraklık, bir bölgede uzun süreli (ay, mevsim veya yıl) yıllık yağışın normalden az olduğu bir durum olarak tanımlanır. Toprakta bitkinin ihtiyacı karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanan tarımsal kuraklık nem kaybı ve su kaynaklarında kıtlık olduğu zaman meydana gelir. Hidrolojik kuraklık yeraltı su kaynakları, yüzey suları veya yağış periyotlarının etkisi ile ilişkilidir (Kapluhan 2013). Uzun ve şiddetli seyreden hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların ortaya çıkması doğrudan meteorolojik kuraklığın etkili olduğu söylenebilir. Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yağış değişkenliği çok fazla olduğu için (Shadeed ve Masri, 2007) bu iklim bölgelerinde kuraklık olayları daha büyük ekolojik ve ekonomik kayıplara neden olabilir.

Kuraklıkların izlenmesi ve görülebilecek olumsuz etkilere karşı önlem alınabilmesi için birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indeksler arasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) en çok kullanılan ve genel geçer kabul gören bir indekstir (Gümüş vd. 2016; Bacanlı ve Kargı, 2019; Yüce ve Musa, 2020). Bu indeks için ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişkenin yağış olması, uygulamasının kolay olması, güvenilir olması çeşitli zaman periyotlarında (1, 2, 3,..., 24 ay) hesaplanabilmesi yani meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları hesaplayabilmesi nedeniyle tercih sebebidir (Edwards, 1997; Wu vd., 2001).

SYİ hesap prosedürünün temel adımı belirli bir zaman ölçeğinde toplanan yağış miktarının kümülatif olasılığını tahmin etmektir. Bu nedenle SYİ sonuçlarına olan güven, yağış verilerine uydurulan dağılıma bağlıdır (Wu vd., 2005; 2007;

Siens vd., 2012; Stagge vd., 2015). López-Moreno ve Vicente-Serrano (2008) gamma dağılımının her zaman en uygun seçenek olmayabileceğini gösteren kanıtlar sunmuştur. Ayrıca gamma dağılımı, yalnızca iki serbest parametreye sahip olduğundan, farklı zaman ölçeklerinde toplanan yağış verileri için en iyi uyum iyiliğini vermeyebilir (Wu vd., 2007).

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan öne çıkanları şu şekildedir; SYİ'yi ilk olarak McKee vd. (1993) tarafından geliştirildiği çalışmada, bölgesel kuraklıkları tanımlamak ve izlemek amacıyla kullanmıştır. Yeğnidemir (2005), İç Anadolu Bölgesi'nin SYİ değerlerini hesaplamış ve bölgesel kuraklık haritaları elde etmiştir. Shukla and Wood (2008) çalışmalarında, Kaliforniya'da bulunan Feather Havzasında Standartlaştırılmış Akım İndeksi (SAİ) ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) değerleri aracılığıyla kurak analizi yapmışlardır. Küçükyaman (2010) çalışmasında, Kovada gölünün kuraklık durumunu hidrolojik ve meteorolojik olarak incelemiştir. Oğuztürk (2010) çalışmasında, Kızılırmak Havzası'nda SYİ metodu ile kuraklık analizi yapılmıştır. SYİ değerlerine ait kuraklık karakteristikleri (kuraklık süresi, genliği ve şiddeti) ve bunların birbirleri ile olan ilişkileri araştırılmıştır. Naresh Kumar vd. (2011) çalışmalarında, Hindistan'daki kuraklığın zamansal ve mekânsal analizi için SYİ değerlerinden faydalanmışlardır. Temel (2019) çalışmasında, Gediz Havzası'nda kuraklıkları, hidrolojik açıdan Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) ve meteorolojik açıdan da SYİ ile değerlendirmiştir. Özfidaner ve Topaloğlu (2020) çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde SYİ ile meteorolojik kuraklıkları analiz etmişlerdir. Topçu ve Karaçor (2021) çalışmasında Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ) ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) yöntemleri ile Erzurum istasyonunda kuraklık analizi ve trend analizi yapmışlardır.

SYİ değerlerinin hesaplanmasında dağılım fonksiyonun seçilmesi üzerine yapılan çalışmalardan önde gelenlere örnek olarak: Guttman (1999) farklı olasılık dağılımlarını denemiş ve Pearson tip III dağılımının SYİ hesaplaması için en iyi modeli sağladığı sonucuna varmıştır. Angelidis vd. (2012) çalışmalarında, farklı (1, 3, 6, 12 ve 24 ay) zaman periyotlarında yağış verilerine normal ve log-normal dağılımlar uydurarak SYİ değerlerini hesaplamışlardır. 12 veya 24 aylık SYİ hesabında kolaylık olması açısından, log-normal veya normal dağılımın

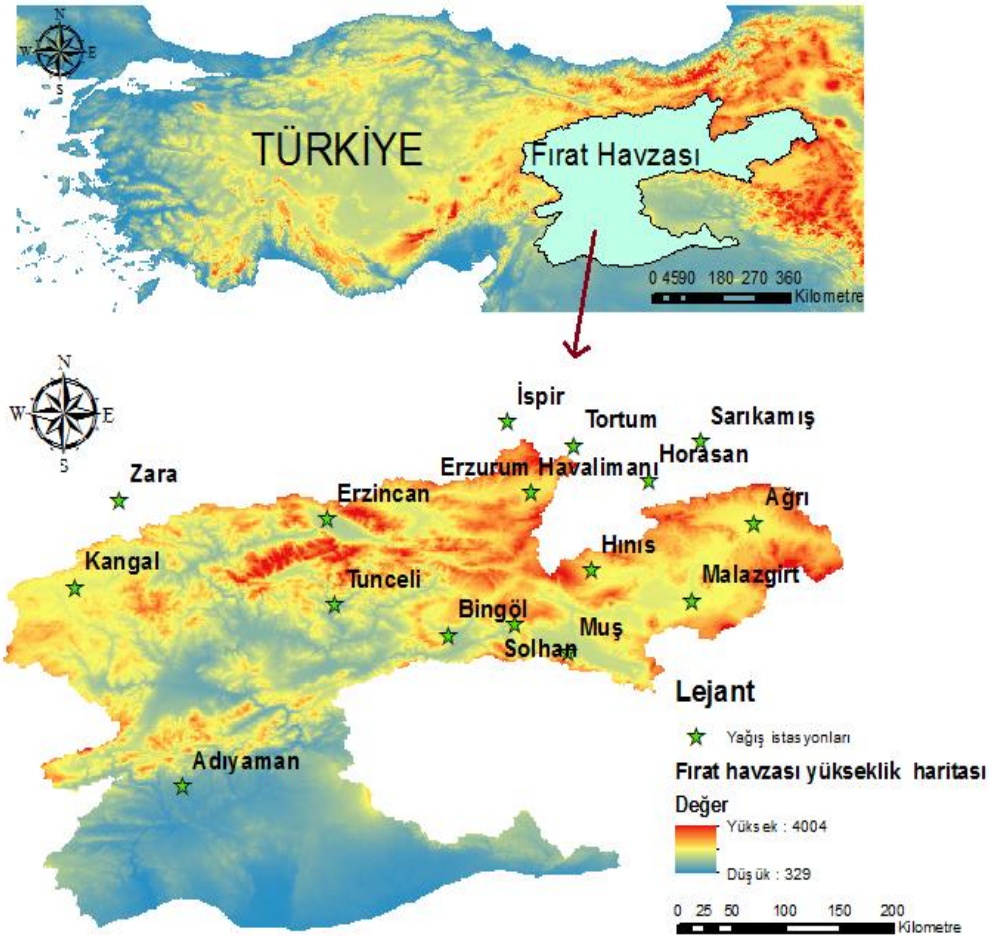
gamma yerine kullanılabilceği ve yakın sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. Tosunoğlu (2014) çalışmasında, SYİ hesabında kullanılan aylık ortalama yağış verilerine uydurulan gamma dağılımının yetersiz kaldığı için alternatif dağılımlar kullanılarak hesaplanmaların yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Blain ve Meschiatti (2015) çalışmalarında, SYİ metodu için kullanılan 2 parametrelili gamma dağılımı, 1 ila 24 aylık zaman periyotlarında Rio Grande do Sul'daki Pelotas hava istasyonunda elde edilen yağış verilerini temsil etmede yeterli olmadığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada en uygun dağılım fonksiyonu kullanılarak ve sadece gamma dağılımına göre SYİ değerleri hesaplanmış ve zamansal değişimleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen SYİ değerleri run teorisine tabi tutularak kuraklık karakteristikleri (kuraklık süre ve şiddet değerleri) elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. Çalışma alanı ve veriler

Türkiye'nin en büyük drenaj alanına sahip olan Fırat Nehri, Keban yakınlarında Murat ve Karasu nehirlerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Fırat Nehri karma rejimli bir akarsu olup akımı yıl içerisinde değişkenlik göstermektedir. Nehrin ortalama yıllık akımı yaklaşık olarak 32 milyar metreküp civarındadır. Nisan ve Mayıs aylarındaki maksimum akımı toplam yıllık akımının %42'sine denk gelmektedir. Fırat Nehri havzasında akım değerleri değişkenlik göstermektedir. Kış aylarında yağışın kar şeklinde olmasından dolayı akım 200 m³/s iken, bu rakam ilkbaharda yağmur ve kar erimeleri ile 2000 m³/s'ye kadar çıkmaktadır. Temmuz ayında hızla azalan akım, Eylül-Ekim aylarında en az seviyeye inmektedir (Yıldırım, 2006). Ayrıca; Yukarı Fırat havzasında, 1937-1964 yılları arasında tutulan akım kayıtlarında 1961 yılında akım değeri 16.871 milyar m³'e düşerken, 1963 yılında ise 43.457 milyar m³'e yükseldiği kaydedilmiştir. 1969 yılı kayıtları suyun en fazla olduğu dönemi göstermektedir (Maden ve Kılıç, 2012).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan yağış gözlem istasyonlarına ait lokasyon haritası

Hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'nda ve havzaya yakın olan sürekli ve en az 30 yıllık veriye sahip (1966 ile 2017 yılları arası) olan 16 adet yağış gözlem istasyonu seçilmiştir. Çalışmada kullanılan yağış ve sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonlarına ait konum haritası ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan verilere ait bazı istatistiksel değerler Ek-1'de sunulmuştur.

2.2. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ)

Dünya Meteoroloji Örgütü (DMÖ) tarafından önerilen SYİ meteorolojik kuraklığı değerlendirmek için kullanılan en güvenilir kuraklık indekslerinden biridir. Diğer kuraklık indeksleriyle karşılaştırıldığında, SYİ kolay kullanımı, teorik gelişimi, sağlamlığı, zamansal esnekliği ve sadece yağış verisi gerektirdiği için daha kullanışlıdır. SYİ değerinin hesaplanması temel olarak aşağıdaki adımları içerir: (1) aylık yağış zaman serisi üretir; (2) Yağışlara uyacak bir frekans dağılımı seçilir ve uydurulan frekans dağılımından kümülatif dağılımı oluşturulur; (3) SYİ değerini elde etmek için kümülatif olasılıklar ortalaması 0, standart sapması 1 olan standart normal dağılıma dönüştürülür (Lorenzo-Lacruz vd., 2010; McKee vd., 1993). Bu çalışmada, SYİ hesaplanırken yağış verilerine en uygun olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmıştır.

2.3. Olasılık dağılım fonksiyonları uygunluk testleri

2.3.1. Kolmogorov-smirnov (K-S) testi

Gözlenen verilerin eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunun kontrolünde kullanılan ikinci bir test olan Kolmogorov-Smirnov testinde kullanılan istatistik Denklem 1'de verilmiştir.

$$\Delta = \max |F(x_i) - F^*(x_i)| \quad (1)$$

burada $F^*(x_i)$, i/N formülüyle hesaplanan eklenik frekans dağılım ordinatlarıdır. $F(x_i)$ ise seçilen teorik eklenik dağılım fonksiyonunun aynı x_i değerlerine karşı gelen ordinatlarıdır. Buna göre Δ istatistiği, gözlenen ve teorik eklenik dağılımların arasındaki farkların en büyüğüdür. Δ istatistiğinin dağılımı rastgele değişkenin dağılımdan bağımsız olup, sadece örnekteki N eleman sayısına bağlıdır. Hesaplanan Δ istatistiği, Kolmogorov-Smirnov tablosundan okunan N 'nin çeşitli değerleri için aşılma olasılığı Δ_α değerinden küçükse dağılımın

uygunluğu hipotezi α anlamlılık düzeyinde kabul, aksi halde reddedilir (Bayazit ve Oğuz, 1994).

2.3.2. Anderson-darling (A-D) testi

Bu test, K-S testinden farklı olarak denenen dağılımın kritik değerini kullanır. Her dağılım için ayrı bir kritik değer hesaplanması gereklidir. Anderson-Darling testi dağılımın uç kısmında daha duyarlıdır (Adamson, 1979). Anderson-Darling istatistiği ise Denklem 2'de tanımlanmıştır.

$$A^2 = -N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{N} \{ \ln [F(Y_i)] + \ln [F(Y_{(N+1-i)})] \} \quad (2)$$

Burada;

F: Belirtilen dağılımın eklenik dağılım fonksiyonu,
Y_i: Sıralanmış verilerdir.

Anderson-Darling testi tek yönlü bir test olup, test istatistiği kritik değerden büyükse sıfır hipotezi reddedilir (Karahan ve Özkan, 2013).

2.3.3. Ki-kare (χ^2) testi

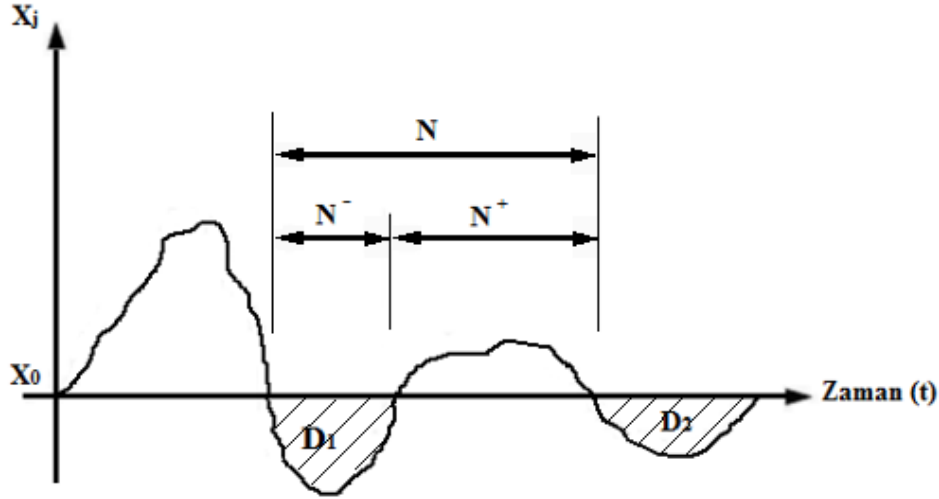
Ki-Kare test istatistiğini hesaplamak için veriler "k" gruba bölünür. Ki-Kare test istatistiği Denklem 3'e göre

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

Burada; O_i : gözlenen değeri, E_i : beklenen değeri göstermektedir. Ki-Kare testinde güvenilir bir tahminde bulunabilmek için beklenen frekanslar 5'ten az olmamalıdır. Bazı frekanslar 5'ten küçükse izleyen sınıftaki frekanslarla birleştirilmelidir. Hesaplanan Ki-Kare test istatistiği kritik değerden büyükse sıfır hipotezi reddedilir (Liu ve Setiono, 1995).

2.4. Run teorisi

Seçilen bir Δt zaman aralığı ile ölçülen bir X rastgele değişkeninin $x(t)$ stokastik sürecini göz önüne alalım. $X(t)$ 'nin sürekli olarak x_0 'ın üstünde kaldığı süre pozitif gidiş (sulak dönem), altında kaldığı süre negatif gidiş (kurak dönem) denir. X'i bir ölçekte ölçülen yağış ya da akarsuda ölçülen akım olarak alıp bu kavramları kuraklığın analizine uygulayabiliriz. Negatif gidiş kurak bir döneme karşılık gelir. N^- negatif gidiş uzunluğu kurak dönemin süresini, bu süre boyunca x_0 ile $x(t)$ arasında kalan su hacmi (Şekil 2'de taralı alana karşılık gelen hacim) olan D negatif gidiş toplamı kurak dönemdeki su eksikliğini gösterir (Sırdaş ve Şen, 2010; Yevjevich, 1967).



Şekil 2. Gidiş karakteristiklerinin tanımı

D_j , j 'inci kuraklığın X_0 kesim seviyesi altındaki eksikliklerin toplamı olarak tanımlanmış olup Denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Bu değer ayrıca kuraklığın şiddetini de ifade etmektedir (Sırdaş ve Şen, 2010; Yevjevich, 1967).

$$D_j = \sum_{i=1}^m X_0 - X_j \quad (4)$$

3. Bulgular

Kuraklık, su kaynakları üzerinde zararlı etkilere neden olabilecek doğal bir tehlikedir. Kuraklığı izlemek için, bir göstergenin kullanılması ve ıslak ve kurak dönem eğiliminin belirlenmesi, kuraklık analizinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada 1966 ile 2017 zaman periyodu için seçilen 16 Meteoroloji Gözlem İstasyonuna ait yağış değerleri kullanılarak en uygun dağılım ve sadece gamma dağılımı kullanılarak SYİ değerleri hesaplanmıştır.

3.1. SYİ değerlerinin hesaplanması

En uygun dağılımın belirlenmesinde mühendisler, araştırmacılar ve çeşitli dallardaki bilim insanlarının kullandığı "Easyfit" yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılım verilere çok sayıda dağılımı otomatik veya manuel olarak uydurmasına ve saniyeler içinde en iyi modeli seçilmesine izin veren bir veri analiz ve simülasyon yazılımıdır. Bu çalışmada söz konusu yazılım aracılığıyla A-D, K-S ve χ^2 uyum iyiliği testleri yapılarak yağışlara en iyi uyan dağılım belirlenmiştir. Testler yazılım tarafından %95 güven aralığında (0.05 anlamlılık seviyesi) otomatik olarak yapılarak seçilmiştir. En uygun dağılımı belirlenmesinde, hidrolojide sıkça kullanılan gamma, lognormal, GED, weibull, normal, lojistik, loglojistik dağılımları

kullanılmıştır. Uygulanan testlere göre 1 aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına en iyi uyan dağılımlar Şekil 3-5'te gösterilmiştir. En uygun dağılımın belirlenmesi Easyfit yazılımının gösterdiği sıra (rank) değerleri, test istatistikleri ve olasılık yoğunluk fonksiyonları karşılaştırılarak yapılmıştır.

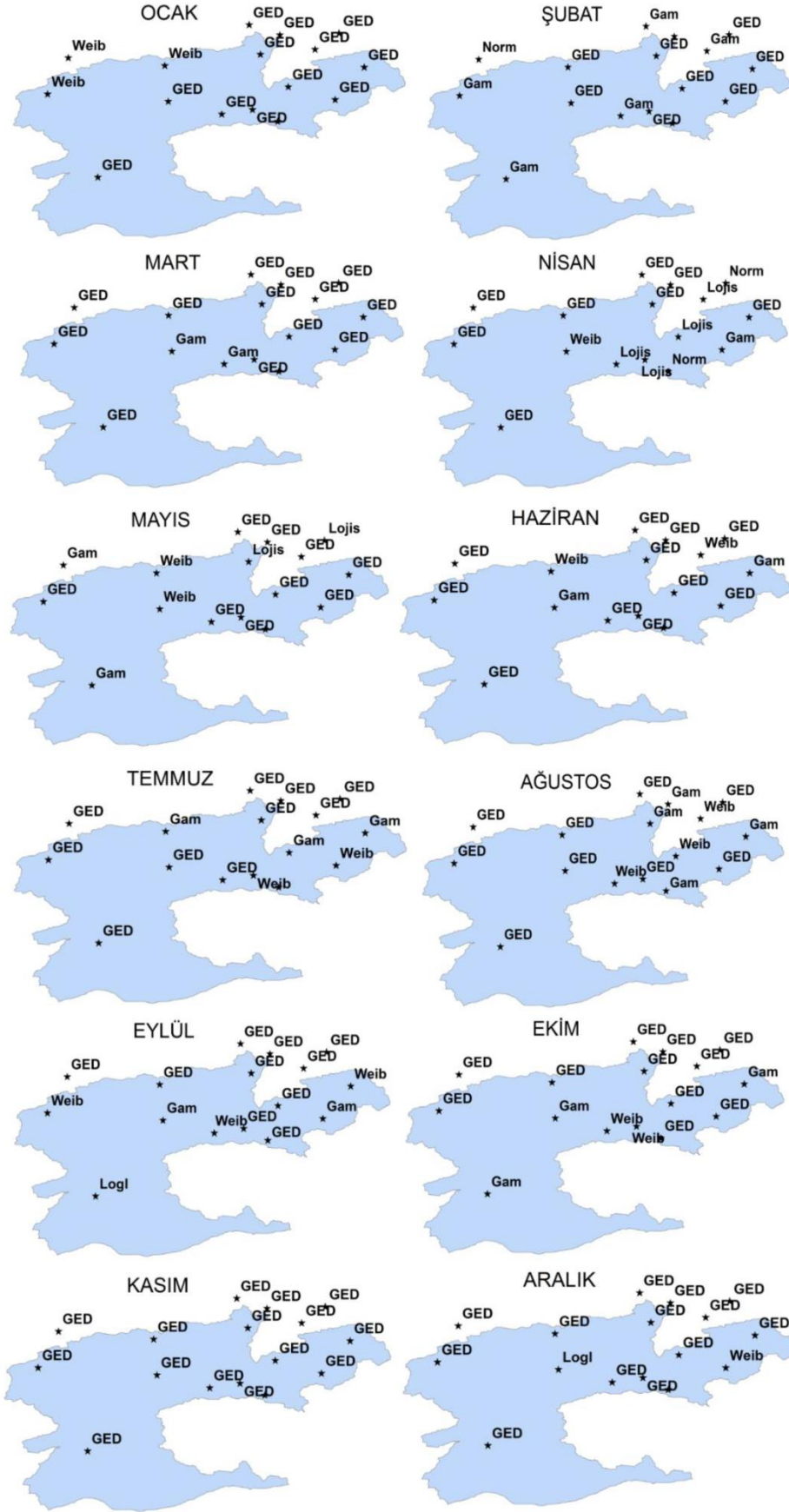
Seçilen istasyonlara uydurulan dağılımlar incelendiğinde 1 aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına en iyi uyan dağılım GED olarak bulunmuştur. Aylık yağış serilerine sırasıyla GED, gamma ve weibull, 3 aylık yağış serilerine GED, lojistik ve gamma, 12 aylık yağış serilerine ise GED, lojistik, gamma dağılımlarının en uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 1'de tüm istasyonlardaki aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına (16*12=192 adet) en iyi uyan dağılımların yüzdeleri gösterilmiştir.

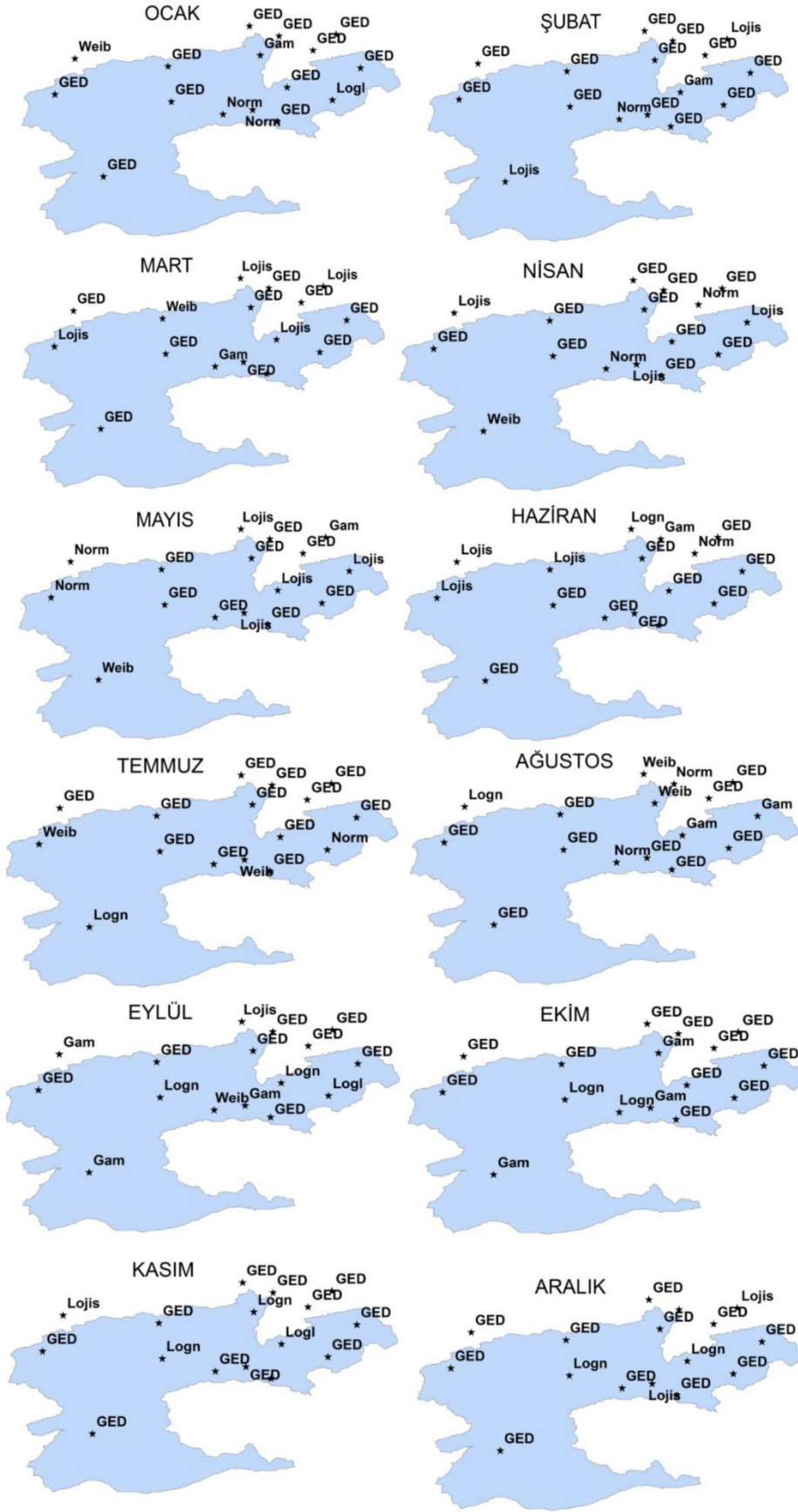
Tablo 1. Seçilen istasyonlardaki yağış verilerine en iyi uyan dağılım yüzdeleri

En Uygun Dağılım Yüzdeleri (%)			
Dağılım türü	Aylık	3 Aylık	12 Aylık
GED	70.83	63.54	50.52
Weibull	10.42	4.69	6.25
Gamma	12.50	6.77	8.33
Log-lojistik	1.04	1.56	3.65
Lojistik	3.13	10.94	19.79
Log-normal	0.52	5.73	7.81
Normal	1.56	6.77	3.65

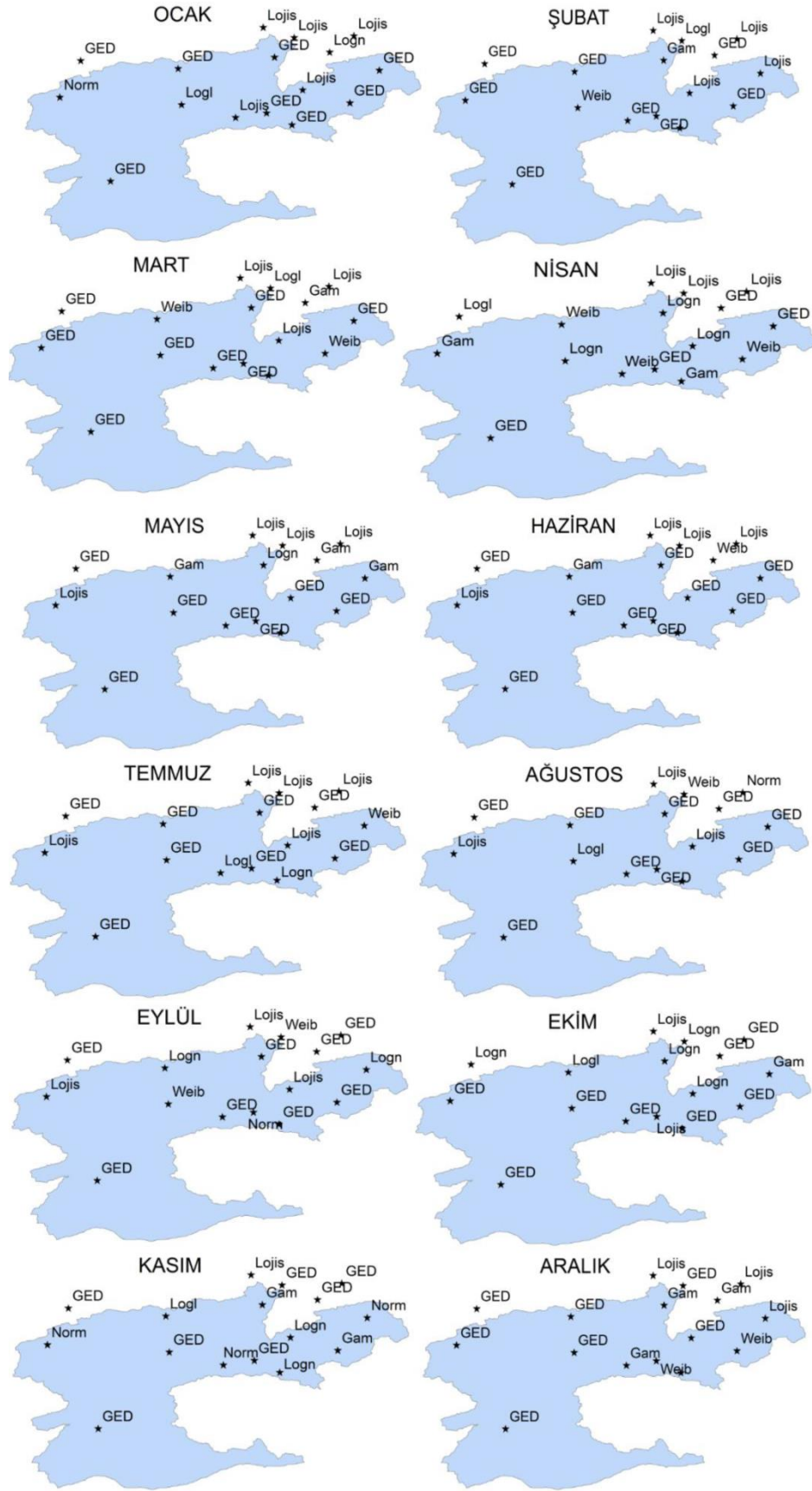
Not: kalın karakterler en çok görülen dağılımı göstermektedir.



Şekil 3. Aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm: Normal)

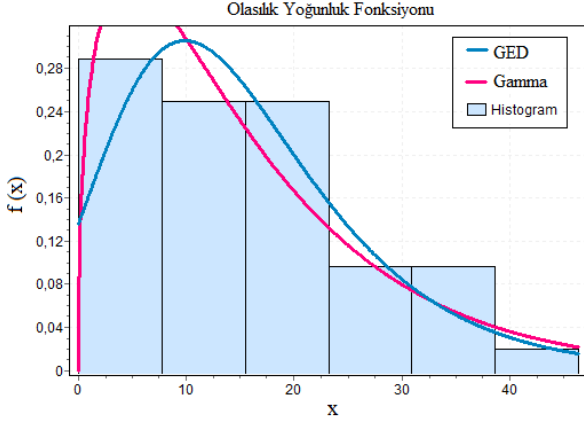


Şekil 4. 3 aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm: Normal)

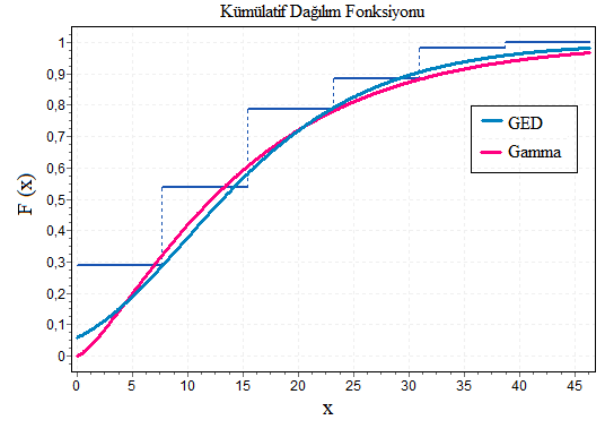


Şekil 5. 12 aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm:Normal)

Şekil 6 ve 7’de yağış verilerine uydurulan GED ve gamma dağılımının grafiksel olarak karşılaştırılması sunulmuştur. Erzincan istasyonu eylül ayına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonları karşılaştırıldığında GED dağılımının yağışları gamma dağılımından daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

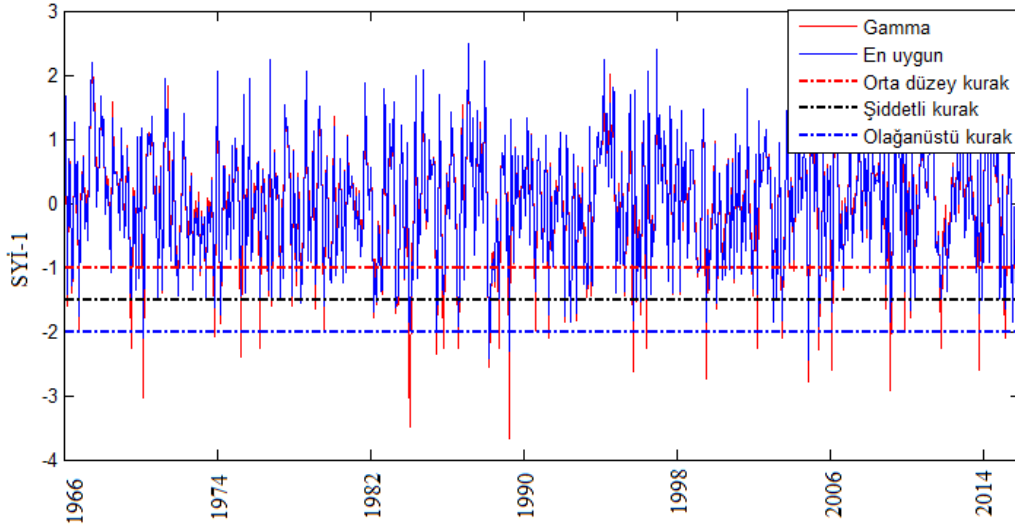


Şekil 6. Erzincan istasyonunda gözlenen aylık toplam yağış yüksekliklerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

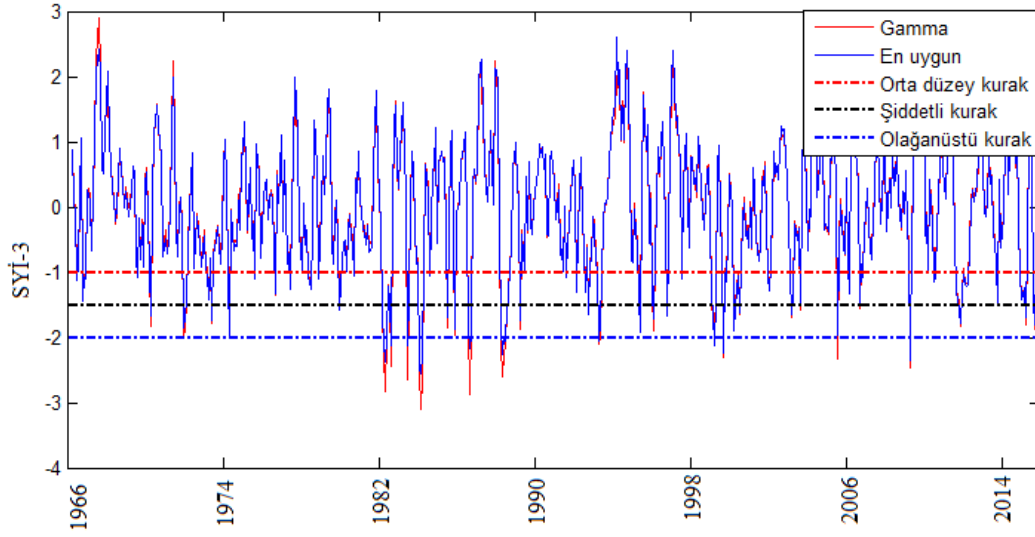


Şekil 7. Erzincan istasyonunda gözlenen aylık toplam yağış yüksekliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonu

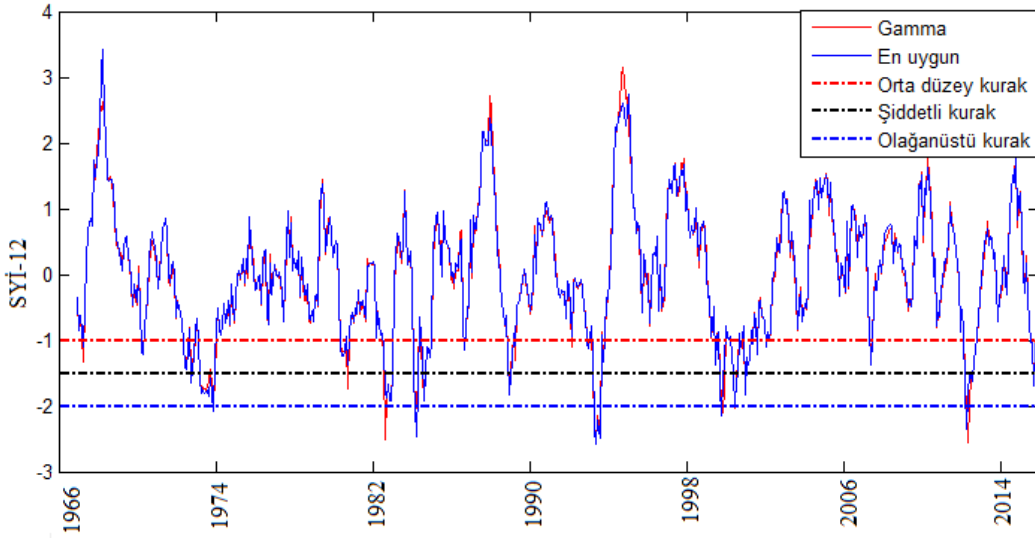
Çalışmada kullanılan tüm yağış istasyonları için 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları için SYİ değerleri hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Örnek olması açısından Erzincan yağış gözlem istasyonu üzerinde, seçilen zaman periyotlarındaki kritik kuraklık sınıfları (Hafif, Orta düzey, Şiddetli ve Olağanüstü) gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde çok sayıda hafif ($-1.0 < SYİ \leq 0$), orta düzey ($-1.5 < SYİ \leq -1.0$) ve şiddetli ($-2.0 < SYİ \leq -1.5$) kuraklık görülürken olağanüstü ($-2.0 \leq SYİ$) kuraklıklara da rastlanmıştır (Şekil 8-10).



Şekil 8. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi.



Şekil 9. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait 3 aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi.



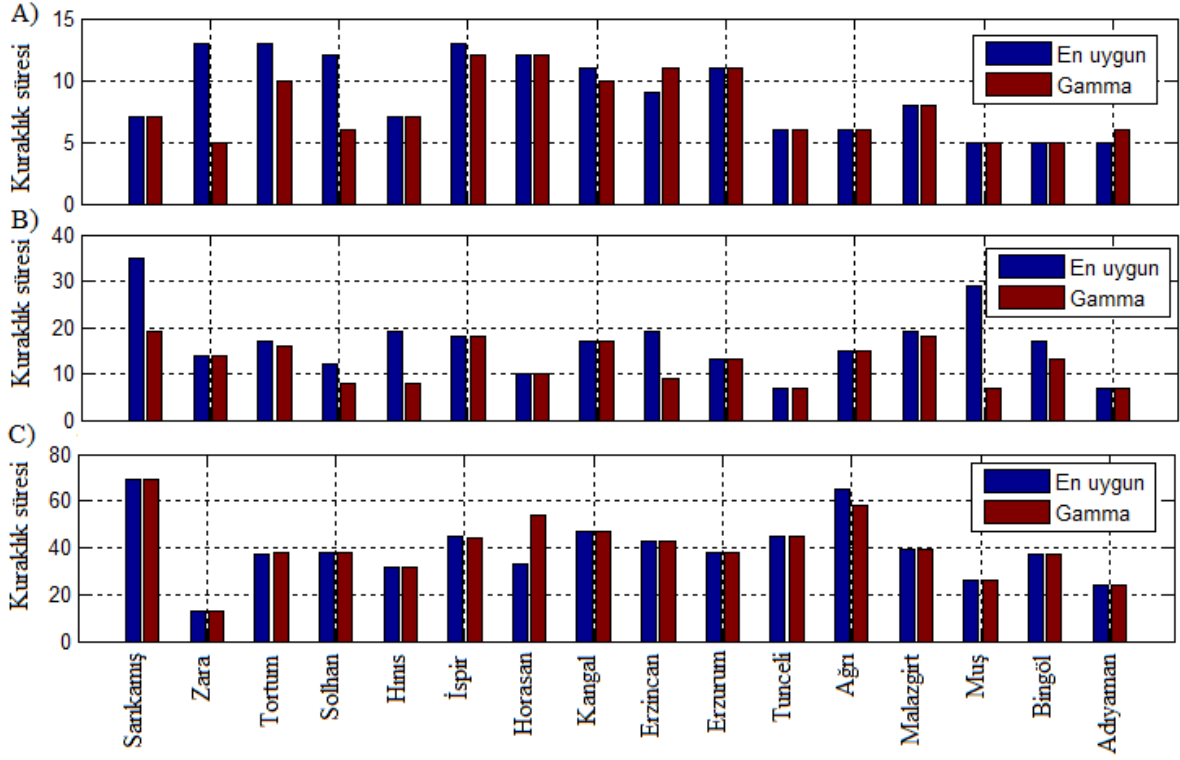
Şekil 10. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait 12 aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi

EK-2’de Fırat havzasında kullanılan yağış serilerine ait SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık süre ve şiddet değerleri gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kuraklık periyodu uzadıkça maksimum kuraklıkların süre ve şiddetinde artış görülmüştür. Aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklıklar 19.05 ve 24.03 ile İspir istasyonunda görülmüştür. 3 aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklık 47.15 ve 40.54 ile Sarıkamış istasyonunda görülmüştür. 12 aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklık 114.58 ve 129.62 ile Sarıkamış istasyonunda görülmüştür.

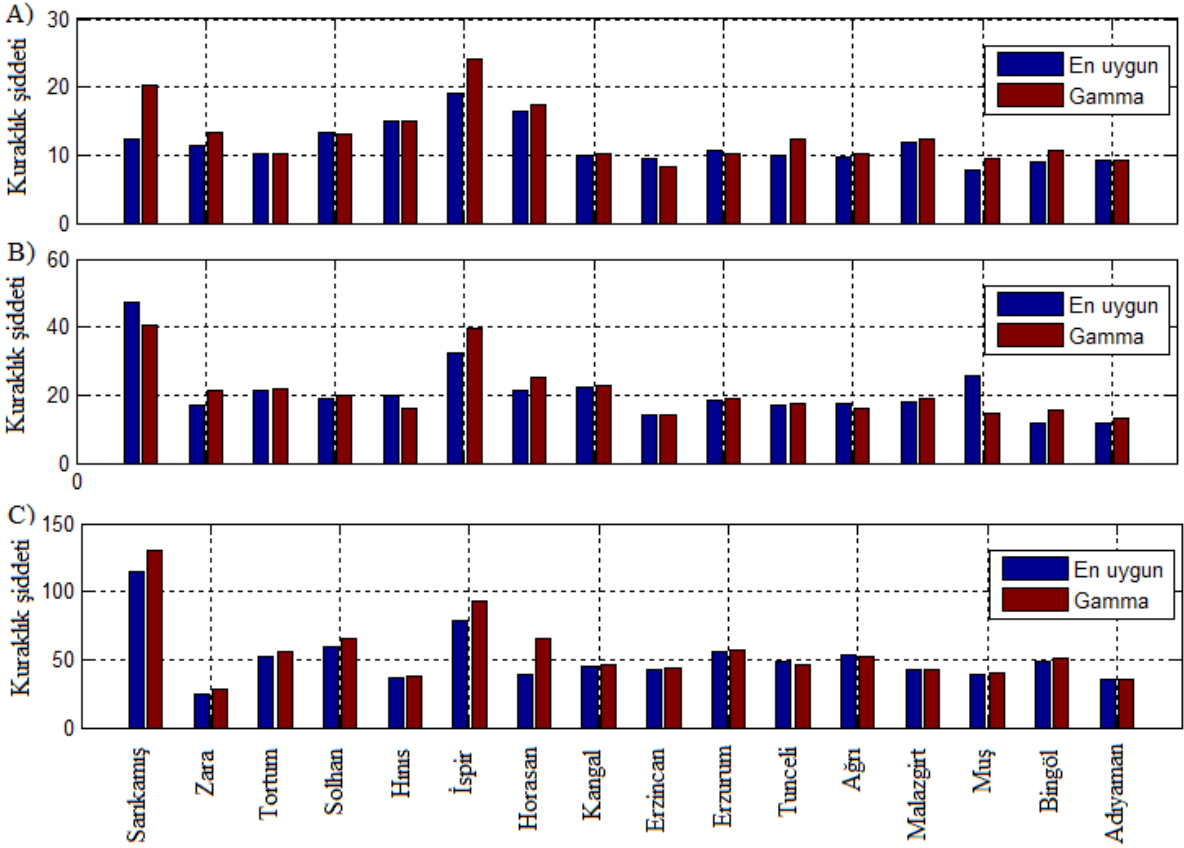
Şekil 11’de gamma SYİ ve en uygun dağılıma göre elde edilen SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık süreleri gösterilmiştir. Bu süreleri karşılaştırıldığında 29

kuraklık süresinin gamma SYİ ve en uygun SYİ’ye göre eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca en uygun SYİ ile hesaplanan 18 kuraklık süresinin ise gamma SYİ’den daha büyük olduğu görülmektedir. Maksimum kuraklık süreleri karşılaştırıldığında ise Sarıkamış, İspir, Horasan ve Kangal istasyonlarında genellikle kuraklıkların uzun sürelerde olduğu görülmüştür.

Şekil 12’de gamma SYİ ve en uygun dağılıma göre elde edilen SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık şiddetleri gösterilmiştir. Bu şiddet değerleri incelendiğinde, gamma SYİ ile hesaplanan 36 adet kuraklık şiddetinin en uygun dağılıma göre hesaplanan SYİ’den daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca en şiddetli kuraklıklar Sarıkamış, İspir ve Horasan istasyonlarında görülmüştür.



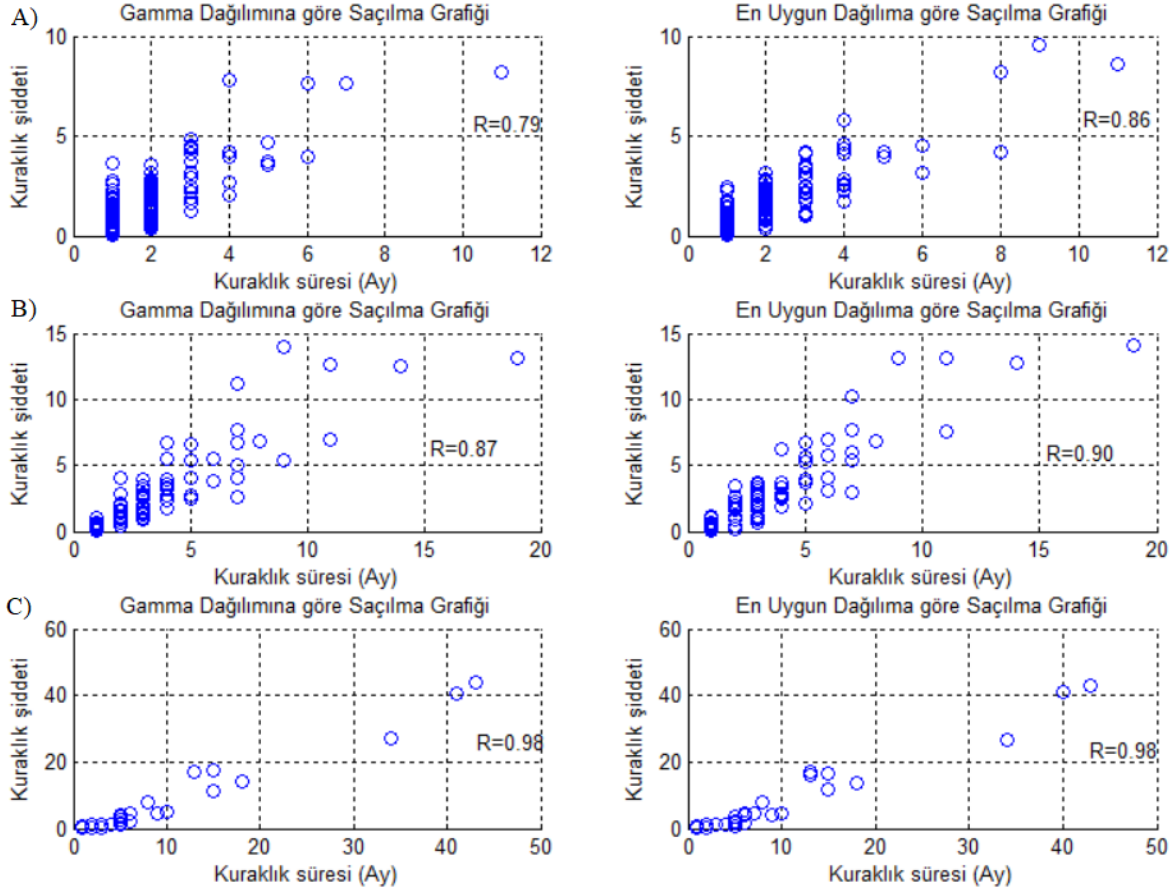
Şekil 11. Maksimum kuraklık sürelerinin karşılaştırılması A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu



Şekil 12. Maksimum kuraklık şiddetlerinin karşılaştırılması A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu

Şekil 13'te aylık, 3 aylık ve 12 aylık zaman periyodunda kuraklık süre ve şiddetlerinin saçılma diyagramları ve pearson korelasyon katsayıları (R) gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, kuraklık süre ve şiddetleri arasında pozitif yönlü ve yüksek ilişkilerin bulunduğu görülmektedir. Zaman

periyodunu artması ile ilişkinin gücünün arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca aylık ve 3 aylık zaman periyodunda en uygun dağılıma göre elde edilen kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişki gamma SYİ değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Erzincan istasyonuna ait en uygun ve gamma dağılımına göre elde edilen kuraklık karakteristiklerinin saçılma diyagramları ve korelasyon katsayıları: A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu

4. Tartışma

SYİ değerlerinin hesaplanması için yağış verilerine gamma dağılımı uydurulmaktadır. Ancak, yağış değerlerinin istatistik özellikleri bölgeden bölgeye ve aydan aya farklılık göstermektedir. Bunun için yağış verilerine en iyi uyan dağılımın belirlenerek daha doğru ve güvenilir SYİ değerleri elde edilebilmektedir. Guttman (1999), gözlenen bir yağış serisini tanımlamak için farklı olasılık dağılımlarının kullanılması durumunda farklı SYİ değerlerinin elde edilebileceğini savunmuştur. Angelidis vd. (2012) yaptıkları çalışmalarında SYİ değerinin hesaplanması için sadece gamma dağılımının yetersiz kaldığını ve alternatif dağılımların kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar doğrultusunda bu çalışmanın konusu olan SYİ'nin

çeşitli dağılımlara göre hesaplanarak karşılaştırılma gerekliliği doğmuştur. Yağış değerlerine çeşitli istatistiksel testler aracılığıyla olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulduğunda GED dağılımının gamma dağılımından daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun literatürdeki çalışmalar ile büyük ölçüde örtüştüğü düşünülmektedir.

Özcan vd. (2013) çalışmalarında, 7 adet meteorolojik istasyonunun yağış verilerini Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Ki kare (χ^2) gibi uygunluk testleri kullanılarak hangi dağılım fonksiyonunun daha iyi temsil ettiğini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda yağış verilerinin genellikle GED dağılımına uyduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma GED dağılımını yağışları etkili bir şekilde modellemesi açısından örtüşmektedir.

Blain vd. (2015); Brezilya, Pelotas Rio Grande do Sul Eyaleti hava istasyonunda SYİ hesabında kullanılan yağış serisine Lilliefors testi uygulamışlardır. Test sonucunda, 3 parametrelili dağılımların yağış verilerini 2 parametrelili dağılımlardan daha iyi temsil ettiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada ise 3 parametrelili GED dağılımının 2 parametrelili dağılımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yapılan çalışma Blain vd. (2015)'yi destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

Oruç (2017) çalışmasında, 2012-2014 yılları arasında, 3 aylık periyodundaki indeks değerlerine göre -1.5 şiddetinde kuraklıklar tespit edilmiştir. Şekil 8-10'daki SYİ değerlerinin zamansal değişimi Oruç (2017) ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

Güngen (2019) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde SYİ değerleri analiz edilmiş ve yaklaşık olarak %65 oranında normal kuraklık şartlarının, %5 oranında ise çok şiddetli kuraklıkların hüküm sürdüğü tespit edilmiştir. Özfidaner ve Topaloğlu (2020) çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yıllık yağış verileri analiz edilerek 1 ve 12 aylık meteorolojik kuraklıkları belirlenmişlerdir. 1 ve 12 aylık periyotta normal ve şiddetli kuraklıkların meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca çok şiddetli kuraklıklar ile karşılaşılmamıştır. Daha önce yapılan çalışmalar Fırat havzasındaki kuraklık durumu ile benzerlik göstermektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Fırat havzası üzerinde bulunan 16 adet yağış gözlem istasyonları kullanılarak SYİ değerleri çeşitli dağılımlara göre hesaplanmış ve kuraklık karakteristikleri run teorisi ile elde edilmiştir. SYİ değerleri hesaplanırken çeşitli zaman periyotlarında kullanılan yağış zaman serilerine en uygun dağılım ve sadece gamma dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu indeks değerlerinde göre kuraklık süre ve şiddet değerlerinin sütun diyagramları, saçılma diyagramları çizilmiş ve pearson korelasyon katsayıları ile ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Aylık, 3 aylık ve 12 aylık zaman ölçeğindeki yağış serilerini en iyi GED dağılımının temsil etmektedir. Standartlaştırılmış yağış indeksi hesaplanırken, yağış verilerine sadece gamma dağılımının uydurulması yerine alternatif dağılımlarında denenerek

indeksin daha hassas biri şekilde hesaplanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- Kuraklık analizi ve erken uyarı sistemlerinde yaygın şekilde kullanılan 2 parametrelili gamma dağılımına dayalı SYİ hesap prosedürünün yeniden değerlendirmesi ve en uygun dağılıma göre SYİ değerleri hesaplanarak modellerin iyileştirilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır.
- Kuraklık karakteristikleri istasyon bazlı değerlendirildiğinde, maksimum kuraklık süre ve şiddetleri genellikle Sarıkamış ve İspir istasyonunda görülürken minimum kuraklık süre ve şiddetleri genellikle Muş, Bingöl, Adıyaman istasyonlarında görülmüştür. Bu durum havzanın günlük olması, yükselti faktörü, karasallık etkisi ve su yapılarının bölge iklimine etkileri, sıcaklık ve yağış durumu ile açıklanabilmektedir.
- SYİ'nin en uygun dağılıma göre hesaplanması ile gamma dağılımına göre hesaplanması sonucunda kuraklık indekslerinde ortalama %2 sapma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kuraklık süre ve şiddetleri arasında yüksek korelasyonun ($R > 0.7$) bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Adamson, P. (1979). Probability distributions of best fit to South African flood data. *Water SA*, 5(2), 70-76.
- Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N. and Hrisanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management*, 26(9), 2453-2473. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0026-0>
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1994). İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 211s.
- Bacanlı, Ü. G. ve Kargı, P. G. (2019). Uzun ve kısa süreli periyotlarda kuraklık analizi: Bursa örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 166-174. <https://doi.org/10.21324/dacd.429391>
- Blain, G. C. and Meschiatti, M. C. (2015). Inadequacy of the gamma distribution to calculate the Standardized Precipitation Index. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(12), 1129-1135. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi>

- Edwards, D. C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Air force inst of tech wright-patterson afb oh.
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>
- Gümüş, V., Başak, A. ve Oruç, N. (2016). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 1(1), 36-44.
- Güngen, Y. (2019). Standart yağış indisi (SYİ) ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- İçel, G. (2014). Mersin'de meteorolojik ve hidrometeorolojik afetler. Electronic Turkish Studies, 9(11), 263-282.
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. Marmara Coğrafya Dergisi, (27), 487-510.
- Karahan, H. ve Özkan, E. (2013). Ege bölgesi standart süreli yıllık maksimum yağışları için en uygun dağılımlar. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 19(3). <https://doi.org/10.5505/pajes.2013.29392>
- Küçükyaman, D. (2010). Kovada Gölü'nün hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Liu, H. and Setiono, R. (1995). Chi2: Feature selection and discretization of numeric attributes. Paper presented at the Proceedings of 7th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence. <https://doi.org/10.1109/TAI.1995.479783>
- López-Moreno, J. I. and Vicente-Serrano, S. M. (2008). Positive and negative phases of the wintertime North Atlantic Oscillation and drought occurrence over Europe: a multitemporal-scale approach. Journal of Climate, 21(6), 1220-1243. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1739.1>
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M. and Cuadrat, J. M. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386(1-4), 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001>
- Maden, T. E. ve Kiliç, S. (2012). Irak'ta su kaynakları sorunu ve yönetimi. Middle Eastern Analysis/Ortadoğu Analiz, 4(43), 84-97.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17(22), 179-183.
- Naresh Kumar, M., Murthy, C. S., Sessa Sai, M. V. R. and Roy, P. S. (2012). Spatiotemporal analysis of meteorological drought variability in the Indian region using standardized precipitation index. Meteorological Applications, 19(2), 256-264. <https://doi.org/10.1002/met.277>
- Oğuztürk, G. (2010). Kızılırmak Havzası'nda SYİ ile kuraklık analizi ve YSA yöntemi ile kuraklık tahmini. Yüksek lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Oruç, N. (2017). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Pamukkale.
- Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B. ve Örmeci, C. (2013). Uydu ve yersel yağış verilerinin noktasal frekans analizi ile mekansal değerlendirmesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara.
- Özcan, O., Bookhagen, B. ve Musaoğlu, N. (2017). Ekstrem yağış olaylarının Fırat Havzası'ndaki hidrolojik bileşenlerin yıllar arası değişimi üzerine etkisi. Ege Coğrafya Dergisi, 26(1), 35-47.
- Özfidaner, M. ve Topaloğlu, F. (2020). Standart yağış indeksi yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi. Toprak Su Dergisi, 9(2), 130-136. <https://doi.org/10.21657/topraksu.767002>
- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- Pamuk, G., Özgürel, M. ve Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 41(1), 99-106.
- Shadeed, S. and Almasri, M. (2007). Statistical analysis of long-term rainfall data for a Mediterranean semi-arid region: a case study from Palestine. In Sustainable Development and Management of Water in Palestine, International Conference on Palestine Water, Amman, Jordan.
- Sırdaş, S. ve Şen, Z. (2010). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. İTÜ dergisi, 2(2), 95-103.

- Sienz, F., Bothe, O. and Fraedrich, K. (2012). Monitoring and quantifying future climate projections of dryness and wetness extremes: SPI bias. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 2143-2157. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2143-2012>
- Stage, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F. and Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Shukla, S. and Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2). <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>
- Topçu, E. ve Karaçor, F. (2021). Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 565-574. <https://doi.org/10.2339/politeknik.682168>
- Temel, İ. (2019) Gediz Havzasında kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tosunoğlu, F. (2014). Türkiye'deki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların atmosferik salınımlarla olan ilişkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A. and Hu, Q. (2001). An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z Index and the statistical Z Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6), 745-758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>
- Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Svoboda, M. D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(4), 505-520.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(1), 65-79. <https://doi.org/10.1002/joc.1371>
- Yeğnidemir, K. (2005). İç Anadolu Bölgesi'nin standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) metodu ile kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Yevjevich, V. M. (1967). Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, *An. Hydrology papers (Colorado State University)*; no. 23.
- Yüce, M. İ. ve Eşit, M. (2020). Ceyhan havzasının kuraklık risk haritasının SPI ve SPEI metotları ile belirlenmesi. *Su Kaynakları*, 5(2), 24-33.
- Yıldırım, A. (2006). Karakaya barajı ve doğal çevre etkileri. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6, 32-39.

Ekler

EK-1. Çalışmada kullanılan yağış istasyonlarına ait bazı istatistik bilgiler

İstasyon	İstatist.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adıy	Max	367.1	233.0	348.5	223.9	146.8	51.1	10.5	16.9	44.7	162.8	232.8	331.6
	Min	7.0	1.0	4.9	3.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.3
	Ort.	136.7	98.0	89.6	66.8	39.9	8.1	1.8	1.5	6.4	46.3	76.8	131.3
Bingöl	Max	421.1	298.1	284.4	333.5	238.9	91.6	39.1	43.4	64.4	220.9	236.6	377.8
	Min	1.3	25.6	36.1	12.8	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.6	3.4
	Ort.	136.3	132.4	128.8	119.4	75.2	21.5	6.2	5.6	13.5	67.4	106.5	130.9
Muş	Max	214.7	255.3	197.2	235.4	226.6	77.7	30.0	57.5	73.4	189.9	227.6	219.9
	Min	1.1	18.9	17.3	21.6	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	2.5
	Ort.	91.8	97.0	104.1	106.6	69.2	27.8	7.9	8.5	15.9	62.1	88.0	89.5
Malaz.	Max	82.6	93.2	109.2	165.8	175.1	76.2	39.5	25.8	75.9	129.3	126.3	118.1
	Min	3.2	0.8	6.5	13.2	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	1.5
	Ort.	33.9	36.8	50.4	73.2	70.8	29.7	11.2	5.2	15.2	47.9	44.4	38.3
Ağrı	Max	149.6	254.5	96.9	141.4	151.6	143.7	76.3	55.6	72.6	160.7	126.5	110.6
	Min	2.4	3.9	3.2	15.5	15.7	0.0	0.2	0.2	0.2	1.5	0.0	2.1
	Ort.	40.7	46.8	49.3	71.8	73.8	42.7	20.1	13.3	19.8	55.9	46.7	44.0
Tunceli	Max	540.2	210.1	285.6	320.2	271.4	72.0	21.0	59.6	87.3	216.7	237.0	336.0
	Min	1.1	2.6	19.2	14.9	4.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	5.0
	Ort.	128.1	102.5	107.0	106.1	71.2	18.1	4.9	6.7	17.0	62.2	96.2	124.4
Hınıs	Max	159.1	171.6	163.0	177.3	191.0	96.4	49.4	44.0	60.0	184.3	127.1	155.1
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ort.	49.7	58.1	71.7	81.5	68.4	30.4	13.6	10.7	16.7	52.4	55.0	54.4
Erzurum	Max	55.7	90.0	122.6	147.7	129.0	112.6	92.6	63.0	81.4	210.8	81.0	52.8
	Min	1.7	1.2	1.2	8.8	14.9	2.9	0.8	0.0	0.0	2.3	2.6	5.0
	Ort.	19.7	22.5	32.0	53.6	69.6	44.6	24.9	17.5	22.4	49.3	31.1	21.1
Erzinc.	Max	74.9	62.7	100.4	95.9	138.2	64.1	81.0	26.2	46.4	130.9	124.3	89.8
	Min	1.0	4.2	1.0	8.7	11.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	2.8
	Ort.	27.6	29.1	41.7	53.6	55.0	29.2	12.0	7.1	15.1	44.0	37.1	28.0
Kangal	Max	83.7	127.1	164.2	117.0	139.1	132.2	62.9	65.3	86.4	118.9	156.9	108.2
	Min	3.9	1.4	2.3	10.1	12.7	0.3	0.0	0.0	0.2	2.2	0.7	2.8
	Ort.	37.7	34.1	41.7	59.6	58.5	34.8	8.5	8.6	13.6	33.0	35.5	39.5
İspir	Max	96.2	117.8	110.2	139.6	128.4	84.0	58.1	53.8	72.6	126.5	142.7	129.9
	Min	0.0	0.0	3.4	5.6	11.8	3.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	Ort.	31.6	34.2	40.6	57.6	60.8	41.9	24.1	16.5	22.5	42.3	43.0	39.7
Tort.	Max	71.1	89.8	96.9	127.4	168.3	130.2	96.4	113.7	57.6	99.6	108.3	85.9
	Min	0.3	3.4	1.6	8.8	19.2	9.4	0.0	0.0	0.0	3.5	0.5	0.9
	Ort.	25.6	28.1	39.8	54.4	66.0	56.1	37.0	24.9	21.5	42.3	36.1	28.3
Horas.	Max	46.0	63.6	73.7	115.1	117.5	91.7	84.1	62.4	51.6	97.1	77.2	54.7
	Min	0.6	2.6	1.1	8.2	10.2	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1
	Ort.	20.8	23.2	33.4	49.3	65.9	43.7	25.8	18.4	17.2	38.9	31.3	24.0
Sarıka.	Max	225.0	98.2	139.2	156.2	166.6	146.9	118.3	138.5	86.4	119.6	135.6	82.2
	Min	0.0	0.0	0.0	18.6	10.8	0.8	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.0
	Ort.	37.3	38.2	52.6	73.4	88.0	66.5	46.1	32.6	26.9	51.6	43.4	36.1
Zara	Max	103.1	104.8	135.3	147.3	169.8	121.6	45.6	67.9	71.1	114.9	171.4	109.8
	Min	6.0	3.4	1.2	0.0	23.6	1.9	0.0	0.0	0.1	2.0	1.7	7.1
	Ort.	46.1	40.2	52.6	79.8	73.5	40.8	10.7	9.4	20.3	46.0	49.9	50.2
Solhan	Max	182.5	183.2	181.2	300.7	171.5	111.6	48.5	49.4	52.7	195.4	208.0	202.4
	Min	2.0	10.5	21.6	12.9	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ort.	66.9	76.9	88.9	104.1	69.9	25.3	7.5	5.4	12.6	64.6	74.0	74.0

EK-2. Fırat havzasında hesaplanan maksimum kuraklık karakteristikleri

İstasyon	Kuraklık Periyodu	En uygun dağılıma göre		Gamma dağılımına göre	
		Süre (Ay)	Şiddet	Süre (Ay)	Şiddet
Sarıkmış	Aylık	7	-12.33	7	-20.29
	3 Aylık	35	-47.15	19	-40.54
	12 Aylık	69	-114.58	69	-129.62
Zara	Aylık	13	-11.51	5	-13.26
	3 Aylık	14	-16.81	14	-21.37
	12 Aylık	13	-24.90	13	-27.89
Tortum	Aylık	13	-10.26	10	-10.10
	3 Aylık	17	-21.17	16	-21.95
	12 Aylık	37	-52.68	38	-55.93
Solhan	Aylık	12	-13.23	6	-13.16
	3 Aylık	12	-19.10	8	-19.82
	12 Aylık	38	-59.22	38	-65.50
Hınıs	Aylık	7	-14.89	7	-14.98
	3 Aylık	19	-20.14	8	-16.03
	12 Aylık	32	-36.79	32	-37.65
İspir	Aylık	13	-19.05	12	-24.03
	3 Aylık	18	-32.17	18	-39.58
	12 Aylık	45	-78.09	44	-93.59
Horasan	Aylık	12	-16.52	12	-17.48
	3 Aylık	10	-21.27	10	-25.04
	12 Aylık	33	-39.5	54	-65.31
Kangal	Aylık	11	-9.88	10	-10.17
	3 Aylık	17	-22.48	17	-23.02
	12 Aylık	47	-44.98	47	-46.07
Erzincan	Aylık	9	-9.55	11	-8.16
	3 Aylık	19	-14.05	9	-14.03
	12 Aylık	43	-43.16	43	-43.72
Erzurum	Aylık	11	-10.67	11	-10.11
	3 Aylık	13	-18.71	13	-19.11
	12 Aylık	38	-55.55	38	-56.87
Tunceli	Aylık	6	-10.06	6	-12.42
	3 Aylık	7	-17.06	7	-17.36
	12 Aylık	45	-49.08	45	-46.29
Ağrı	Aylık	6	-9.71	6	-10.20
	3 Aylık	15	-17.47	15	-16.21
	12 Aylık	65	-53.97	58	-51.95
Malazgirt	Aylık	8	-11.85	8	-12.37
	3 Aylık	19	-18.10	18	-18.83
	12 Aylık	39	-42.24	39	-43.01
Muş	Aylık	5	-7.91	5	-9.41
	3 Aylık	29	-25.76	7	-14.84
	12 Aylık	26	-39.59	26	-40.44
Bingöl	Aylık	5	-8.99	5	-10.56
	3 Aylık	17	-11.76	13	-15.38
	12 Aylık	37	-49.15	37	-50.75
Adıyaman	Aylık	5	-9.24	6	-9.19
	3 Aylık	7	-11.91	7	-13.35
	12 Aylık	24	-35.31	24	-34.80

Not: Kalın karakterler en şiddetli kuraklıkları ifade etmektedir.

Reaktif etilen terpolimerlerin bitümün modifikasyonunda kullanımı: Bir literatür araştırması

The use of reactive ethylene terpolymers in the modification of bitumen: A literature review

Aytuğ KUMANDAŞ^{*1,a}, Erman ÇAVDAR^{2,b}, Erhan Burak PANCAR^{1,c}, Şeref ORUÇ^{2,d}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 15.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.05.2021

Öz

Uzun yıllardan beri, bitümün performansının artırılması amacıyla bitüme farklı katkı maddeleri ilave edilerek modifiye edilmektedir. Bitüm modifikasyonunda kullanılan ve bitüm ile tepkimeye girdiği varsayılan reaktif etilen terpolimerler (RET) diğer katkı malzemelerine kıyasla nispeten daha günceldir. Bu katkı malzemelerinin en önemli özellikleri diğer katkı malzemelerinde meydana gelen faz ayrışımına maruz kalmaması ve diğer katkı maddelerine kıyasla çok daha az miktarlarda (%1-2) bitüme ilave edilmesidir. Bu derleme çalışmasında, RET modifiye bitüm kullanılan çalışmalar incelenmiş ve RET modifikasyonun bitüm üzerindeki etkisi anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle RET'ler ile ilgili genel bilgilere ve karıştırma koşullarına değinilmiş ardından RET modifikasyonunun bitümün fiziksel ve reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bunlara ilaveten, RET modifiyeli bitümler ile hazırlanan asfalt karışımlar üzerine yapılan çalışmalar ve kompozit modifikasyon içerisinde RET'e yer verilen çalışmalar da incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda, RET modifikasyonunun saf bitümün sertliğini ve yüksek sıcaklıklardaki performansını arttırdığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, RET modifiyeli bitümlerin hazırlanmasında kullanılan karıştırma koşullarının önemli farklılıklar gösterdiği fark edilmiştir. Ayrıca, kompozit modifikasyonda RET ile birlikte farklı katkı maddelerinin kullanımı ile saf bitüme kıyasla düşük sıcaklıklarda daha esnek, yüksek sıcaklıklarda ise daha rijit bir bitümün elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bitüm modifikasyonu, Bitüm reolojisi, Karıştırma koşulları, Reaktif etilen terpolimer

Abstract

For many years, bitumen has been modified by adding different additives in order to increase its performance. Reactive ethylene terpolymers (RET) used in bitumen modification and assumed to react with bitumen are relatively more up-to-date compared to other additives. The most important features of these additives are that they are not exposed to phase separation occurring in other additives and they are added to bitumen in much smaller amounts (1-2%) compared to other additives. In this review, the studies using RET modified bitumen were examined and the effect of RET modification on bitumen was tried to be understood. Accordingly, first of all, general information about RETs and mixing conditions were mentioned and then the effect of RET modification on physical and rheological properties of bitumen was examined. In addition, studies on asphalt mixtures prepared with RET modified bitumens and studies involving RET in composite modification were also examined. As a result of this review study, it was understood that the RET modification increased the hardness and performance of pure bitumen at high temperatures. However, it has been noticed that the mixing conditions used in the preparation of RET modified bitumen differ significantly. In addition, it has been observed that it is possible to obtain a bitumen that is more flexible at low temperatures and more rigid at high temperatures compared to pure bitumen, with the use of different additives together with RET in composite modification.

Keywords: Bitumen modification, Bitumen rheology, Mixing conditions, Reactive ethylene terpolymer

*a Aytuğ KUMANDAŞ; aytug.kumandas@omu.edu.tr; Tel: (0362) 312 19 19; orcid.org/0000-0003-1765-9963

^b orcid.org/0000-0002-0238-5245

^c orcid.org/0000-0002-7958-3434

^d orcid.org/0000-0001-5788-890X

1. Giriş

Bitüm en eski yapı malzemelerinden biridir ve antik çağlardan beri çok değerlidir (Connan vd., 1999). Genel olarak bitümler karmaşık bir içyapıya sahip yapı malzemeleridir. Bitümün, asfaltenler ve maltenler ile temsil edildiği ve farklı seviyelerde polarite ve molar kütlelere sahip kompleks bileşiklerin bir koloidal sistemi olduğu kabul edilmektedir (Jasso vd., 2015). Asfalt karışımlarda kullanılan bitümler, geniş bir sıcaklık rejimi altında yeterli performansı göstermelidirler. Geleneksel bitüm kullanılarak inşa edilen asfalt kaplamalar, çoğu karayolu kaplamalarında ve havaalanı pisti uygulamalarında tatmin edici bir performans sergilemiştir (Airey, 2002). Ancak, karayolu trafiğinin hacmindeki, dingil yüklerindeki ve tekerlek lastiklerinin basınçlarındaki artış, yetersiz bakım yapılması, iklim koşullarının değişmesi, inşaat ve tasarım hataları asfalt kaplamaların bozulmasına sebep olarak hizmet ömrünü olumsuz etkilemektedir (Airey, 2002; Isacsson ve Lu, 1995; Oruc vd., 2016; Suo ve Wong, 2009; Tayfur vd., 2007). Bunun yanı sıra, yaşam standartlarındaki artış, sosyal gelişme, mevcut kaynakların yetersizliği, artan malzeme ve enerji maliyeti karayolu mühendislerini yeni yollar inşa etmeye ve mevcut yolları iyileştirme konusunda yeni alternatifler keşfetmeye yöneltmiştir (Al-Hadidy ve Tan, 2009; Sengoz ve Topal, 2005; Yılmaz vd., 2011).

Bitüm modifikasyonu, bitümün eksikliklerini gidermek ve böylece asfalt kaplamaların performansını arttırmak için bir çözüm sunmaktadır (Isacsson ve Lu, 1995). Bilinen en iyi modifikasyon şekli, bitümün sertliğini, yüksek servis sıcaklıklarında arttırarak ve düşük servis sıcaklıklarında ise azaltarak bitümün sıcaklığa karşı duyarlılığını geliştirmek amacıyla kullanılan polimer modifikasyonudur (Brule vd., 1988; Collins vd., 1991; Connan vd., 1999). Polimer modifiyeli bitümler (PMB'ler) kaplamanın tekerlek izine, soyulmaya, yorulma ve ısı etkisiyle meydana gelen çatlaklara karşı direncinin artmasını ve sıcaklık hassasiyetinin azalmasını sağlamaktadır. PMB'ler ile oluşturulan asfalt kaplamalar, yoğun caddelerdeki kavşaklar, havaalanları, araç tartım istasyonları ve yarış pistleri gibi yüksek gerilmelerin meydana geldiği yerlerde başarı ile kullanılmaktadır. Bitümü modifiye etmek için kullanılan polimerler arasında stiren-bütadien-stiren (SBS), stiren-bütadien kauçuğu (SBR), Elvaloy, kauçuk, etilen-vinilasetat (EVA), polietilen ve diğerleri bulunmaktadır (Yıldırım, 2007).

Bitüm modifikasyonunda kullanılan polimerler genellikle, elastomerler ve plastomer olmak üzere iki gruba ayrılırlar ve bunların ortak dezavantajı yüksek sıcaklıklarda faz ayrışımına uğramalarıdır. Bu durumun sebebinin, bu katkı malzemelerinin bitüm ile kimyasal bir etkileşimden ziyade fiziksel bir etkileşime geçmeleri olduğu düşünülebilir. Bu husustan yola çıkarak araştırmacılar, polimer modifiye malzemelerinin üçüncü grubu olarak sınıflandırmaya dâhil edilen ve bitüm ile kimyasal bir tepkimeye girdiği varsayılan reaktif polimerleri üretmiştir. Reaktif etilen terpolimerler (RET) ile bitüm arasındaki iyi uyumluluk ve kimyasal bağ sadece çeşitli performans parametrelerini iyileştirmekle kalmayıp yüksek sıcaklıkta depolama koşullarında faz ayrışmasını da önlemektedir (Jasso vd., 2015; Polacco vd., 2004a; Polacco vd., 2004b; Yıldırım, 2007). Araştırmacılar bunlara ek olarak bitüme RET ilavesinin elastik geri dönmeyi iyileştirdiğini, sıcaklık hassasiyetini ve nem hasarını azalttığını tespit etmişlerdir (Domingos ve Faxina, 2015b; Topal, 2010; Yıldırım, 2007). Bitüm modifikasyonunda polimerlerin yaklaşık %5 oranında kullanılmasına rağmen RET'ler için bu oran yaklaşık %1-2 civarına düşmektedir ve RET modifiyeli bitümlerin (RETMB) yüksek sıcaklıklardaki performansı diğer PMB'lerle yaklaşık olarak denktir. Bu durum, RET'lerin bitüm modifikasyonunda daha ekonomik bir katkı maddesi olabileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır. Buna ilaveten, diğer katkı maddelerinin bir dezavantajı olan depolama esnasındaki faz ayrışımı RET'lerde meydana gelmemektedir. Bu hususlardan yola çıkılarak, RETMB'lerin daha detaylı bir şekilde anlaşılması amacıyla bu derleme çalışması hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, RETMB'lerin, fiziksel ve reolojik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenip RET modifikasyonunun bitüm üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle RET'ler ile ilgili literatürden elde edilen genel bilgiler paylaşılmış, ardından literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak, RETMB'lerin hazırlanma koşulları, RET modifikasyonunun bitümün fiziksel ve reolojik özelliklerine etkisi ve RETMB'lerle hazırlanan asfalt karışım numunelerinin performansları incelenmiştir. Bunlara ilaveten, RETMB'lere başka katkı malzemelerinin ilave edilmesiyle hazırlanan kompozit modifiyeli bitümlerle ilgili yapılan çalışmalara da değinilmiştir.

2. Metodoloji

Bu çalışmada, Web of Science, Scopus ve Google Akademik veri tabanlarında yayınlanmış olan yayınlar incelenmiştir. Belirtilen veri tabanlarında, “Elvaloy”, “reactive ethylene terpolymer”, “Elvaloy 4170”, “Elvaloy 5160”, “asphalt”, “asphalt modification”, “bitumen”, “bitumen modification” kelimeleri ayrı ayrı veya bazılarının kombinasyonu şeklinde (örneğin “Elvaloy” + “asphalt”) aratılarak bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Elvaloy, RET’lerin bitüm modifikasyonunda en yaygın kullanılan ürünüdür ve bu sebeple anahtar kelimelerden biri olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan “RET” kelimesi aynı zamanda “Elvaloy” ürününü bünyesinde barındırmaktadır. Literatür taraması sonucunda, bulunan yayınlardan RET’lerin başka alanlarda kullanımını inceleyen yayınlar elenmiş ve sadece bitüm modifikasyonunun bulunduğu yayınlar seçilmiştir.

Seçilen yayınlar incelendiğinde bu çalışmada üç farklı şekilde RET kullanımına yer verildiği anlaşılmıştır. Bunlar: (1) bitüm modifikasyonunda RET’in etkisini belirlemek üzere sadece RET (veya RET ile birlikte polifosforik asit (PPA)) kullanımını içeren çalışmalar, (2) bitüm modifikasyonunda, içerisinde RET’lerin de yer aldığı çeşitli polimerlerin etkisini kıyaslamalı olarak inceleyen çalışmalar ve (3) RET ile modifiye edilmiş bitümlere başka katkı malzemelerinin de ilave edilmesiyle hazırlanan kompozit modifiyeli bitümlerin incelendiği çalışmalar. Bu çalışmalarda RETMB’lerden elde edilen özellikler bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Hangi çalışmalarda kıyaslama yapıldığını, hangi çalışmalarda kompozit modifiyeli bitümlerin hazırlandığını okuyucuların daha iyi anlayabilmesi amacıyla bu çalışmada hazırlanan tablolarda bu konularla ilgili özel sütunlara yer verilmiştir.

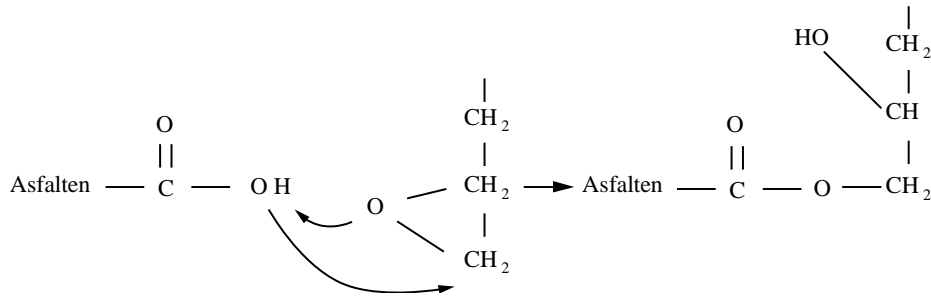
RET’lerin bitüm modifikasyonunda kronolojik olarak kullanımı incelendiğinde çalışmaların başladığı ilk yıllarda sadece RETMB’lerin özelliklerinin incelendiği ve RETMB’ler ile diğer modifiyeli bitümlerin kıyaslandığı çalışmaların alana öncülük ettiği görülmektedir (Bagdat vd., 2015; Bhurke vd., 1997; Bulatovic vd., 2013, 2014b; Domingos ve Faxina, 2015a; Hafeez ve Kamal, 2009; Hesp vd., 2002; Keyf vd., 2007a; Michon vd., 1998; Pérez-Lepe vd., 2007; Polacco vd., 2004a; Selvavathi vd., 2002). Günümüze yaklaşıldığında ise kompozit modifikasyonda RET kullanımıyla ilgili yapılan çalışmaların sayısında bir artış meydana gelmiştir (Keyf, 2018; Singh vd.,

2019a; Singh vd., 2019b; Singh vd., 2018; Xu vd., 2020; Xu vd., 2019). Bununla birlikte, güncel çalışmalarda önceki çalışmalara kıyasla farklı ve daha güncel deney yöntemleri ile sadece RET kullanımının incelendiği veya RET ile diğer katkı maddelerinin karşılaştırıldığı çalışmalar da görülmektedir (Ali vd., 2018; Almusawi vd., 2021a; Athira vd., 2020; Domingos vd., 2020; Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; Skronka vd., 2019). Bu durum dikkate alındığında, RET modifikasyonu ile ilgili kesin bir kronolojik yargıya varmanın mümkün olmadığı ancak RET’ler üzerine yapılan çalışmaların sayısının giderek arttığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmadaki alt başlıklar ve içerdikleri bilgiler şu şekildedir: 3. bölümde, RET’lerin kimyasal yapısı ile ilgili literatürden edinilen genel bilgiler verilmiş ve bu ürünlerin piyasada ve çalışmalarda bulunma şekillerine değinilmiştir. Modifiyeli bitüm karışımlarının hazırlanma koşulları PMB’lerin hem laboratuvar ortamında hem de uygulama esnasında doğru şekilde üretilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu sebeple çalışmanın 4. bölümünde, RET ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen, laboratuvar ortamında PMB karışımı hazırlama parametreleri incelenmiştir. 5. ve 6. bölümlerde RET modifikasyonunun, sırasıyla bitümün fiziksel ve reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. 7. bölümde RETMB’ler kullanılarak hazırlanan asfalt karışım numuneleri üzerinde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. 8. bölümde RET ile birlikte başka katkı maddelerinin kullanımı sonucunda elde edilen kompozit modifiyeli bitümleri içeren çalışmalar incelenmiştir. Son bölümde ise literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, bitümün RET ile modifikasyonu hakkında yazarların genel yorumlarına yer verilmiştir.

3. Reaktif etilen terpolimerler (RET’ler)

RET’ler üç farklı monomerin birleşimi sonucunda oluşurlar: etilen, n-bütülaçrilat ve glisidilmetakrilat (de Sá Araujo vd., 2013). Bitümün modifikasyonunda kullanılan diğer polimerlere kıyasla nispeten daha yeni bir ürün olan RET’lerin bitüm ile kimyasal bir bağ kurduğu varsayılmaktadır. Bu sebeple isimlerinde “reaktif” kelimesi bulunur. RET’lerin reaktivlikleri bünyelerinde, bitüm molekülleri ile bağ kurabilen fonksiyonel grupları barındırmalarından kaynaklanmaktadır (Polacco vd., 2004a). Keyf vd. (2007a), yaptıkları çalışmada RET’in asfaltenler içerisindeki karboksilik asit grupları ile reaksiyona girerek esterler oluşturduklarını belirtmişlerdir (Şekil 1).



Şekil 1. RET ile asfaltin içerisindeki karboksilik asit grupları arasındaki reaksiyon (Keyf vd., 2007a).

RET'ler bitüm modifikasyonunda kullanılmadan önce farklı endüstrilerde kendilerine yer bulmuşlardır. Örneğin, birçok çalışmada polimerik karışımların uyumlaştırıcıları olarak kullanılmışlardır (Chiono vd., 2003; Loyens ve Groeninckx, 2002; Minkova vd., 2002; Pazzagli ve Pracella, 2000; Polacco vd., 2004a). Buna ilaveten, çeliklerin korozyona karşı direncini arttırmak amacıyla kaplama malzemesi olarak kullanımları da mevcuttur (de Sá Araujo vd., 2013; Love vd., 2007). Farklı alanlardaki kullanımları devam etmekle birlikte, RET'lerin bitüm ile reaksiyona girdiğinin keşfedilmesiyle araştırmacılar tarafından bitüm modifikasyonunda kullanımı incelenmeye başlanmıştır.

Bitüm modifikasyonunda hali hazırda yaygın olarak kullanılan elastomer ve plastomerlerin bitüm ile fiziksel bir etkileşimde bulunmaları yüksek sıcaklıklarda faz ayrışmasına sebep olmaktadır. Faz ayrışımı ise bu polimerlerle modifiye edilen bitümlerin yüksek sıcaklıklarda depolanmasını zorlaştırmakta ve modifiyeli bitümün özelliklerini kaybetmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi için araştırmacılar, sülfür vulkanizasyonu, antioksidanların ilave edilmesi, hidrofobik kil minerallerinin kullanımı ve işlevselleştirme gibi çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir (Zhu vd., 2014). Bu yöntemlerin arasında reaktif polimerlerin bitüm modifikasyonunda kullanımı da yer almaktadır. RET'lerin bitüm ile fiziksel bir etkileşimden ziyade kimyasal bir etkileşim içinde olmaları, polimer modifiyeli bitümdeki (PMB) faz ayrışımını engelleyerek depolama stabilitesi yüksek PMB üretimini mümkün kılmaktadır (Gama vd., 2018).

Bitüm modifikasyonunda RET kullanımı avantajlara sahip olduğu gibi bazı dezavantajlara da sahiptir. Örneğin, modifikasyonda kullanılacak RET miktarının dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Çünkü bitüme aşırı dozda RET ilavesi, çözünmez ve erimez bir bitüm jeli oluşumuna yol açacaktır. Bu olaya "jelleşme" adı verilir. Bu riskten kaçınılması için bazı

araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda bitüm modifikasyonunda kullanılacak RET oranının % 1.5-2.5 aralığında olması gerektiğini belirtmişlerdir (Domingos ve Faxina, 2015b; Polacco vd., 2004b). Fakat modifikasyonda bir üst sınırın bulunması, bitümün özelliklerinde yapılacak iyileştirmelerin ancak belirli bir seviyeye kadar ulaşabileceği anlamına gelmektedir. Buna ilaveten, RET ile bitüm arasındaki reaksiyonun tamamlanması zaman almaktadır. Bu reaksiyonun tamamlanması için belirli bir süre (24 veya 48 saat) 160-180°C sıcaklıkta modifiyeli bitüme kür uygulanması tavsiye edilmektedir (Polacco vd., 2004a). Araştırmacılar bitüm ile RET arasındaki tepkimenin hızlanması ve kür süresinin kısaltılması için RET ile birlikte katalizör olarak polifosforik asit (PPA) kullanımını tavsiye etmişlerdir (Singh vd., 2019a). PPA hali hazırda yüksek bitümün yüksek sıcaklık performansını arttıran bir katkı maddesi olarak ayrıca kullanılmaktadır (Li vd., 2011). RET ile geliştirilen yükseklik sıcaklık performansına ayrıca PPA da katkı sağladığı için ilave edilen RET miktarının azaltılmasını mümkün kılarak jelleşme riskinden kaçınılmasını mümkün kılmıştır (Gama vd., 2018; Singh vd., 2019a).

Günümüzde RET'ler, bitüm modifikasyonunda kullanılmak amacıyla farklı firmaların ürettiği ticari ürünler olarak temin edilebilmektedirler. Dow Chemicals firmasının ürettiği Elvaloy (Dow, 2021a) ve Arkema firmasının ürettiği Lotader (Lotader, 2021), literatürde yaygın olarak kullanılan RET'lerdir. Bununla birlikte, bitüm modifikasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alındığında Elvaloy'un diğerine kıyasla çok daha popüler olduğu görülmektedir. Bu sebeple, bu çalışma Elvaloy RET ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alınarak hazırlanmıştır. Ayrıca, Elvaloy markası altında birden çok model bulunmaktadır. Bunlar, isimlerine ilave edilen numaralar ve harfler ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Örneğin farklı çalışmalarda; Elvaloy AM (Bulatovic vd., 2013), Elvaloy 4170 (Domingos ve Faxina, 2015b; Geckil ve Seloglu, 2018), Elvaloy AC (Ali vd., 2018), Elvaloy RE (Pérez-Lepe vd., 2007), Elvaloy 5160

(Geckil, 2019) gibi farklı modellerdeki RET'lere rastlamak mümkündür. Bu ürünler arasındaki fark içerdikleri bütül akrilat ve glisidil metilakrilat oranlarıdır. Örneğin; Elvaloy AM ağırlığınca %28 bütül akrilat ve %5.3 glisidil metilakrilat içeriyorken Elvaloy 4170 ağırlığınca %20 bütül akrilat ve %9 glisidil metilakrilat içermektedir (Bulatovic vd., 2013; Polacco vd., 2004a). Bu oranlar doğrultusunda RET'in bitüm üzerindeki etkisi değişiklik göstermektedir. Her ne kadar böyle bir etki söz konusu olsa da bazı çalışmalarda (Bricker ve Hesp, 2013; Li vd., 2011; Miknis ve Thomas, 2008; Selvavathi vd., 2002; Singh vd., 2017) kullanılan RET türü bulunamamıştır. Bu çalışmada, incelemeye tabi tutulan yayınlarda kullanılan RET türü belirtilmeye çalışılmıştır.

4. RETMB'lerin hazırlanmasında kullanılan karıştırma parametreleri

PMB'ler hazırlanırken stabil bir modifikasyonun sağlanabilmesi için bitüm ile polimerin karıştırılması esnasında tercih edilen karıştırma parametreleri ve bitüm ile polimer arasındaki uyumluluk kritik bir öneme sahiptir (Perez-Lepe vd., 2003). Bitüm ile reaksiyona girebilen RET'lerin uyumluluk açısından herhangi bir problemi yoktur. Bu hususta, Topal (2010) yaptığı çalışmada RETMB'lerin morfolojisini floresan mikroskopisi görüntüleriyle incelemiş ve RET'in bitüm ile olan uyumluluğu veya çözünürlük kabiliyeti sayesinde bitüm ile RET arasında herhangi bir faz ayrışımının gözlemlenmediğini ifade etmiştir. Benzer şekilde (Geckil, 2019), yaptığı çalışmada RETMB'lerin morfolojisini taramalı elektron mikroskopisi kullanarak incelemiş ve RETMB'nin homojen bir yapıda olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte RET ve bitüm arasındaki morfolojik uyumluluğun yanı sıra, RETMB'lerin hazırlanması sırasında tercih edilen karıştırma koşullarının da PMB'nin performansı üzerinde önemli bir etkisi olacağı aşikârdır. Karışım hazırlama parametreleri; bitüme ilave edilecek polimer miktarı, karıştırıcı türü, karıştırma süresi, hızı ve sıcaklığı olarak sayılabilir. Bununla birlikte, RETMB'lerde eğer uygulandıysa kür süresi ve sıcaklığı da önem taşımaktadır. Eğer hazırlanan RETMB yetersiz süre kür ortamında tutulursa RET ile bitüm arasındaki reaksiyon tamamlanmayacak ve modifiyeli bitümden istenilen verim alınamayacaktır. Bununla birlikte yazarlar tarafından, uzun süre kür koşulunda bekletilen bitümün ise yüksek sıcaklık etkisi altında erken yaşlanmaya maruz kalacağı düşünülmektedir. Tüm bu parametrelerin yanında, modifiye edilen saf

bitümün özelliklerinin PMB üzerinde çok büyük bir etkisinin olduğu unutulmamalıdır.

Üretici firmanın 2020 yılında internet sitesi üzerinden yayınladığı tanıtım videosu dikkate alındığında RETMB'lerin hazırlanması için gerekli koşullar şöyledir (Dow, 2021b): karıştırma sıcaklığı, 165-175 °C; RET ilave miktarı, %2; karıştırma süresi, 2 saat; PPA ilave miktarı, %0.4; PPA ilaveli ek karıştırma süresi, 1 saat. Bunlara ek olarak, tüm bu karıştırma işlemi düşük kesmeli karıştırıcıda (dört kollu mekanik karıştırıcıda) gerçekleştirilmiştir. Ancak, karıştırma hızının kaç dev/dk olduğu ile ilgili bir bilgi bu tanıtım içerisinde bulunmamaktadır. Bu tanıtım, laboratuvar ortamında RET'ler ile çalışacak araştırmacılar için faydalı bilgiler içermektedir.

Literatürde RET'in kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise firmanın tavsiyelerinden çok farklı koşullar takip edilerek RETMB'lerin hazırlandığı fark edilmiştir. Bu doğrultuda, her bir çalışmada tercih edilen karıştırma parametreleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde RET ile genellikle düşük penetrasyonlu bitümlerin modifiye edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda yumuşak kıvamlı bitümler de kullanılmıştır. Kullanılan RET türünün bazı çalışmalarda belirtildiği, bazılarında sadece RET olarak ifade edildiği görülmektedir. Saf bitüme ilave edilecek RET miktarı ise çalışmaların birçoğunda birbirlerine paralel olarak bitümün ağırlığınca %1-2 aralığında tercih edilmiştir. Buna ilaveten, bazı çalışmalarda PPA kullanılmış ve ilave edilecek PPA miktarı genellikle bitümün ağırlığınca %0.2-0.4 aralığında seçilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar, Tablo 1'de görüldüğü üzere, karıştırma koşullarında birbirinden büyük farklılıklar göstermektedirler. Her ne kadar üretici firma laboratuvar ortamında RETMB hazırlamak için yüksek kesmeli karıştırıcının gerekli olmadığını belirtmiş olsa da (Dow, 2021b), yapılan akademik çalışmaların önemli bir kısmında bu tür karıştırıcılar vasıtası ile RETMB'lerin hazırlandığı görülmektedir. Karıştırıcı seçimi büyük önem taşımakla birlikte, Xu vd. (2019) yaptıkları çalışmada, farklı türdeki karıştırıcıları farklı karıştırma veya kesme hızlarında kullanmanın RET/PUP kompozit modifiyeli bitümler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre kesmeli karıştırma işlemi ile RET/PUP kompozit modifiyeli bitümlerden daha iyi bir performans elde edildiği görülmektedir. Fakat bu çalışmada, sadece RET ile

modifiye edilen bitüm üzerinde kesmeli karıştırıcının etkisi incelenmediği için bu konuda halen bir bilgi eksikliği mevcuttur. Bu nedenle,

üretici firmanın tavsiyesi doğrultusunda mekanik karıştırıcı kullanılarak yapılacak çalışmaların daha makul sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Tablo 1. Laboratuvar ortamında RETMB hazırlama koşulları.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	RBK KM*	KKKM **	Karıştırma Karıştırıcı Türü	Parametreleri			Kür Koşulları		Referans
								Hız (rpm)	Sıc. (°C)	Süre	Sıc. (°C)	Süre	
1	AC 60/70, AC 80/100	RET	1.5, 2, 2.5	-	-	CR	Mekanik karıştırıcı	1/2 HP	180	2 s	180	1 s	(Selvavathi vd., 2002)
2	AC 70/100	Elvaloy AM; Elvaloy 4170	1, 1.5, 1.75, 2, 2.5	-	-	-	Yüksek kesmeli karıştırıcı	3000	180	-	180	0, 24, 48 ve 72 s	(Polacco vd., 2004a)
3	AC 70/100	Elvaloy AM	1.75, 4	-	-	SBS, EVA	Yüksek kesmeli karıştırıcı	-	180	15 dk	180	0, 24, 48 ve 72 s	(Polacco vd., 2004b)
4	AC 60/70	RETP	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2	0.2	ETP	-	Mekanik karıştırıcı	90	190	6 s	-	-	(Keyf vd., 2007a, 2007b)
5	AC 60/70	Elvaloy RE	2	-	-	SBS, HDPE, LDPE, EPDM	Özel karıştırıcı	8200	180	-	180	24 s	(Pérez-Lepe vd., 2007)
6	SHRP bitümü	Elvaloy	3	0.2	-	PPA	Yüksek kesmeli karıştırıcı	3000	140	30 dk	-	-	(Miknis ve Thomas, 2008)
7	AC 60/70	Elvaloy 4170	1, 1.5, 1.75, 2	0.2	-	-	-	-	190	3 s	-	-	(Hafeez ve Kamal, 2009)
8	AC 50/70	Elvaloy 4170	2	-	SBS	-	Mekanik karıştırıcı	90	195	6 s	-	-	(Keyf, 2010)
9	AC 50/70	Elvaloy 4170; Elvaloy 3427	0.5, 1, 1.5, 1.75; 2-6	-	-	Evatane	Yüksek kesmeli karıştırıcı	1100-1250	180-185	2 s	-	-	(Topal, 2010)
10	AC 70/100	Elvaloy AM, Elvaloy 4170	1.6, 1.9	-	-	SBS, EVA	Yüksek kesmeli karıştırma	-	180-185	4 s	180	24 s	(Bulatovic vd., 2014a; Bulatovic vd., 2012, 2013, 2014b)
11	VG 30	Elvaloy 4170	1.5, 1.8, 2	-	-	-	Mekanik karıştırıcı	1550	180	90 dk	-	-	(Vachhani ve Mishra, 2014)
12	AC 90/130	Elvaloy 4170	1.4	-	-	-	Mekanik karıştırıcı	200	180	2 s	180	10 dk	(Bagdat vd., 2015)
13	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.3	0.3	-	PPA, SBS, PE	Mekanik karıştırıcı	300	190	2 s	-	-	(Domingos ve Faxina, 2015a, 2015b)
14	AC 50/70	Elvaloy 4170	0.6	0.2	-	PPA, SBS	Yüksek kesmeli karıştırıcı	-	180	-	-	-	(HAMPL vd., 2015; Jasso vd., 2015)
15	AC 50/70	Elvaloy 4170	1	0.2	SBS, EVA	-	Mekanik karıştırıcı	120	200	2-7 s	-	-	(Keyf, 2015)
16	AC 60/70	Elvaloy RET	1.35	1.4 g	-	-	Mekanik karıştırıcı	120	165	90 dk	-	2 s	(Javid, 2016)

Tablo 1. Devamı.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	RBKKM *	KKKM **	Karıştırma Parametreleri				Kür Koşulları		Referans
							Karıştırıcı Türü	Hız (rpm)	Sıc. (°C)	Süre	Sıc. (°C)	Süre	
17	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.6	0.5	-	SBS, SBR, PPA	Mekanik karıştırıcı	300	190	2 s	-	-	(Domingos vd., 2020; Domingos vd., 2017)
18	AC 60/70	Elvaloy 4170	1, 2, 3, 4	-	-	-	Yüksek kesmeli karıştırıcı	1000	180	-	-	-	(Irfan vd., 2017)
19	VG 30	Elvaloy	1.6	0.3	Sasobit, Advera, Evotherm, Sönmüş Kireç	-	Yüksek kesmeli karıştırıcı	1000	175	90 dk	-	-	(Singh vd., 2019a; Singh vd., 2017, 2019b; Singh vd., 2018)
20	AC 40/50, AC 60/80, AC 80/100	Elvaloy RET; Elvaloy AC	1.35, 1.7, 2; 2.5, 3.5, 4.5	0.2	-	-	-	-	165	2 s	165	90 dk	(Ali vd., 2018)
21	PG 67-22	EMA-GMA	1.8	0.15	HDPE -0.3	SBS, HDPE, PPA	Mekanik karıştırıcı	2500	165	60 dk	160	12 s	(Gama vd., 2018)
22	AC 100/150	Elvaloy 4170	0.5, 0.75, 1	0.3	-	-	Mekanik karıştırıcı	500	185	2 s	185	90 dk	(Geckil ve Seloglu, 2018)
23	AC 50/70	Elvaloy RET	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5	0.2	SBS, EVA	-	Mekanik karıştırıcı	120	190	2-7 s	-	-	(Keyf, 2018)
24	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.5	-	-	SBS, Sasobit, Rediset	Mekanik karıştırıcı	200	185	2 s	190	24 s	(Almusawi vd., 2021a, 2021b; Almusawi vd., 2019)
25	AC 160/220	Elvaloy 5160	0.4, 0.8, 1.2	0.3	-	-	Mekanik karıştırıcı	500	185	2 s	185	90 dk	(Geckil, 2019)
26	AC 50/70	Elvaloy RET	1, 1.25, 1.5, 1.75, 2	0.2	PUP; GWR	-	Mekanik karıştırıcı / Yüksek kesmeli karıştırıcı	1000-6000	170-180	0.5-2.5 s	-	-	(Xu vd., 2020; Xu vd., 2019)
27	AC 60/70	Elvaloy 4170	0.25	0.3	-	Sülfür, MPC, CNP, GNP, CNT	Mekanik karıştırıcı	500	185	2 s	185	90 dk	(Alam vd., 2020)

Kısaltmalar: Sıcaklık, Sıc.; Yüksek yoğunluklu polietilen, HDPE; düşük yoğunluklu polietilen, LDPE; etilen-propilen-dien terpolimer, EPDM; polietilen, PE; etilen terpolimeri, ETP; poliüretan prepolimeri, PUP; öğütülmüş atık kauçuk, GWR; metan fosfor bileşiği, MPC, grafen nanolevhacıklar, GNP; karbon nanotüpler, CNT; karbon nanolevhacıklar.

*RBKKM: RET ile birlikte kullanılan katkı malzemeleri

**KKKM: Kıyaslamada kullanılan katkı malzemeleri

Bir diğer önemli karıştırma koşulu olan sıcaklık ile ilgili olarak Tablo 1 incelendiğinde, yapılan çalışmalarda genellikle 175-185 °C aralığında bir karıştırma sıcaklığının seçildiği görülmektedir. Karıştırma süresine bakıldığında ise çalışmaların büyük bir kısmında 2 saatlik karıştırma süresinin tercih edildiği anlaşılmaktadır. Bunlara ilaveten,

karıştırma işleminden sonra kür uygulanıp uygulanmaması değişkenlik gösteren bir durumdur. Bazı çalışmalarda yüksek sıcaklıklarda birkaç gün gibi oldukça uzun süreli kürlenme koşulları tercih edilmiş olup bu sürelerin bitümün yaşlanması üzerindeki etkisi merak uyandırmaktadır. Bununla birlikte, bazı

çalışmalarda ise kısa süreli kür yapılmış veya kür işlemi uygulanmamıştır. Tablo 1 dikkatli incelendiğinde genellikle PPA ilavesiz karışımların küre tabi tutulduğu, PPA ilaveli karışımlara ise kısa süreli kür uygulandığı veya kür uygulanmadığı fark edilmiştir. Bu durum, PPA'nın yaygın bir şekilde RETMB'lerde katalizör olarak kullanıldığını kanıtlar niteliktedir.

5. RET modifikasyonun saf bitümün fiziksel özelliklerine etkisi

Bitümlerin fiziksel özellikleri penetrasyon ve yumuşama noktası gibi geleneksel deneyler ile uzun yıllardan beri incelenmektedir. Bu deneyler, bitümlerin kıvamının sert veya yumuşak olması

hakkında bilgi vermektedirler. Penetrasyon değerinde meydana gelen düşüş ve yumuşama noktasında meydana gelen artış bitümün kıvamının sertleştiğini gösterir.

Literatürde RETMB'lerle ilgili çalışmalardan geleneksel deneylere yer verilenler seçilmiş ve Tablo 2'de liste halinde verilmiştir. Bu tabloda, çalışmalarda kullanılan saf bitüm sınıfı, RET türü ve miktarı dikkate alınarak seçilen çalışmalar birbirlerinden ayrılmıştır. Ardından, her bir çalışma için saf bitüme (veya kontrol bitümüne) RET ilavesiyle; penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite değerlerinde meydana gelen azalma veya artma ok işaretleriyle ifade edilmiştir. Son olarak, çalışmalardaki bazı bulgular kısaca belirtilmiştir.

Tablo 2. RET modifikasyonunun saf bitümün fiziksel özelliklerine etkileri.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	RET etkisi			Bulgular	Referans
					Pen.	Y.N.	Dük.		
1	AC 60/70, AC 80/100	RET	1.5, 2, 2.5	-	↓	↑	-	Modifiyeli bitümün yumuşama noktasında önemli bir artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, RET modifikasyonunun BSK numunelerinin Marshall stabiliteğini arttırdığını belirtmişlerdir.	(Selvavathi vd., 2002)
2	AC 60/70	RETP	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2	0.2	↓	↑	↓	Bu çalışmada sabit oranda (%2.4) ETP ile modifiyeli bitüme farklı oranlarda RET katmıştır. Ayrıca, karıştırma süresinin etkisi de incelenmiştir. Karıştırma süresi ve RET miktarı arttıkça yumuşama noktası artmış penetrasyon değeri azalmıştır.	(Keyf vd., 2007b)
3	AC 60/70	Elvaloy 4170	1, 1.5, 1.75, 2	0.2	-	↑	↓	Çalışmada reolojik özellikler yorumlanmıştır. Fiziksel özellikler sadece bir tabloda verilmiştir.	(Hafeez ve Kamal, 2009)
4	AC 50/70	Elvaloy 4170; Elvaloy 3427	0.5, 1, 1.5, 1.75; 2-6	-	↓	↑	-	Bu çalışmada farklı polimerlerle modifiye edilen bitümlerin kıyaslanmasında geleneksel bitüm deneylerinin belirleyici olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, Elvaloy 4170 ile modifiye edilen bitümün diğer polimerlere kıyasla saf bitüm üzerinde daha fazla iyileştirme sağladığı belirlenmiştir.	(Topal, 2010)
5	AC 50/70, AC 70/100	Elvaloy AM, Elvaloy 4170	1.6, 1.9	-	↓	↑	-	Elvaloy ile modifiye edilen saf bitümün penetrasyon değerinde çok fazla bir düşüş meydana gelmeden yumuşama noktası değerinin arttığını belirlemişlerdir. Böylelikle PMB'nin performansının artacağını ifade etmişlerdir. %1.9 Elvaloy 4170 ile modifiye edilen bitümlerde jelleşme meydana geldiğini belirtmişlerdir.	(Bulatovic vd., 2014a; Bulatovic vd., 2012, 2013, 2014b)
6	VG 30	Elvaloy 4170	1.5, 1.8, 2	-	↓	↑	-	Elvaloyun bitümü sertleştirdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, %2 RET ilavesinden elastik geri dönme yüzdesinde artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir.	(Vachhani ve Mishra, 2014)
7	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.3, 1.6	0.3, 0.5	↓	↑	-	PE, SBS ve PPA ile modifiyeli bitümlerle kıyaslandığında Elvaloy+PPA modifiyeli bitümün penetrasyon değerini daha az düşürüp yumuşama noktasını önemli derecede arttırmıştır.	(Domingos vd., 2020; Domingos ve Faxina, 2015a, 2015b)
8	AC 60/70	Elvaloy 4170	1, 2, 3, 4	-	↓	↑	↓	Modifiyeli bitümlerin kıvamı ile ilgili yaptıkları incelemede bitüme ilave edilen RET miktarı ile doğru orantılı olarak bitümün kıvamını sertleştirdiğini ifade etmişlerdir.	(Irfan vd., 2017)

Tablo 2. Devamı.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	RET etkisi			Bulgular	Referans
					Pen.	Y.N.	Dük.		
9	PG 67-22	EMA-GMA	1.8	0.15-0.3	↓	↑	-	RET'in tek başına kullanımının penetrasyon ve yumuşama noktası üzerindeki etkisi düşük olurken PPA ve HDPE ile kombine edilmesi bitümün fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini arttırmıştır.	(Gama vd., 2018)
10	AC 100/150	Elvaloy 4170	0.5, 0.75, 1	0.3	↓	↑	↓	Penetrasyon ve duktilitedeki düşüş ile yumuşama noktasındaki artışı, bitümün sertleştiğinin ve sıcaklık hassasiyetinde bir düşüş meydana geldiğinin kanıtı olarak göstermişlerdir.	(Geckil ve Seloglu, 2018)
11	AC 50/70	Elvaloy RET	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5	0.2	↓	↑	↓	%1 SBS ve %1 EVA ile kompozit modifiyeli bitüme ilave edilen RET miktarı ve karıştırma süresi arttıkça penetrasyon ve duktilite değerleri azalırken yumuşama noktası ve viskozite değerleri artmıştır.	(Keyf, 2018)
12	AC 80/100, AC 200/300	Elvaloy 5160	-	-	↓	↑	-	Elvaloy ve PPA modifiyeli AC 200/300 penetrasyon sınıfındaki bitüm AC 80/100 penetrasyon sınıfındaki saf bitümden daha sert bir hale gelmiştir.	(Skronka vd., 2019)
13	AC 50/70	Elvaloy RET	1, 1.25, 1.5, 1.75, 2	0.2	↓	↑	↓	RET ve PUP kompozit modifiyeli bitümlerde RET miktarı arttıkça sertleşme artmıştır.	(Xu vd., 2019)
14	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.5	-	↓	↑	-	Saf bitüme kıyasla Elvaloy modifiyeli bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları (ZSV ve SSF metotları hariç) daha yüksek çıkmıştır.	(Almusawi vd., 2021a, 2021b; Almusawi vd., 2019)

*Pen.: penetrasyon, Y.N.: yumuşama noktası, Dük.: Düktilite

Tablo 2 incelendiğinde saf bitüme RET ilavesiyle saf bitümün penetrasyon ve duktilite değerlerinde azalma, yumuşama noktası değerinde ise artma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Genel olarak, literatürde yapılmış olan tüm çalışmalarda saf bitümün fiziksel özellikleri üzerinde RET'in etkisi benzer şekilde bulunmuştur. Bu durum, RET modifikasyonun bitümde bir sertleşme meydana getirdiğinin göstergesidir. Bu sonuçlar doğrultusunda, RETMB'lerin yüksek iklim sıcaklıklarına sahip bölgelerde kullanıma uygun oldukları düşünülebilir.

Eğer bir polimer bitüme ilave edildiğinde saf bitümün penetrasyon değer aralığını çok fazla etkilemeden yumuşama noktasını artırıp elastik özelliğini geliştiriyorsa o polimerin kullanıldığı PMB ile inşa edilecek kaplamanın hizmet ömrü boyunca iyi bir performans sergileyeceği düşünülmür (Bulatovic vd., 2014a; Sengoz ve Isikyakar, 2008). Domingos ve Faxina (2015a), yaptıkları çalışmada RETMB'leri farklı polimerler ile modifiye edilmiş bitümlerle kıyaslamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, RET'lerin saf bitümün penetrasyon değerine diğer polimerlere kıyasla daha az etki ettiğini ve yumuşama noktasını ise

önemli bir miktarda arttırdığını belirlemişlerdir. Buradan da anlaşılacağı üzere, RET modifikasyonu fiziksel özellikler göz önüne alındığında saf bitümün performansında önemli bir artış sağlayabilmektedir.

6. RET modifikasyonunun saf bitümün reolojik özelliklerine etkisi

6.1. RET'in viskozite ve işlenebilirlik üzerindeki etkisi

Bir önceki bölümde belirtildiği üzere RET modifikasyonu bitümün kıvamını sertleştirmektedir. Genellikle, bitümlerin kıvamındaki sertleşmeyle paralel olarak viskozitelerinde de bir artış meydana gelir. Bitümlerin viskoziteleri dönel viskozite (RV) deneyi ile belirlenebilmektedir. Literatürde RETMB'ler üzerinde yapılan çalışmalardan, RV deneyi yürütülenler dikkate alındığında; bu çalışmaların hepsinde ortak sonuç olarak RETMB'nin saf bitüme kıyasla daha yüksek viskoziteye sahip olduğu ifade edilmiştir (Almusawi vd., 2021a, 2021b; Almusawi vd., 2019; Athira vd., 2020; Domingos ve Faxina,

2015a, 2015b; Gama vd., 2018; Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; Hafeez ve Kamal, 2009; Keyf, 2015, 2018; Selvavathi vd., 2002; Topal, 2010; Vachhani ve Mishra, 2014; Xu vd., 2019). Buna ilaveten, bitüme ilave edilen RET miktarındaki artışla birlikte bitümün viskozitesinde de bir artış meydana gelmektedir (Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; Hafeez ve Kamal, 2009; Selvavathi vd., 2002; Topal, 2010; Vachhani ve Mishra, 2014).

Bitümün viskozitesinde meydana gelen artış saha koşullarında işlenebilirliğini düşürmektedir. Başka bir ifadeyle, yüksek viskoziteli bitümler ile hazırlanan bitümlü sıcak karışımların, karıştırılması ve serilip sıkıştırılması için bitümün normalden daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması gerekmektedir (Domingos ve Faxina, 2015a, 2015b; Singh vd., 2019b).

6.2. RET'in tekerlek izi, yorulma ve düşük sıcaklık çatlama üzerindeki etkisi

Bir bitümün reolojik özelliklerine bakılarak kullanılacağı kaplamanın performansını belirlemek mümkündür. Bu doğrultuda, saf haldeki veya yaşlandırılmış bitüm numuneleri, dinamik kayma reometresi (DSR) yardımıyla, farklı sıcaklıklarda, farklı frekanslarda veya yüklemelerde deneylere tabi tutularak çeşitli açılardan değerlendirilir (Zahoor vd., 2021). DSR deneyinden elde edilen iki ana parametre (kompleks kayma modülü G^* ve faz açısı δ) yardımıyla tekerlek izi direnç parametresi $G^*/\sin\delta$ bulunur (Oruc ve Yilmaz, 2016). Buna ilaveten, uzun süreli yaşlandırılmış bitüm numunelerine ortalama sıcaklıklarda DSR deneyi uyguladıktan sonra yorulma direnci parametresi $G^*\sin\delta$ belirlenerek yorulma dayanımı ile ilgili bir fikir edinilebilmektedir. Tablo 3'te literatürde RETMB'ler üzerinde inceleme yapılan çalışmalardan reolojik özellikler konusunda araştırma yürütülenleri verilmiştir. Çalışmalarda her bir numune için elde edilen değerleri tek bir tablo halinde vermek mümkün olmadığı için sadece çalışmalarda hangi parametrelerin belirlendiği ve hangi deneylerin yürütüldüğü işaretlenmiştir.

Tablo 3'e bakıldığında birçok çalışmada RETMB'lerin $G^*/\sin\delta$ değerlerinin belirlendiği görülmektedir. Genel olarak bu çalışmalarda, saf bitüme RET ilavesinin belirli bir sıcaklıkta $G^*/\sin\delta$ değerinde bir artışa sebep olduğu anlaşılmaktadır (Bagdat vd., 2015; Domingos ve Faxina, 2015b; Domingos vd., 2017; Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; Hafeez ve Kamal, 2009; Li vd., 2011; Liu vd., 2017; Singh vd., 2019b). Bu durum,

RET modifikasyonunun saf bitümün tekerlek izi direncini arttırdığını göstermektedir. Buna ilaveten, farklı oranlarda RET ilavesini inceleyen çalışmalarda ortak sonuç olarak RET miktarının artmasıyla tekerlek izine karşı direncin arttığı belirtilmiştir (Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018). Benzer şekilde, $G^*\sin\delta$ parametreleri incelendiğinde de RETMB'lerin saf bitümlere karşı daha yüksek bir yorulma dayanımına sahip olduklarını söylemek mümkündür (Bagdat vd., 2015; Liu vd., 2017).

Tablo 3'te belirtilen bulgularla birlikte, ilerleyen zaman içerisinde daha yenilikçi deney yöntemleri RETMB'lerin reolojik özelliklerinin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesini mümkün kılmıştır. En yenilikçi deney yöntemlerinden biri çoklu gerilme sünme ve geri dönme (MSCR) deneyidir. Tablo 3'te görüldüğü üzere RETMB'ler ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda MSCR deneyinden faydalanılmıştır. MSCR deneyi genellikle modifiyeli bitümün kalıcı deformasyon oluşturma potansiyelini belirlemek için kullanılır. MSCR ile modifiyeli bitümlerin gerilme altında gösterdikleri tepki, biri geri kazanılamayan sünme uyumu (J_{nr}) ve diğeri yüzde geri kazanım (%) olmak üzere iki parametre üzerinden değerlendirilir. J_{nr} değerindeki artış tekerlek izine karşı dirençte bir düşüş anlamına gelmektedir (Zahoor vd., 2021). RETMB'lere uygulanan MSCR deneylerinin sonuçlarına göre saf bitüme kıyasla RETMB'lerin J_{nr} değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür (Ali vd., 2018; Athira vd., 2020; Domingos vd., 2020; Domingos ve Faxina, 2015b; Domingos vd., 2017; Gama vd., 2018). Bu durum, DSR sonuçlarına benzer şekilde RETMB'lerin kalıcı deformasyona karşı dirençlerinin saf bitümlere kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmektedir.

Bitümlerin reolojisi ile incelenebilen diğer konu, düşük sıcaklıklarda meydana gelen ısıl çatlaklara karşı bitümlerin direncidir. Bununla ilgili olarak, uzun dönemli yaşlandırmaya maruz bırakılmış bitümlere kırıç eğme reometresi (BBR) deneyi uygulanır. Bu deney sonucunda sünme rijitliği (S) ve m-değeri olmak üzere iki farklı parametre belirlenir. Bu parametreler doğrultusunda bitümlerin düşük sıcaklıklardaki performansları belirlenir. Tablo 3'te RET ile ilgili çalışmalarda S ve m-değeri parametrelerinin incelendiği çalışmalar gösterilmiştir. Bu çalışmalardan sadece bir tanesinde (Bagdat vd., 2015) RET modifikasyonunun saf bitümün düşük sıcaklık performansını iyileştirdiği yönünde bir sonuç elde edilmişken diğerlerinde (Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; Irfan vd., 2017; Xu vd., 2020; Xu

vd., 2019) RET modifikasyonunun saf bitümün düşük sıcaklık performansını düşürdüğü belirlenmiştir. Buna ilaveten, modifikasyondaki

RET miktarı arttıkça düşük sıcaklık çatlaklarına karşı direncin azaldığı görülmüştür (Geckil, 2019; Geckil ve Seloglu, 2018; İrfan vd., 2017).

Tablo 3. RETMB'lerin reolojisi ile ilgili yapılan çalışmalar.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	Reolojik etki						Perf. sınıfı	Referans		
					G*	δ	G*/sin δ	G*sin δ	S(t)	m-değeri			MSCR	Diğer
1	AC 70/100	Elvaloy AM; Elvaloy 4170	1, 1.5, 1.75, 2, 2.5	-								G', G'', tan(δ) Master eğrileri	-	(Polacco vd., 2004a)
2	AC 60/70	Elvaloy RE	2	-								G', G'', tan(δ) Master eğrileri	-	(Pérez-Lepe vd., 2007)
3	AC 60/70	Elvaloy 4170	1, 1.5, 1.75, 2	0.2		✓	✓						PG 70-xx PG 76-xx PG 82-xx PG 82-xx	(Hafeez ve Kamal, 2009)
4	PG 52-34	Elvaloy	1.1	0.3			✓				✓		PG 64-34	(Li vd., 2011)
5	AC 50/70, AC 70/100	Elvaloy AM, Elvaloy 4170	1.6, 1.9	-	✓	✓						Master eğrileri	-	(Bulatovic vd., 2014a; Bulatovic vd., 2012, 2013, 2014b)
6	AC 90/130	Elvaloy 4170	1.4	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓			PG 82-35	(Bagdat vd., 2015)
7	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.3	0.3	✓	✓	✓					Master eğrileri	PG 76-xx	(Domingos ve Faxina, 2015a)
8	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.3	0.3							✓		PG 76-xx	(Domingos ve Faxina, 2015b)
9	AC 50/70	Elvaloy 4170	0.6	0.2								Çekmede sünme ve geri kazanım modelleri	PG 82-22	(Hampl vd., 2015)
10	AC 50/70	Elvaloy 4170	0.6	0.2								G', G'', tan(δ) Master eğrileri	-	(Jasso vd., 2015)
11	AC 60/70	Elvaloy RET	1.35	1.4 g	✓	✓							-	(Javid, 2016)
12	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.6	0.5			✓				✓		PG 76-xx	(Domingos vd., 2017)
13	PG 64-22	RET	3	-			✓	✓	✓	✓	✓		PG 76-22	(Liu vd., 2017)
14	VG-30	Elvaloy	1.6	0.3							✓	Doğrusal genlik taraması (LAS)	-	(Singh vd., 2017)

Tablo 3. Devamı.

No	Saf Bitüm	RET Türü	RET (%)	PPA (%)	Reolojik etki						Perf. sınıfı	Referans		
					G*	δ	G*/sin δ	G* δ	S(t)	m-değeri			MSCR	Diğer
15	AC 40/50, AC 60/80, AC 80/100	Elvaloy RET; Elvaloy AC	1.35, 1.7, 2, 2.5, 3.5, 4.5	0.2							✓	-	(Ali vd., 2018)	
16	PG 67-22	EMA-GMA	1.8	0.15-0.3							✓	PG 76E-22 PG 82E-22	(Gama vd., 2018)	
17	AC 100/150	Elvaloy 4170	0.5, 0.75, 1	0.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓		PG 64-xx PG 70-xx PG 70-xx	(Geckil ve Seloglu, 2018)	
18	AC 160/220	Elvaloy 5160	0.4, 0.8, 1.2	0.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓		PG 58-22 PG 64-22 PG 70-16	(Geckil, 2019)	
19	VG-30	Elvaloy	1.6	0.3	✓		✓					✓	PG 76-xx	(Singh vd., 2019a)
20	AC 50/70	Elvaloy RET	1, 1.25, 1.5, 1.75, 2	0.2					✓	✓	✓	-		(Xu vd., 2020; Xu vd., 2019)
21	VG-30	TERP1 TERP2	3.5	-			✓					✓	PG 81-xx PG 82-xx	(Athira vd., 2020)
22	AC 50/70	Elvaloy 4170	1.6	0.5			✓					✓	PG 70-xx	(Domingos vd., 2020)

7. RET modifikasyonunun asfalt karışımların performansı üzerindeki etkisi

İçerisinde RETMB bulunduran asfalt karışım numunelerine bir takım deneyler uygulayarak asfalt kaplamanın performansı üzerinde fikir edinmek mümkündür. Bu deney yöntemlerinden en yaygın olan iki tanesi Marshall stabilite deneyi ile tekerlek izi deneyidir. Literatürde RETMB'ler ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda asfalt karışım deneylerine yer verilmemiş olmakla birlikte, belirtilen deneylerin yürütüldüğü çalışmalar da bulunmaktadır (Almusawi vd., 2021a; Athira vd., 2020; Irfan vd., 2017; Selvavathi vd., 2002; Skronka vd., 2019; Xu vd., 2020; Xu vd., 2019).

RETMB'lerin, asfalt karışım numunelerinin Marshall stabilite değerlerine etkisini inceleyen çalışmalara bakıldığında bu çalışmalarda sonuçların birbirlerine paralel olduğu görülmektedir. Saf bitümle hazırlanmış asfalt karışım numunelerinin Marshall stabilite değerlerine kıyasla RETMB'lerle hazırlanan asfalt karışım numunelerinin Marshall stabilite değerleri daha yüksektir (Almusawi vd., 2021a; Athira vd., 2020; Irfan vd., 2017; Selvavathi vd., 2002; Xu vd.,

2020; Xu vd., 2019). Bu sonuçlar, RETMB'ler kullanılarak hazırlanacak asfalt kaplamaların saf bitümle hazırlanacaklara kıyasla tekerlek izi dayanımı dikkate alındığında daha iyi performans sergileyeceklerini ifade etmektedir.

RETMB'lerin tekerlek izi direnci açısından asfalt karışımlar üzerindeki etkisi incelendiğinde bu konuda yapılan çalışmaların sonuçlarının da birbirleriyle paralel olduğunu görmek mümkündür. RETMB ile hazırlanan asfalt karışım numuneleri tekrarlı yük geçişleri sonrasında saf bitüm ile hazırlanan asfalt karışımlara kıyasla daha az deformasyon göstermişlerdir (Athira vd., 2020; Irfan vd., 2017; Xu vd., 2020; Xu vd., 2019). Burada bulunan sonuçlar, RETMB'ler üzerinde yapılan reolojik araştırmaların sonuçları ile paralel bir şekilde, RETMB'ler ile hazırlanan asfalt kaplamaların saf bitümle hazırlanan asfalt kaplamalara kıyasla tekerlek izi oluşumuna karşı daha yüksek dirence sahip olduğunu göstermektedir.

Li vd. (2011) yaptıkları çalışmada, PPA'nın ve PPA ile birlikte SBS veya Elvaloy kullanımının, asfalt karışım numunelerine ait dinamik modül değerleri üzerindeki etkisine yer vermişlerdir.

Farklı frekanslarla uyguladıkları ve viskoelastik sürekli hasar konsepti ile normalleştirdikleri dinamik modül deneyleri doğrultusunda, Elvaloy ve PPA modifiyeli bitümle (RETMB) hazırlanan asfalt karışım numunelerinin yüksek frekans (düşük sıcaklık) bölgesinde en düşük sertliğe, düşük frekans (yüksek sıcaklık) bölgesinde ise en yüksek sertliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyona karşı en iyi direncin RETMB ile hazırlanan asfalt karışımlarda sağlanabileceğini belirtmektedir. Buna ilaveten, düşük sıcaklıklarda da RETMB kullanılarak hazırlanacak asfalt kaplamanın da sahip olacağı düşük rijitlikten dolayı düşük sıcaklıklarda gevrek bir davranış sergilemeyeceği düşünülebilir. [Li vd. \(2011\)](#) aynı çalışmada, yorulma olayının gözlemlendiği ortalama sıcaklıklarda (ortalama frekanslarda) hazırladıkları tüm asfalt karışım numunelerinin benzer dinamik modüllere sahip olduğunu belirterek, bu numunelere tekrarlı yük uygulamış ve yorulma olayına karşı dirençlerini kıyaslamışlardır. Bunun sonucunda, RETMB ile hazırlanan asfalt karışım numunesinin en yüksek yorulma direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

RETMB ile hazırlanan asfalt karışımların yorulma direnci ile ilgili veriye yer verilen bir başka çalışma da [Domingos vd. \(2017\)](#)'nin yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada, aynı PG'lere sahip modifiyeli bitümlerle asfalt karışım numuneleri hazırlanmış ve 60°C sıcaklıkta tekrarlı yüklemelere maruz bırakılan numuneler için akma sayıları (F_N) belirlenmiştir. Saf bitüm ve Elvaloy+PPA, SBS, SBS+PPA, SBR, SBR+PPA modifiyeli bitümlerle hazırlanan asfalt karışımlar için F_N değerleri sırasıyla; 2167, 7050, 4991, 6110, 3312, 5875 olarak belirlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, tüm modifiyeli bitümler arasında en yüksek yorulma direncine RETMB sahiptir. Buna ilaveten, RETMB ile hazırlanan asfalt karışım, saf bitümle hazırlanana kıyasla, 3.25 kat daha iyi yorulma performansı sergilemiştir.

RETMB ile hazırlanan asfalt karışımlarla ilgili bilgiye, her ne kadar temelinde kompozit modifikasyonu irdeleyen bir çalışma olsa da, [Xu vd. \(2019\)](#)'nin yaptığı çalışmadan da erişilebilmektedir. Bu çalışmada, saf bitüm ve RETMB ile hazırlanan asfalt karışımların dinamik stabilitelerine, eğme kirişi deneyi sonuçlarına, donma-çözünmede bölünme deneyi ve nem hasarlı Marshall stabilite oranlarına yer verilmiştir. Dinamik stabilite deneyi sonuçlarında kalıcı deformasyona karşı direncin, diğer çalışmalarla benzer şekilde ([Li vd., 2011](#)), RETMB ile hazırlanan asfalt karışımlarda saf bitümle

hazırlananlara kıyasla daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Düşük sıcaklıklarda asfalt karışım numunesinde meydana gelen çatlaklara karşı direnç incelendiğinde ise saf bitümlü numune ile RETMB'li numune arasında çok büyük bir fark çıkmamakla birlikte RETMB'li numune yaklaşık %5 daha yüksek direnç göstermiştir. Nem hasarına karşı direnç dikkate alındığında ise, RETMB ile hazırlanan asfalt karışım numunesinin, saf bitümle hazırlanana kıyasla, daha yüksek dirence sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

8. Kompozit modifikasyonda RET kullanımı

Birden fazla katkı maddesinin bir arada kullanımı ile elde edilen kompozit modifiyeli bitümlerin incelendiği çalışmalar literatürde yaygınlaşmaktadır. Kompozit modifikasyonun en büyük özelliği bitüme farklı özellikler katan katkı maddelerinin bir arada kullanılması ile bitümün özelliklerinin birçok açıdan iyileştirilmesini mümkün kılmasıdır.

RETMB'ler ile ilgili yapılan çalışmalarda kompozit modifikasyona ilk olarak [Keyf vd. \(2007b\)](#) yer vermiştir. Bu çalışmalarında farklı oranlarda RET ile birlikte sabit oranda etilen terpolimer kullanımı incelemişler ve fiziksel açıdan bitümün performansının arttığını belirlemişlerdir. Yaptıkları bir başka çalışmada ise sabit oranda RET ile birlikte farklı oranda etilen terpolimer kullanımını incelemişlerdir ([Keyf vd., 2007a](#)). İlerleyen yıllarda Keyf; SBS, RET ve EVA katkı malzemelerinin farklı oranlarda kullanımlarını içeren kompozit modifiyeli bitümler üzerinde çalışmalar yürütmüştür ([Keyf, 2010; 2015; 2018](#)). İlk çalışmasında, SBS ve Elvaloy ile modifiye edilen bitümün penetrasyon indeksinde büyük bir artışın meydana geldiğini ve böylece sıcaklık değişiminden daha az etkilenen bir modifiyeli bitümün elde edilebileceğini tespit etmiştir ([Keyf, 2010](#)). Diğer çalışmasında ([Keyf, 2015](#)), %1 RET, %1 SBS ve %0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 EVA katkılı bitümleri incelemiş ve %1 RET, %1 SBS ve %2.5 EVA modifiyeli bitümü, bu katkı maddelerinin ayrı ayrı %4.5 oranında kullanımını inceleyen literatürdeki çalışmalarla kıyaslamıştır. Sonuç olarak kompozit modifikasyonun bitümün özelliklerini geliştirmede daha etkili olduğunu belirlemiştir. Son çalışmasında ise ([Keyf, 2018](#)), %0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 RET, %1 SBS ve %1 EVA modifiyeli bitümleri incelemiştir. %2-2.5 aralığında RET ilavesinin bir çapraz bağ oluşumunu sağladığını ve bitümün performans özelliklerinin ani bir şekilde değiştiğini belirlemiştir.

RET modifikasyonu, daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi bitümlerin işlenebilirliğini azaltmakta ve düşük sıcaklık performansını düşürmekte veya etkilememektedir. Bu dezavantajların giderilmesi için kompozit modifikasyonun incelendiği çalışmalar mevcuttur (Singh vd., 2019a; Singh vd., 2017, 2019b; Singh vd., 2018; Xu vd., 2020; Xu vd., 2019). Singh ve çalışma arkadaşları yaptıkları çalışmalarda RETMB'lere işlenebilirliklerini arttırmak amacıyla ılık asfalt katkı malzemeleri ve sönmüş kireç ilave etmişler ve bitümlerin performanslarındaki değişimleri incelemişlerdir (Singh vd., 2019a; Singh vd., 2017, 2019b; Singh vd., 2018). Çalışmalarda ortak sonuç olarak performanslardaki değişimin kullanılan ılık asfalt katkısına göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Detaylı sonuçlar için okurların referansları incelemesi önerilmektedir.

RET modifikasyonunun bir diğer dezavantajı olan düşük sıcaklık performansı da kompozit modifikasyon ile arttırılmaya çalışılmıştır (Xu vd., 2020; Xu vd., 2019). Bu çalışmalardan ilkinde, farklı oranlarda RET ve PUP birlikte kullanılarak performans üzerindeki etkiler incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda PUP ilavesinin RETMB'lerin düşük sıcaklık performansını önemli derecede arttırdığını belirlemişlerdir (Xu vd., 2019). Diğer çalışmada ise asfalt karışım numuneleri hazırlayarak agrega ile birlikte GWR ve farklı türdeki fiberleri RETMB'lerle hazırlanan asfalt karışımlara ilave etmişlerdir. Bu kompozit modifikasyonun da RET modifiyeli asfalt karışımların düşük sıcaklık performansında artış sağladığını belirtmişlerdir (Xu vd., 2020).

RET içeren kompozit modifiyeli bitümler üzerine yapılan çalışmalardan anlaşıldığı üzere kompozit modifikasyon saf bitümün özelliklerinin farklı açılardan daha etkili bir şekilde geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Fakat böylesi umut vadeden sonuçlara rağmen, bu konuda literatürde yapılan çalışmaların sayısı ve çeşitliliği oldukça azdır. Literatürde bulunan diğer katkı malzemeleri ile birlikte RET'lerin kullanımının bitüm üzerindeki etkisinin incelenmesi halen araştırmaya açık bir konu olarak görülmektedir.

9. Tartışma ve sonuçlar

Bu derleme çalışmasında, RETMB'ler ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan RETMB'lerin hazırlanışı ve bitümün performansı üzerindeki etkisi ile ilgili bilgiler toparlanmıştır. Buna ilaveten, RETMB'lerin kullanılacağı asfalt kaplamaların performansı hakkında, yapılan çalışmalardan

edinilen bilgilere yer verilmiştir. Son olarak ise kompozit modifikasyonda RET'lerin yerine değinilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- RETMB'lerin hazırlanması için literatürde tercih edilen karıştırma parametreleri farklılıklar göstermektedir. Karışım hazırlama koşullarındaki farklılıklar çalışmaların birbirleriyle kıyaslanmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte çalışmaların genelinde, 175-185 °C sıcaklık ve 2 saat karıştırma süresi tercih edilmiştir.
- RETMB'lerin fiziksel özellikleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde RET modifikasyonunun saf bitümün penetrasyon ve düktilite değerlerini azalttığı, yumuşama noktası değerini arttırdığı görülmektedir. Bu durum RET'in saf bitümde bir sertleşme sağladığını göstermektedir.
- RETMB'lerin reolojik özellikleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde RET modifikasyonunun saf bitümün yüksek sıcaklıklardaki performansını arttırdığı, düşük sıcaklıklardaki performansına etki etmediği veya kötü yönde etkilediği belirlenmiştir. RET ilavesi saf bitümün viskozitesini, yorulma direncini ve tekerlek izine karşı direncini arttırmıştır.
- RETMB'ler ile hazırlanan asfalt karışım numunelerinin incelendiği çalışmalarda RET modifikasyonunun karışımın performansını arttırdığı belirlenmiştir. RET ilavesi ile karışımın tekerlek izinde çökme miktarı azalmış ve Marshall stabilite değeri artmıştır.
- Kompozit modifikasyonda RET'lere yer verilen çalışmalar incelendiğinde, RETMB'lerin dezavantajlarını gidermek amacıyla bu katkı malzemelerinin farklı katkı malzemeleri ile kombine edilmesinin olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Ancak, bu alanda yapılan çalışma sayısının az ve çeşitliliğinin kısıtlı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucunda RET'in kompozit modifikasyonu ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının ve çeşitliliğinin artmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, literatürde RETMB hazırlanması esnasında tercih edilen karışım koşulları ile ilgili bir bütünlük görülemediğinden farklı karıştırma koşullarının bitümün özellikleri üzerindeki etkisi göz önüne alınarak optimum karıştırma koşullarının belirlenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Airey, G. D. (2002). Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens. *Construction and Building Materials*, 16(8), 473-487. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00103-4).
- Al-Hadidy, A. I. and Tan, Y. Q. (2009). Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2941-2950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.023>.
- Alam, G., Hafeez, I., Yaseen, G., Nasir, M. A., Hussain, A. and Ahmad, N. (2020). Assessing the aging tendency of asphalt binder using a thermal cycler. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1861279>.
- Ali, A., ur Rehman, Z., Farooq, U. and Mirza, M. W. (2018). Evaluation of rutting potential of polymer modified asphalt binder using multiple stress creep and recovery method. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 22(1), 64-71.
- Almusawi, A., Sengoz, B. and Topal, A. (2021a). Evaluation of mechanical properties of different asphalt concrete types in relation with mixing and compaction temperatures. *Construction and Building Materials*, 268, 121140. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121140>.
- Almusawi, A., Sengoz, B. and Topal, A. (2021b). Investigation of mixing and compaction temperatures of modified hot asphalt and warm mix asphalt. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 65(1), 72-83. <https://doi.org/10.3311/PPci.15118>.
- Almusawi, A., Sengoz, B., Topal, A. and Oner, J. (2019). Comparison between zero shear viscosity and steady shear flow methods to determine mixing and compaction temperatures of PMB. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3(2), 1-8.
- Athira, P. K., Atul Narayan, S. P., Murali Krishnan, J. and Jain, P. K. (2020). Comparison of binder and mixture tests to characterize permanent deformation of elastomer and terpolymer modified binders. *Construction and Building Materials*, 264, 120138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120138>.
- Bagdat, T., Galiya, I. and Yerik, A. (2015). Rheological properties of oxidized bitumen with polymer additive. *Journal of Applied Sciences*, 15(1), 129-137.
- Bhurke, A. S., Shin, E. E. and Drzal, L. T. (1997). Fracture morphology and fracture toughness measurement of polymer-modified asphalt concrete. *Asphalt Mixture Quality, Characteristics, and Performance* (1590), 23-33.
- Bricker, R. M. and Hesp, S. A. M. (2013). Modulated differential scanning calorimetry study of physical hardening rates in asphalt cements. 2013 Airfield & Highway Pavement Conference (pp. 955-966). Los Angeles, California, United States. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.079>.
- Brule, B., Brion, Y. and Tanguy, A. (1988). Paving asphalt polymer blends: Relationships between composition, structure and properties (with discussion). *Association of Asphalt Paving Technologists Proc* (pp. 41-64).
- Bulatovic, V. O., Rek, V. and Markovic, J. (2014a). Rheological properties of bitumen modified with ethylene butylacrylate glycidylmethacrylate. *Polymer Engineering and Science*, 54(5), 1056-1065. <https://doi.org/10.1002/pen.23649>.
- Bulatovic, V. O., Rek, V. and Markovic, K. J. (2012). Permanent deformation of polymer modified bitumen. *Road and Rail Infrastructure II*, 317-326.
- Bulatovic, V. O., Rek, V. and Markovic, K. J. (2013). Influence of polymer types on bitumen engineering properties. *Materials Research Innovations*, 17(3), 189-194. <https://doi.org/10.1179/1433075x12y.0000000059>.
- Bulatovic, V. O., Rek, V. and Markovic, K. J. (2014b). Effect of polymer modifiers on the properties of bitumen. *Journal of Elastomers and Plastics*, 46(5), 448-469. <https://doi.org/10.1177/0095244312469964>.
- Chiono, V., Filippi, S., Yordanov, H., Minkova, L. and Magagnini, P. (2003). Reactive compatibilizer precursors for LDPE/PA6 blends. III: ethylene-glycidylmethacrylate copolymer. *Polymer*, 44(8), 2423-2432. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00134-4).
- Collins, J., Bouldin, M., Gelles, R. and Berker, A. (1991). Improved performance of paving asphalts by polymer modification (with discussion). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 60, 43-79.
- Connan, J., Jones, M. K., Briggs, D. E. G., Eglington, G. and Hagelberg, E. (1999). Use and trade of bitumen in antiquity and prehistory: molecular

- archaeology reveals secrets of past civilizations. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 354(1379), 33-50. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0358>.
- de Sá Araujo, M. d. F. A., Lins, V. d. F. C., Pasa, V. M. D. and Leite, L. F. M. (2013). Weathering aging of modified asphalt binders. *Fuel Processing Technology*, 115, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.03.029>.
- Domingos, M. D. I., Faxina, A. and Bernucci, L. L. B. (2020). Rutting on asphalt binders and mixtures modified with PPA and Elvaloy®: laboratory aspects and rheological modeling. 34° Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET (pp. 1275-1286).
- Domingos, M. D. I. and Faxina, A. L. (2015a). Accelerated short-term ageing effects on the rheological properties of modified bitumens with similar high PG grades. *Road Materials and Pavement Design*, 16(2), 469-480. <https://doi.org/10.1080/14680629.2014.995209>.
- Domingos, M. D. I. and Faxina, A. L. (2015b). Rheological analysis of asphalt binders modified with Elvaloy® terpolymer and polyphosphoric acid on the multiple stress creep and recovery test. *Materials and Structures*, 48(5), 1405-1416. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0242-y>.
- Domingos, M. D. I., Faxina, A. L. and Bernucci, L. L. B. (2017). Characterization of the rutting potential of modified asphalt binders and its correlation with the mixture's rut resistance. *Construction and Building Materials*, 144, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.171>.
- Dow. Dow chemicals brand index Elvaloy. (2021, February 02). Retrieved from <https://www.dow.com/en-us/brand/elvaloy.html>.
- Dow. ELVALOY™ RET vs. SBS Modified Asphalt. (2021, February 02). Retrieved from <https://www.dow.com/en-us/market/mkt-building-construction/sub-build-construction-chem/app-build-constchem-asphalt-modification/ret-vs-sbs-modified-asphalt.html>.
- Gama, D. A., Yan, Y., Rodrigues, J. K. G. and Roque, R. (2018). Optimizing the use of reactive terpolymer, polyphosphoric acid and high-density polyethylene to achieve asphalt binders with superior performance. *Construction and Building Materials*, 169, 522-529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.206>.
- Geckil, T. (2019). Physical, chemical, microstructural and rheological properties of reactive terpolymer-modified bitumen. *Materials*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/ma12060921>.
- Geckil, T. and Seloglu, M. (2018). Performance properties of asphalt modified with reactive terpolymer. *Construction and Building Materials*, 173, 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.036>.
- Hafeez, I. and Kamal, M. A. (2009). A rheological comparison of hard grade binders with polymer modified bitumen under aged and unaged conditions. *Materials Characterisation Iv: Computational Methods and Experiments*, 64, 105-114. <https://doi.org/10.2495/Mc090101>.
- HAMPL, R., VACIN, O., JASSO, M., STASTNA, J. and ZANZOTTO, L. (2015). Modeling of tensile creep and recovery of polymer modified asphalt binders at low temperatures. *Applied Rheology*, 25(3). <https://doi.org/10.3933/Applrheol-25-34675>.
- Hesp, S. A. M., Hoare, T. R. and Roy, S. D. (2002). Low-temperature Fracture in Reactive-ethylene-terpolymer-modified Asphalt Binders. *International Journal of Pavement Engineering*, 3(3), 153-159. <https://doi.org/10.1080/1029843021000067809>.
- Irfan, M., Saeed, M., Ahmed, S. and Ali, Y. (2017). Performance Evaluation of Elvaloy as a Fuel-Resistant Polymer in Asphaltic Concrete Airfield Pavements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(10). [https://doi.org/10.1061/\(Asce\)Mt.1943-5533.0002018](https://doi.org/10.1061/(Asce)Mt.1943-5533.0002018).
- Isacsson, U. and Lu, X. (1995). Testing and appraisal of polymer-modified road bitumens - state-of-the-art. *Materials and Structures*, 28(177), 139-159. <https://doi.org/10.1007/Bf02473221>.
- JASSO, M., HAMPL, R., VACIN, O., BAKOS, D., STASTNA, J. and ZANZOTTO, L. (2015). Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid. *Fuel Processing Technology*, 140, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.09.002>.
- Javid, M. A. (2016). Effect of polymer modification on rheological properties of asphalt. *Journal of Civil Engineering Research*, 6(3), 55-60.
- Keyf, S. (2010). Investigation of penetration and penetration index in bitumen modified with SBS and reactive terpolymer. *Sigma*, 28, 26-34.
- Keyf, S. (2015). The modification of bitumen with reactive ethylene terpolymer, styrene butadiene styrene and variable amounts of ethylene vinyl acetate. *Research on Chemical Intermediates*,

- 41(3), 1485-1497.
<https://doi.org/10.1007/s11164-013-1287-9>.
- Keyf, S. (2018). The modification of bitumen with styrene-butadiene-styrene, ethylene vinyl acetate and varying the amount of reactive ethylene terpolymer. *Journal of Elastomers and Plastics*, 50(3), 241-255.
<https://doi.org/10.1177/0095244317708590>.
- Keyf, S., Ismail, O. and Corbacioglu, B. D. (2007a). The modification of bitumen with synthetic reactive ethylene terpolymer and ethylene terpolymer. *Petroleum Science and Technology*, 25(5-6), 561-568.
<https://doi.org/10.1080/10916460500294259>.
- Keyf, S., Ismail, O. and Corbacioglu, B. D. (2007b). Polymer-modified bitumen using ethylene terpolymers. *Petroleum Science and Technology*, 25(7), 915-923.
<https://doi.org/10.1080/10916460500411812>.
- Li, X. J., Clyne, T., Reinke, G., Johnson, E. N., Gibson, N. and Kutay, M. E. (2011). Laboratory evaluation of asphalt binders and mixtures containing polyphosphoric acid. *Transportation Research Record*, 2210, 47-56.
<https://doi.org/10.3141/2210-06>.
- Liu, L. Q., Xiao, F. P., Zhang, H. L. and Amir Khanian, S. (2017). Rheological characteristics of alternative modified binders. *Construction and Building Materials*, 144, 442-450.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.193>.
- Lotader. Bitumen reactive modification with Lotader® AX range. (2021, February 02). Retrieved from <https://www.lotader.com/en/application/bitumen-modification/>.
- Love, C. T., Xian, G. and Karbhari, V. M. (2007). Cathodic disbondment resistance with reactive ethylene terpolymer blends. *Progress in Organic Coatings*, 60(4), 287-296.
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.07.022>.
- Loyens, W. and Groeninckx, G. (2002). Ultimate mechanical properties of rubber toughened semicrystalline PET at room temperature. *Polymer*, 43(21), 5679-5691.
[https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00472-X](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00472-X).
- Michon, L. C., Williams, T. M. and Miknis, F. P. (1998). Use of the environmental scanning electron microscope to investigate three polymer modified asphalts. *Petroleum Science and Technology*, 16(7-8), 797-809.
<https://doi.org/10.1080/10916469808949812>.
- Miknis, F. P. and Thomas, K. P. (2008). NMR analysis of polyphosphoric acid-modified bitumens. *Road Materials and Pavement Design*, 9(1), 59-72.
<https://doi.org/10.3166/Rmpd.9.59-72>.
- Minkova, L., Yordanov, H. and Filippi, S. (2002). Characterization of blends of LDPE and PA6 with functionalized polyethylenes. *Polymer*, 43(23), 6195-6204.
[https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00532-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00532-3).
- Oruc, S. and Yilmaz, B. (2016). Improvement in performance properties of asphalt using a novel boron-containing additive. *Construction and Building Materials*, 123, 207-213.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.003>.
- Oruc, S., Yilmaz, B. and Sancak, K. (2016). Effect of boron-containing additives on rheological properties of asphalt binder. *Road Materials and Pavement Design*, 17(4), 810-824.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1120228>.
- Pazzagli, F. and Pracella, M. (2000). Reactive compatibilization of polyolefin/PET blends by melt grafting with glycidyl methacrylate. *Macromolecular Symposia*, 149(1), 225-230.
[https://doi.org/10.1002/1521-3900\(200001\)149:1<225::AID-MASY225>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1521-3900(200001)149:1<225::AID-MASY225>3.0.CO;2-8).
- Pérez-Lepe, A., Martínez-Boza, F. J. and Gallegos, C. (2007). High temperature stability of different polymer-modified bitumens: A rheological evaluation. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(2), 1166-1174.
<https://doi.org/10.1002/app.25336>.
- Perez-Lepe, A., Martinez-Boza, F. J., Gallegos, C., Gonzalez, O., Munoz, M. E. and Santamaria, A. (2003). Influence of the processing conditions on the rheological behaviour of polymer-modified bitumen. *Fuel*, 82(11), 1339-1348.
[https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00065-6).
- Polacco, G., Stastna, J., Biondi, D., Antonelli, F., Vlachovicova, Z. and Zanzotto, L. (2004a). Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 366-373.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.043>.
- Polacco, G., Stastna, J., Vlachovicova, Z., Biondi, D. and Zanzotto, L. (2004b). Temporary networks in polymer-modified asphalts. *Polymer Engineering and Science*, 44(12), 2185-2193.
<https://doi.org/10.1002/pen.20246>.
- Selvavathi, V., Sekar, V. A., Sriram, V. and Sairam, B. (2002). Modifications of bitumen by elastomer and reactive polymer - A comparative study.

- Petroleum Science and Technology, 20(5-6), 535-547. <https://doi.org/10.1081/Lft-120003577>.
- Sengoz, B. and Isikyakar, G. (2008). Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1897-1905. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.013>.
- Sengoz, B. and Topal, A. (2005). Use of asphalt roofing shingle waste in HMA. *Construction and Building Materials*, 19(5), 337-346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.08.005>.
- Singh, D., Ashish, P. K., Chander, S., Habal, A. and Kataware, A. (2019a). Effect of warm-mix additives and lime on intermediate-temperature fracture property of RET- and PPA-modified asphalt binder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(7), 04019112. [https://doi.org/10.1061/\(Asce\)Mt.1943-5533.0002756](https://doi.org/10.1061/(Asce)Mt.1943-5533.0002756).
- Singh, D., Ashish, P. K., Kataware, A. and Habal, A. (2017). Evaluating performance of PPA-and-Elvaloy-modified binder containing WMA additives and lime using MSCR and LAS tests. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(8). [https://doi.org/10.1061/\(Asce\)Mt.1943-5533.0001934](https://doi.org/10.1061/(Asce)Mt.1943-5533.0001934).
- Singh, D., Ashish, P. K., Kataware, A. and Habal, A. (2019b). Effects of WMA additives and hydrated lime on high-stress and high-temperature performance of Elvaloy® - and PPA-modified asphalt binder. *Road Materials and Pavement Design*, 20(6), 1354-1375. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1446040>.
- Singh, D., Habal, A., Ashish, P. K. and Kataware, A. (2018). Evaluating suitability of energy efficient and anti-stripping additives for polymer and Polyphosphoric acid modified asphalt binder using surface free energy approach. *Construction and Building Materials*, 158, 949-960. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.079>.
- Skronka, G., Jasso, M. and Vacin, O. 2019. Determination of rutting distresses on hot mix asphalts by advanced techniques MATEC Web of Conferences, EDP Sciences.
- Suo, Z. and Wong, W. G. (2009). Nonlinear properties analysis on rutting behaviour of bituminous materials with different air void contents. *Construction and Building Materials*, 23(12), 3492-3498. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.07.004>.
- Tayfur, S., Ozen, H. and Aksoy, A. (2007). Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *Construction and Building Materials*, 21(2), 328-337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.014>.
- Topal, A. (2010). Evaluation of the properties and microstructure of plastomeric polymer modified bitumens. *Fuel Processing Technology*, 91(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.08.007>.
- Vachhani, K. K. and Mishra, C. (2014). Influence of VG30 grade bitumen with and without reactive ethylene terpolymer (Elvaloy® 4170) in short term aging. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(6), 4206-4209.
- Xu, C., Zhang, Z. Q. and Liu, F. F. (2020). Improving the low-temperature performance of RET modified asphalt mixture with different modifiers. *Coatings*, 10(11), 1070. <https://doi.org/10.3390/coatings10111070>.
- Xu, C., Zhang, Z. Q., Zhao, F. Q., Liu, F. F. and Wang, J. R. (2019). Improving the performance of RET modified asphalt with the addition of polyurethane prepolymer (PUP). *Construction and Building Materials*, 206, 560-575. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.101>.
- Yıldırım, Y. (2007). Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 21(1), 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.007>.
- Yilmaz, M., Kok, B. V. and Kuloglu, N. (2011). Effects of using asphaltite as filler on mechanical properties of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4279-4286. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.072>.
- Zahoor, M., Nizamuddin, S., Madapusi, S. and Giustozzi, F. (2021). Sustainable asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123304>.
- Zhu, J. Q., Birgisson, B. and Kringos, N. (2014). Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*, 54, 18-38. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>.

Determination of the homogeneity of the Ag-Au bimetallic alloy thin films by means of a micro beam X-Ray fluorescence setup with using elemental composition

Ag-Au bimetalik alaşımlı ince filmlerin mikro-X ışını flüoresans sistemi ile homojenliğinin belirlenmesi

Oğuz Kağan KÖKSAL *^{1,2,a}

¹ Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Adıyaman University, 02040, Adıyaman, Turkey

² Department of Medical Physics and Biophysics, Faculty of Physics and Applied Computer Science, AGH University Science and Technology, Krakow, Poland

• Geliş tarihi / Received: 09.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.05.2021

Abstract

The goal of this work is to research the effect of different Au-Ag ratios on the homogeneity of Au-Ag bimetal alloys. Thin films of silver (Ag)-gold (Au) bimetal alloy were produced using Vaksis Thermal Evaporator system and quartz crystal microbalance detector at different gold (Au) additive ratios. Micro beam X-Ray fluorescence spectrometer system was used to calculate the homogeneity of bimetallic Ag-Au alloy thin films and to calculate production Au-Ag ratios with different concentration values. It is seen that the calculated ratios and production value are in good agreement.

Keywords: Bimetallic alloy, Homogeneity, Micro XRF

Öz

Bu araştırmanın amacı, farklı Ag-Au oranlarının Ag-Au bimetal alaşımlarının homojenliği üzerindeki etkisini araştırmaktır. Gümüş (Ag) -altın (Au) bimetal alaşımlı ince filmler, Vaksis Termal Evaporatör sistemi ve farklı altın (Au) katkı oranlarında kuvars kristal mikro terazi dedektörü kullanılarak üretilmiştir. Microbeam X-Ray flüoresans spektrometre sistemi, bimetalik Au-Ag alaşımlı ince filmlerin homojenliğini hesaplamak ve farklı konsantrasyon değerleri ile üretim Au-Ag oranlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Hesaplanan oranlar ile üretim değerinin uyumlu olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bimetallic alloy, Homogeneity, Micro XRF

*a Oğuz Kağan KÖKSAL; okoksal@adiyaman.edu.tr; Phone: 0416 223 38 00-45 45; orcid.org/0000-0003-2671-6683

1. Introduction

Bimetallic Au-Ag alloys have led to significant advances in various fields such as bio sensing, drug delivery, catalytic fields optics and electronics due to the possibility of tuning the optical and electronic (and thus catalytic) properties. In biomedical fields; it has attracted the attention of interdisciplinary scientists when it exhibits interesting electronic and structural properties (Ispasoiu et al., 2000; Jana and Peng, 2003; Mulvaney et al., 1993; Sun and Xia, 2002; Wang et al., 2001).

Micro beam X-ray fluorescence is a powerful analytical method and a non-destructive elemental analysis method a wide range for metal research, stratified materials, environmental and biological specimens. Besides it is used for the investigation of archaeology and forensic fields (Kanngiesser et al., 2005; Lin et al., 2008; Mantouvalou et al., 2010; Nakano and Tsuji, 2010; Tsuji and Nakano, 2007). The samples are placed on a three-dimensional motorized stage to perform multiple samples or for a single sample to be analysed at different points.

X-ray fluorescence (XRF) and micro-particle induced X-ray Emission (PIXE) works were operated for detecting of heterogeneity of ancient bronze and silver alloys (Vasilescu et al., 2017). Hložek and Trojek (Hložek and Trojek, 2017) investigated silver and tin plating (such as medieval methods of producing counterfeit coins) and their characterization with using micro-X-ray fluorescence (μ -XRF). The elemental concentration work of bronze vessels from the derveni tombs of central Macedonia of the fourth century BCE were investigated by means of micro beam X-ray fluorescence (μ XRF) technique (Katsifas et al., 2019). The surface elemental analysis was made by using a micro-XRF study for Polish silver coins (del Hoyo-Meléndez et al., 2015). Micro-XRF element mapping and EXAFS spectroscopy was used to determine distribution and speciation of arsenic around roots in a contaminated riparian floodplain soil by (Voegelin et al., 2007).

From previous studies, we see that successful results have been reported in the examination of historical samples of the micro X-ray fluorescence spectroscopy method, in the investigation of various alloys, in the analysis of paint materials and in the examination of soil materials such as rocks and sands.

In the presented study, it was aimed to evaluate the homogeneity of bimetallic alloys produced with Vaksis Thermal Evaporator system. It is known that the micro-XRF system is suitable for determining the homogeneity of metals, stratified materials, environmental and biological specimens (such as tissue, muscle etc.) and for investigation in archaeology and forensic fields. But the phenomena of determining the homogeneity of the bimetallic alloys at different concentrations is uncertain. When an alloy is fabricated, it is important to determine the elemental concentration and the homogeneity of the materials composed the alloy. Besides, it is also significant to examine the relationship between the different concentrations. In this study, the homogeneity of Ag-Au bimetallic alloys was determined and the surfaces of the samples was mapped using micro-XRF

2. Material and methods

2.1. Sampling

The bimetallic Silver (Ag)-gold (Au) alloys are settled on glass slides by Vaksis Thermal Evaporator with the $2\text{-}3 \times 10^6$ bar pressure in the vacuum chamber at 100 nm thickness approximately. Before settlement, all glass slides are cleaned by using piranha solution ($3 \text{H}_2\text{SO}_4 + 1\text{H}_2\text{O}_2$) for three hours. After cleaning with piranha solution ($3 \text{H}_2\text{SO}_4 + 1\text{H}_2\text{O}_2$), the samples were placed in acetone and kept in an ultrasonic bath for 1 hour. Then the samples were washed with isopropanol and water, dried with nitrogen, and made ready for metal coating. The coating of Ag-Au alloy was carried out using two different current sources in a thermal evaporator. The coating speeds of metals are calibrated with a quartz crystal microbalance detector. Since the coating speed of Ag is very stable and constant depending on time compared to the coating speed of Au, only the current passing over the coating speed of Au during evaporation was changed by controlling. The samples were prepared by sputter depositing silver films of various thicknesses on a gold substrate.

2.2. Components of experimental set-up

The experimental system consists of a side window X-ray tube, semiconductor detector, moving in three dimension and angle specimen table, CCD camera integrated with the optical microscope. The X-ray tube is consisted of a molybdenum anode 50 W power, air-cooling system, fifty micrometer Molybdenum filter in the incident photon. The photon counting is a kind of silicon drift

semiconductor detector (SDD) which has (D), active area 10 mm², effective thickness 450 micromet, 8 micrometer beryllium window, full width half maximum (FWHM) = 140 eV at 5.9 keV. All system components are controlled remotely by LabVIEW (VI) programme. The system of the micro X-ray fluorescence spectrometer was explained by Wrobel in details (Wrobel et al., 2012).

2.3. Analysis of data

All spectra obtained were kept in *.spe file type. There are 100 spectra totally for each Ag-Au bimetallic alloys. All of the spectra for each sample was analysed using WinAxill analysis programme with using batch mode. The batch mode of WinAxill can provide measurement time, real time, and positions of dots in xyz coordinates, continuum, and counts of K, L, M etc. lines and deviations of lines in excel formats. In the gold and silver alloys, the L_α lines of the relevant elements were used. The fit model spectrum is needed for analysing in Win Axill batch mode. And finally the homogeneities were calculated by means of L_α counts using the related formulas.

2.4. Calculation homogeneity of Ag-Au bimetallic alloys

Investigation of the homogeneity of Au-Ag bimetallic alloys was performed. Four samples with different concentrations of Au and Ag elements were investigated. The purpose of this experiment was to calculate the average surface mass of silver-gold, M_{Ag/Au}, and its relative uncertainty in terms of the layer intrinsic inhomogeneity. The current specimen was counted

at one thousand dots on the surface of the specimen. The radiation source was performed at 50 kV voltage and 1 mA current. For each specimen, the obtained relative changing of the specimen surface mass was figured out from the set of n counted dots:

$$S_{\text{observed}}^2 = \frac{1}{(M_{\text{Ag,Au}})^2} \frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{Ag,Au},i} - M_{\text{Ag,Au}})^2}{n-1} \quad (1a)$$

$$M_{\text{Ag,Au}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{\text{Ag,Au},i}}{n} \quad (1b)$$

The obtained changes have two important contributions: one of them is concerned the measurement methodology and other is about the sample intrinsic homogeneity (Wrobel et al., 2012).

$$S_{\text{observed}}^2 = S_{\text{method}}^2 + S_{\text{homog}}^2 \quad (2)$$

For the bimetallic alloys the surface masses at various locations, M_{Ag/Au,i}, were determined with using adapting a thin specimen model. The intensity of fluorescence radiation (I) is rational to the surface mass of gold and silver (M_{Ag/Au}):

$$I = \int_{E_{\text{Ag,Au}}}^{E_{\text{max}}} K_{\text{Ag,Au}}(E) dI_0(E) M_p = K'_{\text{Ag,Au}} M_{\text{Ag,Au}} \quad (3)$$

K_{Ag,Au}(E) is a product of Au-L_α and Ag-L_α peaks production cross-sections. This parameter includes detection efficiency. dI₀(E) is a relative number of incident photons with energy; E_{Ag,Au} is the energy of the gold and silver photoelectric attenuation L-edge; and E_{max} is the maximum energy of the incident photons.

$$I = \int_{E_{\text{Ag,Au}}}^{E_{\text{max}}} K_{\text{Ag,Au}}(E) dI_0(E) M_{\text{Ag,Au}} \frac{1 - \exp\{-M_{\text{Ag,Au}} b(E)\}}{M_{\text{Ag,Au}} b(E)} \quad (4a)$$

$$\cong K'_{\text{Ag,Au}} \frac{1 - \exp\{-M_{\text{Ag,Au}} b(E)\}}{M_{\text{Ag,Au}} b(E)} \quad (4b)$$

$$b(E_{\text{eff}}) = \frac{\mu_{\text{Ag,Au}}(E_{\text{eff}})}{\sin\varphi} + \frac{\mu_{\text{Ag,Au}}(E_{\text{Ag,Au}} - \alpha)}{\sin\Psi} \quad (4c)$$

For the bimetallic alloys, the values of surface mass were calculated with using formula (3) for gold and silver at any location.

$$M_{\text{Ag,Au},i} = \frac{I_i}{K'_{\text{Ag,Au}}} \quad (5)$$

When the expressions (4b) and (4c) are rearranged for the thick sample

$$M_{\text{Ag,Au},i} = -\frac{1}{b(E_{\text{eff}})} \ln [1 - I_i \frac{b(E_{\text{eff}})}{K'_{\text{Ag,Au}}}] \quad (6)$$

$K'_{Ag,Au}$ is the sensitivity factor. The factor was computed by counting the photons of thin gold (Au) and silver (Ag) standard samples with known surface mass.

For each location, the value of $K'_{Ag,Au,i}$ was found with the formula below:

$$K'_{Ag,Au,i} = \frac{I_{std,i}}{M_{Ag,Au,std}} \quad (7)$$

where $I_{std,i}$ is the intensity of Au- L_{α} and Ag- L_{α} peak for interested location and $M_{Ag,Au,Std}$ refers to the certified surface mass of Au and Ag in the standard specimen. The unknown gold and silver samples were excited by using X-ray photons under the same the X-ray tube current and voltage. The average value of $K'_{Ag,Au}$ was determined with the set of a hundred measurements;

$$K'_{Ag,Au} = \frac{\sum_{i=1}^n K'_{Ag,Au,i}}{n} \quad (8)$$

The values of $K'_{Ag,Au}$ the method variance arises since of the propagation of the counting statistic fluctuations through formula 5 and 6. When estimating the expected value, assuming the Poisson distribution counting statistics, uncertainty propagation law of variable method was used. The expected relative changing of the technique for the thin specimen was determined as shown formula below

$$S^2_{method} = \frac{1}{K'_{Ag,Au,i} M_{Ag,Au,i} t} \left(1 + \frac{B}{K'_{Ag,Au,i} M_{Ag,Au,i} t} \right) \quad (9)$$

where t and B refers to the measurement duration for each point and the mean of counting numbers under the Au- L_{α} and Ag- L_{α} peak at the background.

The relative uncertainty of the layer surface mass since of its heterogeneity was determined by reorganizing formula (3):

$$S_{homog} = \sqrt{S^2_{observed} - S^2_{method}} \quad (10)$$

2.5. Mapping

The scanned area provides 100 measurement points. The measurement time was adjusted as 100 second for each data point. The operating parameters (such as X-ray tube current and voltage) were adjusted as 50 kV and 1 mA, respectively. It is not only the homogeneity mapping of the ratios but also the homogeneity mapping of the individual elements was plotted. It shows that there are specific areas where the intensities are high indicating the attendance of a particle in that bimetallic alloy.

3. Results and discussions

In order to calculate the homogeneity, measurements were taken from different hundred points on the sample in the current work. The experimental measurement methodology S^2_{method} , the sample intrinsic homogeneity $S_{homogeneity}$ and $S^2_{observed}$ values for Ag-Au have been used for calculation the Ag/Au ratios. The obtained Ag/Au ratios are in good agreement between current production results. Production concentration values, number of measurement points and homogeneity ratios are shown in Table 1. When looking at table 1 it is seen that the production ratios of Ag/Au are in good agreement with $S_{homogeneity}$ values for different ratios of bimetallic alloys.

Table 1. Results of homogeneity testing and concentration ratios of Au and Ag in bimetallic alloys with micro-XRF

Samples	Ratios of Concentrations	Elements	Element Lines	Number of Points	$S_{measured}$ [%]	S_{method} [%]	S_{homog} [%]	Ag/Au
S1	1:1		Au L_{α}	100	7.93	2.36	7.57	0.90
			Ag L_{α}	100	8.49	1.00	8.43	
S2	1:2	Ag-Au	Au L_{α}	100	10.06	0.40	10.05	2.12
			Ag L_{α}	100	4.73	0.13	4.73	
S3	1:2.5		Au L_{α}	100	10.95	0.34	10.94	2.66
			Ag L_{α}	100	4.12	0.11	4.11	

The ratios were calculated between 4.0% - 9.0% and 7%-11% with using Ag and Au L_{α} lines, respectively. It is seen that the concentration ratios vary between 1 and 2.5 at the same table. The margin of error in the present experiment is due to

the photon counting statistics. Surely, errors exist during the sample production phase. The initial values were adjusted to obtain the final concentration value for the production process.

Table 2. Results of homogeneity testing and concentration ratios of Au and Ag in bimetallic alloys with micro-XRF

Ratios of Concentrations	Average Au Photons	Au L_{α} Photon Errors	Average Ag Photons	Ag L_{α} Photon Errors	Number of Points
1-1.0	1041.13	24.58	2357.21	23.66	100
1-2.0	1047.82	15.90	2373.62	14.49	100
1-2.5	1008.76	4.00	2694.43	3.61	100

Homogeneity maps of bimetallic alloys were compared with homogeneity maps of pure Ag and Au elements in Figure 1.

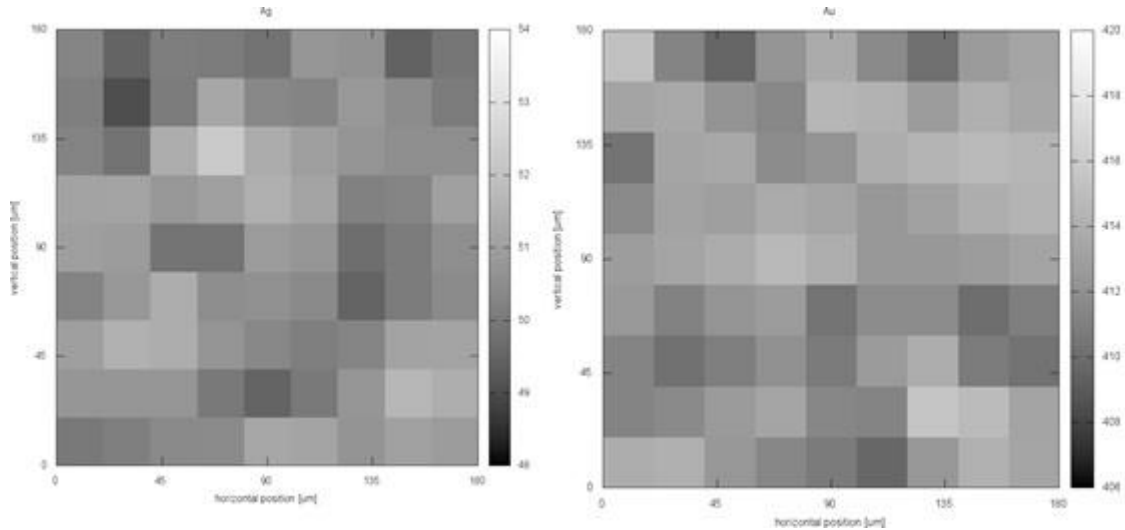


Figure 1. Maps of homogeneity for ratios Ag and Au compositions for each sample.

As can be seen in Figure 2, it was observed that a good homogeneity was obtained for the pure Ag and Au samples. It is seen that the production system and micro-XRF system are suitable for use in bimetallic alloys.

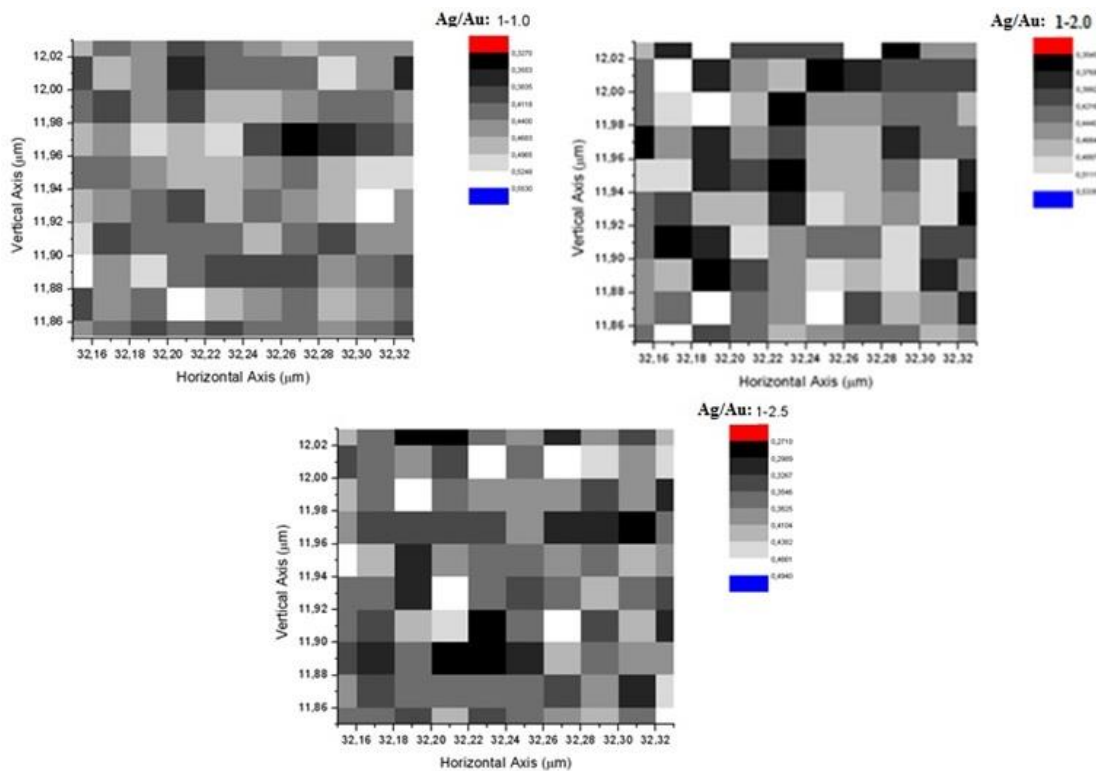


Figure 2. Maps of homogeneity for ratios Ag and Au compositions for each sample.

The maps on figure 2 were obtained using the compositions of silver and gold, which are the constituents of the bimetallic alloys. All grey level scale bar values in unit less and the axes (vertical and horizontal) are scaled in micrometre. The figure 2 illustrates map of the ratios of silver and gold, which are the constituents of the bimetallic alloys. The Ag deposition rate was kept constant compared to Au during production. The Ag/Au labels in the figure have been corrected as Ag/Au. Thus, it is seen that as the gold ratio increases, the white places increase relatively.

4. Conclusion

The aim of that study is to reveal the capability of micro-XRF technique for determining both homogeneity and elemental analysis in bimetallic alloys. When considering the current values, these results in this current work are also in a good agreement with production values. It is seen that the homogeneity values calculated using micro beam XRF confirmed the production values. This shows that the Vaksis Thermal Evaporator system provides sufficient homogeneity for production of Ag-Au bimetallic alloys. Micro beam XRF spectrometer is an adequate technique for the bimetallic alloys not only to test homogeneity but also to determine the gold and silver concentrations.

Acknowledgement

The author acknowledge the support by 2016/5-47YLS project made in Kahramanmaraş Sutcu Imam University USKIM (Kahramanmaraş TURKEY). The author also thanks to Prof. Dr. Marek LANKOSZ and Dr. Pawel WROBEL from AGH UST (Cracow, Poland) and Prof. Dr. Omer SOGUT from KSU (Kahramanmaraş, Turkey) for their support.

References

- del Hoyo-Meléndez, J.M., Świt, P., Matosz, M., Woźniak, M., Klisińska-Kopacz, A. and Bratasz, Ł. (2015). Micro-XRF analysis of silver coins from medieval Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 349, 6-16. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.02.018>
- Hlozek, M. and Trojek, T. (2017). Silver and tin plating as medieval techniques of producing counterfeit coins and their identification by means of micro-XRF. *Radiation Physics Chemistry* 137, 234-237. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.08.013>
- Ispasoiu, R.G., Balogh, L., Varnavski, O.P., Tomalia, D.A. and Goodson III, T. (2000). Large optical limiting from novel metal– dendrimer nanocomposite materials. *Journal of the American Chemical Society* 122, 11005-11006. <https://doi.org/10.1021/ja0015646>
- Jana, N.R. and Peng, X. (2003). Single-phase and gram-scale routes toward nearly monodisperse Au and other noble metal nanocrystals. *Journal of the American Chemical Society* 125, 14280-14281. <https://doi.org/10.1021/ja038219b>
- Kanngiesser, B., Malzer, W., Rodriguez, A.F. and Reiche, I. (2005). Three-dimensional micro-XRF investigations of paint layers with a tabletop setup. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 60, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2004.10.012>
- Katsifas, C., Touloumzidou, A. and Zachariadis, G. (2019). Compositional study of bronze vessels from the Derveni tombs of central Macedonia of the fourth century bce using energy-dispersive micro-X-ray fluorescence (ED μ XRF) spectrometry. *Archaeometry* 61, 1313-1332. <https://doi.org/10.1111/arcm.12486>
- Lin, X.Y., Wang, Z.H., Sun, T.X., Pan, Q.L. and Ding, X.L. (2008). Characterization and applications of a new tabletop confocal micro X-ray fluorescence setup. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 266, 2638-2642. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2007.12.064>
- Mantouvalou, I., Lange, K., Wolff, T., Grotzsch, D., Luhl, L., Haschke, M., Hahn, O. and Kanngiesser, B. (2010). A compact 3D micro X-ray fluorescence spectrometer with X-ray tube excitation for archaeometric applications. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 25, 554-561.
- Mulvaney, P., Giersig, M. and Henglein, A. (1993). Electrochemistry of multilayer colloids: preparation and absorption spectrum of gold-coated silver particles. *The Journal of Physical Chemistry* 97, 7061-7064. <https://doi.org/10.1021/j100129a022>
- Nakano, K. and Tsuji, K. (2010). Development of laboratory confocal 3D-XRF spectrometer and nondestructive depth profiling. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 25, 562-569. <https://doi.org/10.1039/B916974A>
- Sun, Y. and Xia, Y. (2002). Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles. *Science* 298, 2176-2179. <https://doi.org/10.1126/science.1077229>

- Tsuji, K. and Nakano, K., (2007). Development of confocal 3D micro-XRF spectrometer with dual Cr-Mo excitation. *X-Ray Spectrometry* 36, 145-149. <https://doi.org/10.1002/xrs.957>
- Vasilescu, A., Constantinescu, B., Stan, D., Talmatchi, G. and Ceccato, D., (2017). XRF and micro-PIXE studies of inhomogeneity of ancient bronze and silver alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 406, 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.02.019>
- Voegelin, A., Weber, F.-A. and Kretzschmar, R., (2007). Distribution and speciation of arsenic around roots in a contaminated riparian floodplain soil: Micro-XRF element mapping and EXAFS spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 5804-5820. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.05.030>
- Wang, R., Yang, J., Zheng, Z., Carducci, M.D., Jiao, J. and Seraphin, S., (2001). Dendron-controlled nucleation and growth of gold nanoparticles. *Angewandte Chemie International Edition* 40, 549-552. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010202\)40:3<549::AID-ANIE549>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010202)40:3<549::AID-ANIE549>3.0.CO;2-P)
- Wrobel, P., Czyzycki, M., Furman, L., Kolasinski, K., Lankosz, M., Mrenca, A., Samek, L. and Wegrzynek, D., (2012). LabVIEW control software for scanning micro-beam X-ray fluorescence spectrometer. *Talanta* 93, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.02.010>

Dairesel başlıklı savak akımının sayısal analizi

Numerical analysis of cylindrical weir flow

Nazire Göksu SOYDAN OKSAL^{*1,a}

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 33343, Mersin

• Geliş tarihi / Received: 08.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.05.2021

Öz

Dairesel başlıklı savaklar akım ölçümleri için yaygın olarak kullanılan su yapılarıdır. Dikdörtgen kesitli savak profillerine göre genellikle daha yüksek debi katsayılarına sahip oldukları bilinen bu tür savaklar, akım yapısını daha az rahatsız etme özelliğine sahip oldukları için dikdörtgen başlıklı savaklara kıyasla daha avantajlıdır. Bu çalışmada, dairesel savakların etrafındaki akımın hız alanı, basınç dağılımı, akım çizgileri ve hız vektörleri sonlu hacim yöntemine dayalı ANSYS Fluent programı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Savak yapısından etkilenen akımı idare eden temel denklemler Renormalizasyon Grup $k-\varepsilon$ (RNG) modeli ile çözülmüştür. Akımın su yüzünün hesabında Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid-VOF) kullanılmıştır. RNG modelinden elde edilen sayısal sonuçlar, literatürden elde edilen deneysel ölçümler ile doğrulanmıştır. Bununla birlikte deneysel sonuçlara ek olarak farklı akım koşulları için sayısal modellemeler gerçekleştirilmiş ve sayısal debi katsayıları (C_d) elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal hız dağılımları ile debi katsayılarının karşılaştırılmasından, RNG modelinin dairesel savak etrafındaki akım alanını tahmin etmede başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca debinin artırılmasının dairesel savaklar için debi katsayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Dairesel başlıklı savaklar, Debi katsayısı, Hız profilleri, Sayısal modelleme

Abstract

Circular-crested weirs are flow structures commonly used for flow measurements. These types of weirs, which are generally known to have higher discharge coefficients compared to rectangular weir profiles, are widely used because they have less disturbance to the flow structure. In this study, the velocity field, pressure distribution, streamlines and velocity vectors of the flow around circular crested weirs were numerically investigated using the ANSYS Fluent program based on the finite volume method. The governing equations of the flow affected by the weir structure are solved by the Renormalization Group $k-\varepsilon$ (RNG) model. The Volume of Fluid-VOF was used to calculate the free surface of the flow. The numerical results obtained from the RNG model have been verified by experimental measurements obtained from the literature. However, in addition to the experimental results, numerical modeling was performed for different flow conditions and numerical velocity distributions, free surface profiles, streamlines and velocity vectors and discharge coefficients C_d were obtained. The comparison of the experimental and numerical velocity distributions and the discharge coefficients showed that the RNG model was successful in estimating the flow around the circular weir. It can also be said that increasing the flow rate causes an increase in the discharge coefficient for circular weir.

Keywords: Circular crested weirs, Discharge coefficient, Velocity profile, Numerical modelling

^{*a} Nazire Göksu SOYDAN OKSAL; goksusoydan@mersin.edu.tr; Tel: (0324) 361 00 01; orcid.org/0000-0001-6469-2649

1. Giriş

Savaklar, debi ölçümleri, su seviyelerinin düzenlenmesi ve suların yönlendirilmesi için kullanılan en eski hidrolik yapılardır. Savaklar üzerinden geçen akımın yapısı incelendiğinde dairesel başlıklı savaklar, dar tepeli savaklar (Rao, 1975) veya kısa tepeli savaklar (Bos, 1976) olarak sınıflandırılır. Bu tür savak yapıları için önemli olan savak yapısının etkisinde olan bölgede akım çizgilerinin eğriliğidir. Dairesel başlıklı savaklar genellikle akım çizgilerinin eğriliğinin daha fazla olması açısından geniş başlıklı savaklardan farklılık gösterirler. Dairesel başlıklı savakların, keskin kenarlı ve geniş başlıklı savaklarla kıyaslandığında daha yüksek debi katsayılarına sahip oldukları görülmektedir (Dönmez ve Lekesiz, 2011; Schmocker vd., 2011; Bagheri ve Kabiri-Samani, 2020). Debi katsayısı C_d , Bos (1976) tarafından Denklem (1)'deki gibi ifade edilmiştir. Burada q , birim boy debisini, H toplam enerji yüksekliğini ve C_d debi katsayısını ifade etmektedir.

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H^{3/2} \quad (1)$$

Savak etrafındaki akımın özelliklerini belirlemek için geçmişte birçok deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır (Şimşek vd., 2016; Gümüş ve Şimşek, 2015; Aköz vd., 2019; Soydan vd., 2012). Bu çalışmalarda, savaklar için elde edilen debi katsayılarının yanında, savak etrafındaki akımın özellikleri üzerinde de durulduğu görülmüştür. Ancak, literatür incelendiğinde dairesel başlıklı savakların debi katsayılarının sayısal olarak doğrulanması ve elde edilmesi konusunda çok fazla çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Heidarpour ve Chamani (2006), silindir savak kreti üzerinden geçen akımın çevrintisiz olduğu kabulü ile hız dağılımını tahmin etmek için potansiyel akım teorisine dayanan bir metot geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı yarıçap ve yüksekliklere sahip silindirik savaklar etrafındaki akımın hız dağılımı Prandtl tüpü ile ölçülmüştür. Önerdikleri yöntemin hız dağılımını belirlemede başarılı olduğu belirlenmiş ve debi katsayısının yaklaşan akımın toplam enerji yüksekliği (H) ve kret yarıçapı (R) ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Chanson ve Montes (1998), çalışmalarında sekiz farklı çapta ve farklı yüksekliklerdeki silindir savaklar üzerinden geçen akımı beş farklı debi koşulu için deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneysel araştırmalar neticesinde silindir boyutunun, savak yüksekliğinin ve savağın memba eğiminin, debi

katsayısı, kretteki su yüksekliği ve enerji dağılımı üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Bunun yanında akım koşullarının debi katsayısını ve kretteki akım özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Aköz vd., (2014), dairesel savak üzerinden geçen akımın hız alanını Lazer Doppler anemometresi ile deneysel olarak elde etmişlerdir. Deneylerle benzer duruma sahip akım durumunun sayısal modellemesinde, Standart $k-\varepsilon$, Renormalization $k-\varepsilon$, Realizable $k-\varepsilon$, Modifiye $k-w$, Shear Stress Transport ve Reynolds Stress türbülans modellerini kullanmışlardır. Sayısal bulguların deneysel ölçümlerle karşılaştırılmasından, Reynolds Stress modelin akımın hız alanını ve su yüzü profillerini belirlemede kullanılan diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Yüce vd., (2015), silindirik savakların kanal içerisindeki eğikliğinin; akımın hız dağılımı, basınç dağılımı ve su derinliğinin savak tepesi üzerindeki dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanmışlardır. Farklı akım ve yapı koşullarında SSG Reynolds Gerilmeleri Modelini kullanarak elde ettikleri sayısal sonuçlardan akım çizgilerinin akım yönüne göre eğimden etkilendiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca savak eğim açısının artışının, savağın mansap yüzünde akım hızının artmasına sebep olduğu ve buna bağlı olarak yine bu bölgede negatif basıncın mutlak değerini arttırdığı görülmüştür. Literatürde yapılan incelemeler sonucunda dairesel savaklar ile ilgili çalışmaların genelinde debi katsayılarının deneysel olarak elde edildiği; sayısal modellemelerle elde edilen debi katsayılarının deneysel sonuçlarla doğrulanmasına dayalı çalışmaların yetersiz olduğu görülmüştür. Sayısal model çalışmalarının arttırılmasının farklı akım-yapı etkileşimleri konusunda fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

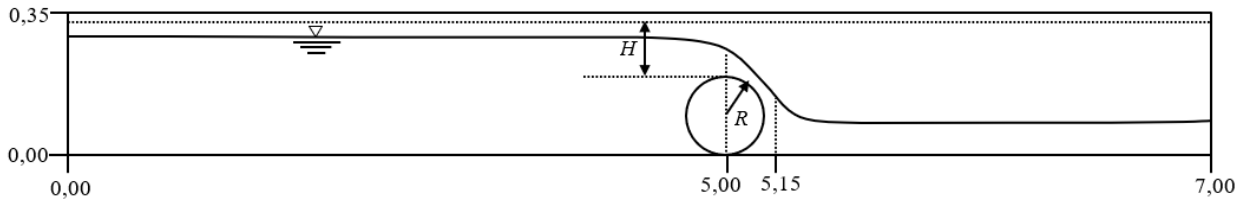
Bu çalışmada dairesel savak etrafından geçen akım farklı debi koşulları için sayısal olarak modellenmiş ve deneysel veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Akım özelliklerinin belirlenmesinde, hareket denklemleri ANSYS Fluent programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Su yüzünün sayısal olarak belirlenmesinde ise Akışkan Hacimler Yöntemi (VOF) kullanılmıştır. Akımın hız alanının ve su yüzünün belirlenmesinde Renormalization $k-\varepsilon$ (RNG) türbülans modeli kullanılmış ve farklı debi durumlarındaki hız profilleri, su yüzü profilleri, akım çizgileri ve hız vektörleri değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sayısal debi katsayıları C_d , deneysel verilerle karşılaştırılmış ve RNG modelinin dairesel savak akımlarını modellemede başarısı araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Deneyler

Deneyler 7 m uzunluğunda 0.32 m derinliğinde ve 0.35 m yüksekliğindeki yan duvarları pleksiglass'tan yapılmış dikdörtgen kesitli açık kanal modelinde gerçekleştirilmiştir (Heidarpour ve Chamani, 2006). Yarıçapı R=6.3 cm olan dairesel savak yapısı, kanal giriş kesitinin x=5.0 m mansabına yerleştirilmiştir (Şekil 1). Kanalın memba bölgesinde ölçülen hız profillerinin gelişmiş akım bölgesinde olmasına dikkat edilmiştir. Hacimsel debi $\pm\%3$ hassasiyetle, akımın hız alanı ise 2 mm çapa sahip Prandtl tüpü ile ölçülmüştür. Hız ölçümlerinin doğruluğunun belirlenmesi için hız profillerinin integrasyonu ile elde edilen debi değerleri, ölçüm değerleri ile karşılaştırılmış ve hata payı $\pm\%5$ olarak elde edilmiştir. Tablo 1'de, bu çalışmada kullanılan

sayısal ve deneysel akım özellikleri verilmiştir. Burada q , birim genişlik debisini; H , akımın dairesel savak yüzünden 2D membasındaki (D=dairesel savak çapı) yaklaşım akımının kret yüksekliğinden itibaren enerji yüksekliğini ($x=4,75m$); Fr , akımın dairesel savak yüzünden 2D membasındaki Froude sayısını ve Re_D ise dairesel savağın çapına bağlı Reynolds sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada Heidarpour ve Chamani (2006)'nın dairesel savaklar için yapmış olduğu deneysel çalışmaların (1_{deney} , 2_{deney} , 3_{deney} , 4_{deney}) sayısal olarak modellenmesi ve sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılmasına ek olarak bunlardan farklı 4 akım koşulu için sayısal modeller gerçekleştirilmiştir ($5_{sayısal}$, $6_{sayısal}$, $7_{sayısal}$, $8_{sayısal}$). Elde edilen sayısal hız profilleri ve C_d debi katsayıları, deneysel bulgularla karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Bunun yanı sıra sayısal verilerden elde edilen 8 farklı akım koşulu için akım çizgileri, hız vektörleri ve basınç dağılımları değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Dairesel savak akımının deneysel gösterimi

Tablo 1. Sayısal ve deneysel akım özellikleri

	q (l/s/m)	R (cm)	H (cm)	Fr	Re_D
1 (deney)	16.60	6.3	4.11	0.0779	10,749
2 (deney)	17.50	6.3	4.32	0.0806	11,197
3 (deney)	23.40	6.3	5.07	0.1013	14,359
4 (deney)	31.20	6.3	6.06	0.1263	18,363
5 (sayısal)	51.80	6.3	8.20	0.1785	27,299
6 (sayısal)	54.60	6.3	8.52	0.1842	28,370
7 (sayısal)	73.15	6.3	10.05	0.2249	35,724
8 (sayısal)	97.65	6.3	12.03	0.2690	44,322

2.2. Temel denklemler

Dairesel savak üzerinden geçen akım düzenli, iki-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı ve serbest yüzeyli bir akımdır. Akım hareketi ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel denklemler, kütle korunumu ve momentum korunumu (Reynolds-ortalama Navier-Stokes denklemleri), denklemleridir ve aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (3)$$

Denklem (2) ve (3)'te, u_i , x_i doğrultusundaki ortalama hız bileşeni, g_i yer çekimi ivmesi, p ortalama basınç, μ dinamik viskozite, ρ suyun yoğunluğu ve τ_{ij} türbülans (Reynolds) gerilmeleridir.

Genel halde, üç-boyutlu akım alanında, Denklem (2) ve (3) ile verilen 4 denklem 10 adet bilinmeyen içermektedir, bunlar: üç hız bileşeni \bar{u}_i , basınç \bar{p} , ve altı bağımsız Reynolds gerilmesi $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ 'dir.

Buna göre, 10 adet bilinmeyen çözüm için 4 denklemin mevcut olması bilinmeyen açısından denklem sisteminin kapatılamayacağı anlamına gelmektedir. Denklem sisteminin çözümü için türbülans gerilmelerinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorun denklemlerde yer alan türbülans gerilmelerinin türbülans kapatma modelleri ile tanımlanması yardımıyla çözülebilmektedir. Bu çalışmaya konu olan akım için Denklem (2) ve (3) iki-boyutlu olarak çözülmüştür. Türbülans viskozitesinin doğrusal formda formülasyonunu esas alan Boussinesq yaklaşımına göre Denklem (3)'teki türbülans gerilmeleri, sıkışmayan akımlar için, Denklem (4)'te verilmiştir.

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

Burada u'_i ve u'_j yatay ve düşey türbülans hız sapıncaları, μ_t türbülans viskozitesi, k ($=\overline{u'_i u'_i}/2$) türbülans kinetik enerjisi ve δ_{ij} Kronecker delta'dır.

2.3. Türbülans modeli

Akımın bir yapı ile etkileşim halinde olduğu açık kanallarda, akımın hareket denklemlerinin çözümleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Akımın modellenmesinde, Denklem (4)'teki μ_t türbülans viskozitesinin hesaplanmasında birçok

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial(\rho k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon}^* \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

Model sabitleri aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$C_\mu = 0.0845 \quad C_\mu = 0.0845 \quad C_{1\varepsilon}^* = C_{1\varepsilon} - \frac{\eta(1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3} \quad C_{2\varepsilon} = 1.68 \quad C_{1\varepsilon} = 1.42$$

$$\eta = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2} \frac{k}{\varepsilon} \quad S_{ij} = \frac{1}{2}(\bar{u}_{i,j} + \bar{u}_{j,i}) \quad \eta_0 = 4.377 \quad \beta = 0.012 \text{ (deneysel)}$$

S_{ij} şekil değiştirme hızı parametresidir. Denklem (7)'de, akışkan şekil değiştirmesine bağlı η parametresinin olduğu görülmektedir. Bu şekil değiştirme parametre sayesinde RNG $k-\varepsilon$ türbülans modelinin eğri yörengeli akımlarda SKE modeline

türbülans modeli geliştirilmiştir (Wilcox, 2006; Menter, 1994; Yakhot ve Orszag, 1986; Yakhot ve Smith, 1992). Bu çalışmada dairesel savak etrafındaki akımın sayısal olarak modellenmesi ve hız alanının, su yüzü profillerinin ve bu değerlere bağlı olarak debi katsayısının belirlenmesi için Renormalization $k-\varepsilon$ (RNG) türbülans modeli kullanılmıştır. RNG türbülans modelinin akımda meydana gelen ayrılmaların ve eğriselliğin bulunması durumunda başarılı sonuçlar verdiği modeli geliştirenler tarafından iddia edilmiştir.

2.3.1. Renormalization group $k-\varepsilon$ (RNG) modeli

RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli iki denklemlilik bir modeldir. Yakhot ve Orszag (1986)'nın geliştirilmiş olup (Yakhot ve Smith, 1992) esasen Navier-Stokes denklemlerinden renormalization group teorisi kullanılarak elde edilmiştir. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile; türbülans viskozitesi μ_t ; Denklem (5)'te verildiği gibi türbülans kinetik enerjisi, k , ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı, ε 'na bağlı olan denklemin çözülmesi ile elde edilmektedir.

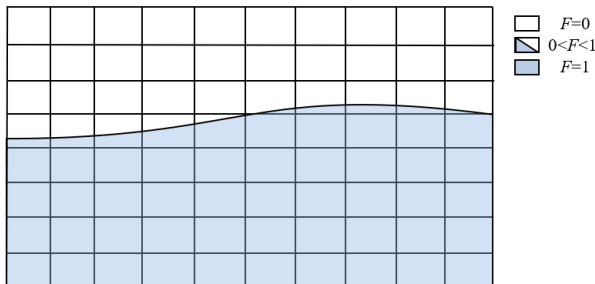
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

C_μ boyutsuz bir model sabitini ifade etmektedir. Denklem (5)'teki k ve ε değerlerinin hesaplanabilmesi, Denklem (6) ve Denklem (7)'de verilen iki tane kısmi diferansiyel taşınım denkleminin sayısal olarak çözülmesi işlemine bağlı olarak gerçekleşmektedir.

göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği iddia edilmiştir (Yakhot ve Smith, 1992).

2.4. Serbest yüzeyin hesaplanmasında akışkan hacimleri (VOF) yöntemi

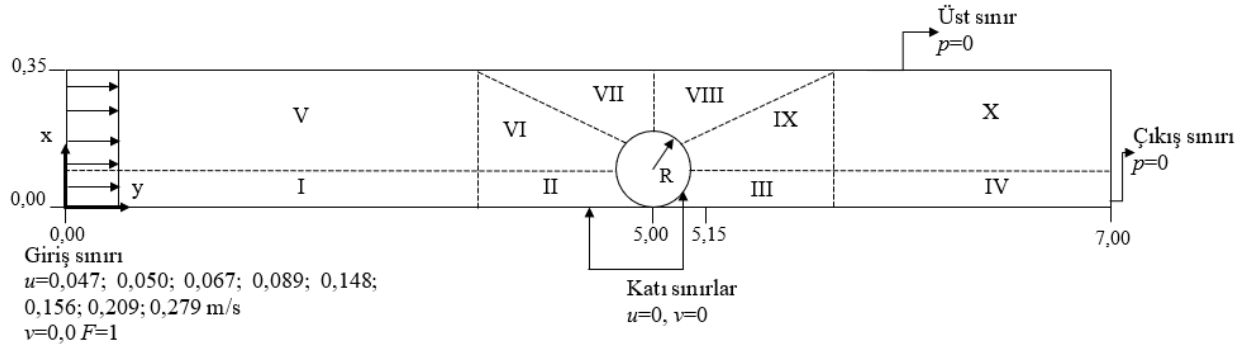
Akımın bir yapı ile etkileşimde bulunduğu açık kanal akımlarının sayısal modellemelerinde, akım profilinin hesaplanmasında Akışkan Hacimleri yöntemi (Volume of Fluid- VOF) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981; Aköz vd., 2014; Gümüş ve Şimşek, 2015). Bu yöntem, sayısal hesaplamada kullanılan ağ yapısında, sıvı ile havanın temas ettiği sınır bölgesindeki ağ elemanlarının hacimlerinin akışkan ile ne kadar dolu olduğunun oransal olarak hesaplanmasını esas almaktadır. Akışkanın doluluk oranı olarak ifade edilen F değeri ağ elemanı sıvı ile tamamen dolu ise "1", boş ise "0" ve kısmen dolu ise " $0 < F < 1$ " değerlerini almaktadır (Şekil 2). Böylelikle farklı zaman adımlarında hesaplama ağı içerisinde geçen akımın yüzeyinin ağ içerisindeki konumu belirlenmiş olur. VOF yöntemi ile serbest yüzeyin hesaplanmasında üç aşama bulunmaktadır. Öncelikle serbest yüzeyin yeri bulunur; daha sonra bu yüzey, su ve hava arasında keskin bir arakesit olarak belirlenir. Son olarak bu arakesite sınır şartları uygulanır. Arakesit üzerinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç sınır koşulları uygulanmaktadır. Akışkan Hacimleri yöntemi ile akım profilinin belirlenmesinde "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır (ANSYS, 2012). Bu yaklaşımda ilk olarak ağ elemanının doluluk oranı kullanılarak hava-su doğrusal ara yüzünün ağ elemanının ağırlık merkezine göre yeri belirlenir. Daha sonra hesaplanmış ara yüzün yeri ve eleman yüzeylerindeki normal ve teğetsel hız bilgileri kullanılarak ağ elemanı yüzeyinden taşınan akışkan miktarları hesaplanır. En sonunda taşınan akışkan miktarları göz önüne alınarak, kütle korunumu denklemi ile her hücrenin doluluk oranı hesaplanır (Soydan, 2019).



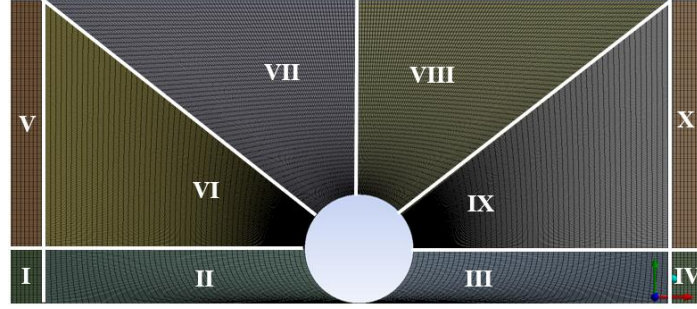
Şekil 2. Ağ elemanın dolu, boş ve kısmen dolu olduğu durumlar

2.5. Çözüm bölgesi, sınır ve başlangıç şartları

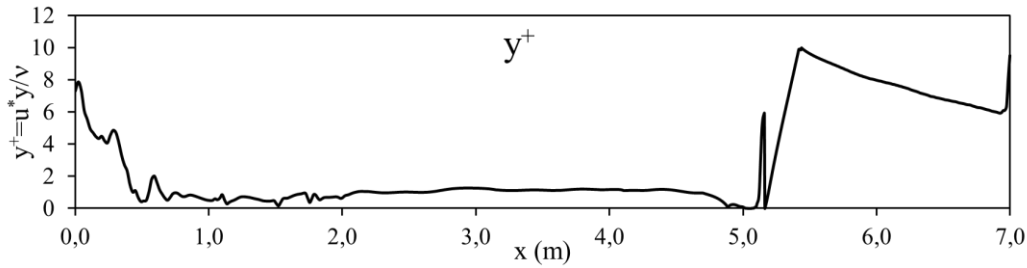
Şekil 3'te, dairesel savak etrafındaki türbülanslı açık kanal akımının sayısal modelinde kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları verilmiştir. Kanal kesitinin sol alt köşesi, kanalın başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere çözüm bölgesi, akım-yapı etkileşiminin olduğu bölgelere ve katı sınırlara doğru ağ sıklaştırması yapmak amacıyla 10 alt bölgeye ayrılmıştır. Çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı $p=0$, kanal tabanı ve dairesel savak yüzeyi sıfır-hız sınır şartı, $u=0$, $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Giriş sınır şartı olarak dairesel savak akımları için 8 farklı akım koşulu için sırasıyla, $u=0,047$, $0,050$, $0,067$, $0,089$, $0,148$, $0,156$, $0,209$, $0,279$ m/s değerleri alınmıştır. Düşey hız bileşeni için $v=0$ sınır şartı kullanılmıştır. Serbest su yüzeyinin belirlenmesi için kullanılan akışkan hacimleri (VOF) yönteminde, sayısal analizlerin başlangıcında tüm akım bölgesi boş olarak kabul edilmiş, giriş sınırında $F=1$, çıkış kesiti ve diğer bölgeler için $F=0$ başlangıç şartı alınmıştır. Şekil 4'te bu çalışmada sayısal analizlerde kullanılan ağ yapısı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katı sınırlara doğru sıklaştırmalar yapılmış ve sayısal analizlerde duvar fonksiyonu olarak Enhanced Wall Treatment kullanılmıştır (ANSYS, 2012). Bu fonksiyon, katı sınıra en yakın ağ yüksekliğinin viskoz alt tabaka içerisinde olduğu kabulüne dayanarak çözüm yapmaktadır. Kirkgöz ve Ardıçlıoğlu (1997), $y^+ (=u^*y/\nu)$ değerinin 10'dan küçük olduğu durumlar için, viskoz alt tabakadaki hız dağılımının lineer dağılıma uyduğunu rapor etmişlerdir (u^* : kayma hızı; y : yükseklik; ν :suyun kinematik viskozitesi). Bu kriter göz önünde bulundurularak, çözüm bölgesinde katı sınırlara doğru yapılan sıklaştırmalar neticesinde duvara yakın elemanların, $y^+ \leq 10$ olacak şekilde boyutsuz cidar mesafesi değerlerine sahip olmalarına dikkat edilmiştir. Şekil 5'te kanal boyunca sayısal modellemelerden elde edilen y^+ değerleri incelendiğinde tüm bölgelerde y^+ değerinin 10'un altında kaldığı görülmekte ve sıklaştırmaların yeterli olduğu sonucu anlaşılmaktadır. Tablo 2'de 10 farklı alt bölge için kullanılan eleman sayıları verilmiştir.



Şekil 3. Sayısal modellemede kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları



Şekil 4. Sayısal hesaplama ağı ve alt bölgeleri

Şekil 5. RNG türbülans modeli ile hesaplanan y^+ değerinin kanal tabanı boyunca değişimi

Tablo. 2. Hesaplama ağındaki eleman sayıları

Bölge	Eleman Sayısı	Bölge	Eleman Sayısı
I	500X150	VI	100X250
II	100X150	VII	100X50
III	100X150	VIII	100X50
IV	250X150	IX	100x250
V	500X250	X	250X250

3. Bulgular ve tartışmalar

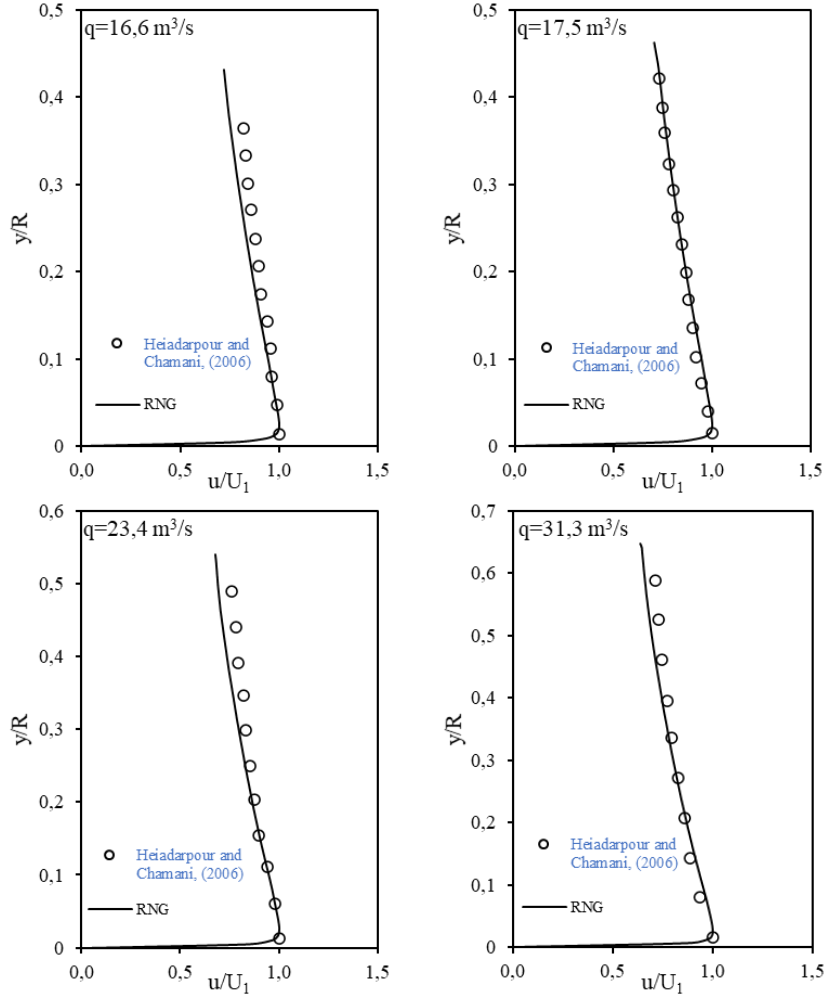
3.1. Deneysel ve sayısal hız profilleri

Bu çalışmada Heidarpour ve Chamani (2006)'nın silindirik savak üzerinden geçen akımın 4 farklı debi durumu için elde ettiği deneysel sonuçlar sayısal olarak modellenerek, elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte 8 farklı debi durumu için elde edilen debi katsayıları sayısal sonuçların doğrulanması için kullanılmıştır.

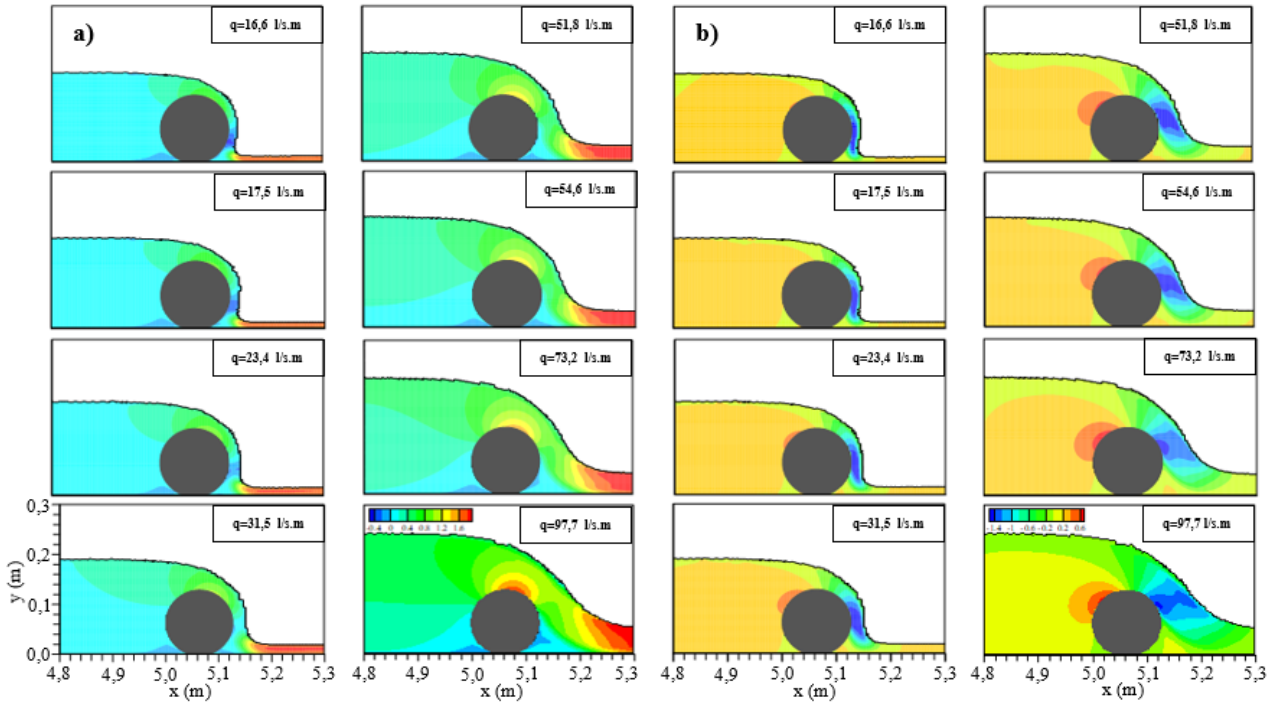
Şekil 6'da 4 farklı debi durumu için kret noktasında elde edilen deneysel hız profilleri RNG modeli ile elde edilen sayısal hız profilleri ile karşılaştırılmıştır. Şekillerde y eksenindeki su yüksekliği dairesel savağın kret yarıçapı R ile, x ekseninde verilen u hızları ise her debi için elde edilen giriş bölgesindeki kesit ortalama hızı U_1 ile boyutsuzlaştırılmıştır. RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile elde edilen sayısal boyutsuz hız profillerinin deneyle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte sayısal hız profilleri ile deneysel hız profillerinin katı sınıra yakın yani; hız gradyanının maksimum olduğu bölgede oldukça uyumlu olduğu buna bağlı olarak elde edilen ağı yapısının katı sınır bölgesinde yeterince sıkı olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen karşılaştırmalardan eğri yörüngeli akımları modellemede başarılı olduğu bilinen RNG türbülans modelinin silindirik savak akımını modellemede oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 7'de, 8 farklı akım durumu için sayısal modellemeden elde

edilen a) x doğrultusundaki yatay hız bileşeni, (u); b) y doğrultusundaki düşey hız bileşeni, (v) dağılımı verilmektedir. Şekiller incelendiğinde kret noktasından sonra akım eğriselliğinin debinin artması ile azaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak kretin hemen mansabında y doğrultusundaki hız bileşeninin hakimiyetinin debinin az olduğu bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir. X

doğrultusundaki yatay hız bileşeninin kretin hemen mansabında ve mansap bölgesinde maksimum değere ulaştığı, y doğrultusundaki düşey hız bileşeninin ise maksimum değerine savak kretinin hemen mansabında ulaştığı görülmektedir. Kretin hemen mansabında akım hızının negatif olmasına bağlı olarak negatif basınç gradyanının bu bölgede olduğu Şekil 12'den de görülmektedir.



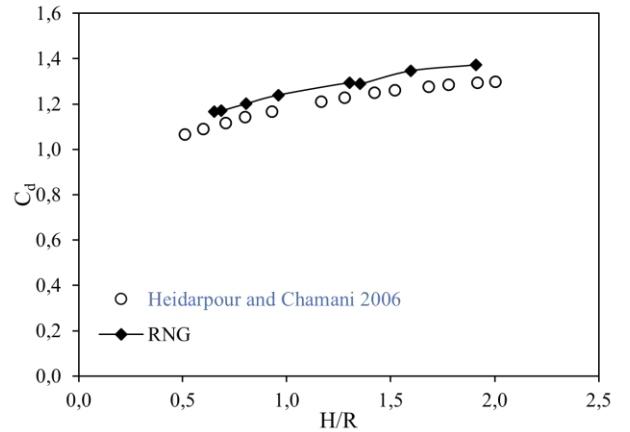
Şekil 6. Deneysel ve sayısal hız profilleri



Şekil 7. Sayısal hız dağılımları a) x doğrultusundaki yatay hız, u b) y doğrultusundaki düşey hız, v bileşeni

3.2. Deneysel ve sayısal debi katsayıları

Bu çalışmada Heidarpour ve Chamani (2006)'nın dairesel başlıklı savaklar ile ilgili deneysel çalışmaları RNG türbülans modeli ile sayısal olarak modellenmiştir. Bununla birlikte farklı debi koşulları için de sayısal modelleme yapılmış, bu modellemelerden elde edilen sayısal C_d değerleri literatürde bulunun deneysel debi katsayıları ile karşılaştırılması Şekil 8'de verilmiştir. Yapılan karşılaştırma neticesinde RNG türbülans modeli kullanılarak elde edilen debi katsayılarının deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla yapılan deneysel çalışmalara ilaveten hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılarak farklı akım ve yapı koşulları için debi katsayılarının güvenilir bir şekilde elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Şekil incelendiğinde RNG türbülans modeli ile elde edilen C_d debi katsayısı değerlerinin deneylere göre az da olsa fazla olduğu görülmüştür. Ancak RNG türbülans modeli ile toplam enerji yüksekliği kullanılarak Denklem (1) ile elde edilen sayısal C_d değerlerinin deneysel verilere oldukça yakın olduğu söylenilebilir. Bununla birlikte C_d değerinin H/R oranının artmasıyla artış gösterdiği görülmektedir.



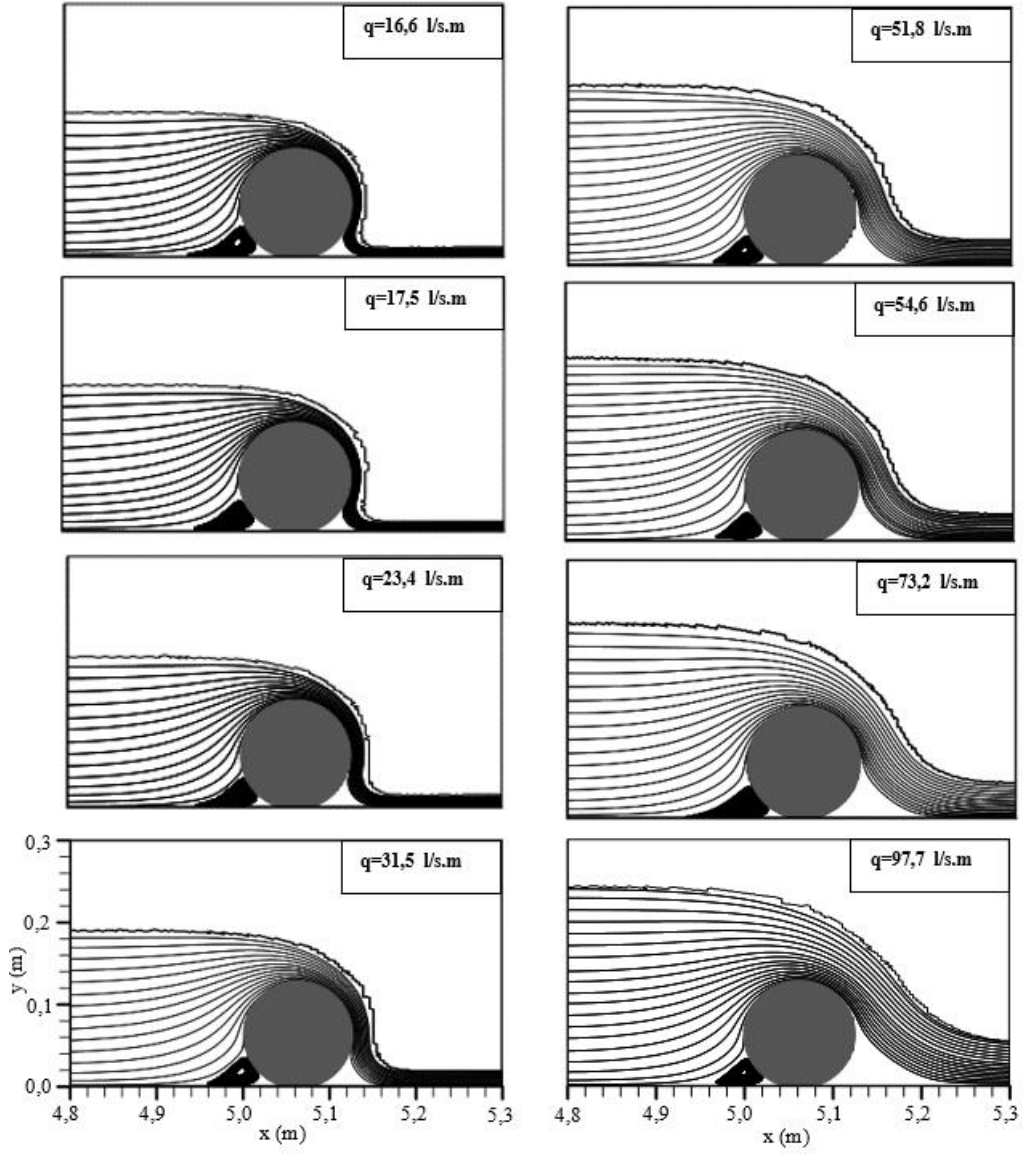
Şekil 8. C_d debi katsayısının spesifik toplam enerji yüksekliği(H/R) bağlı değişimi

3.3. Akım çizgileri ve hız vektörleri

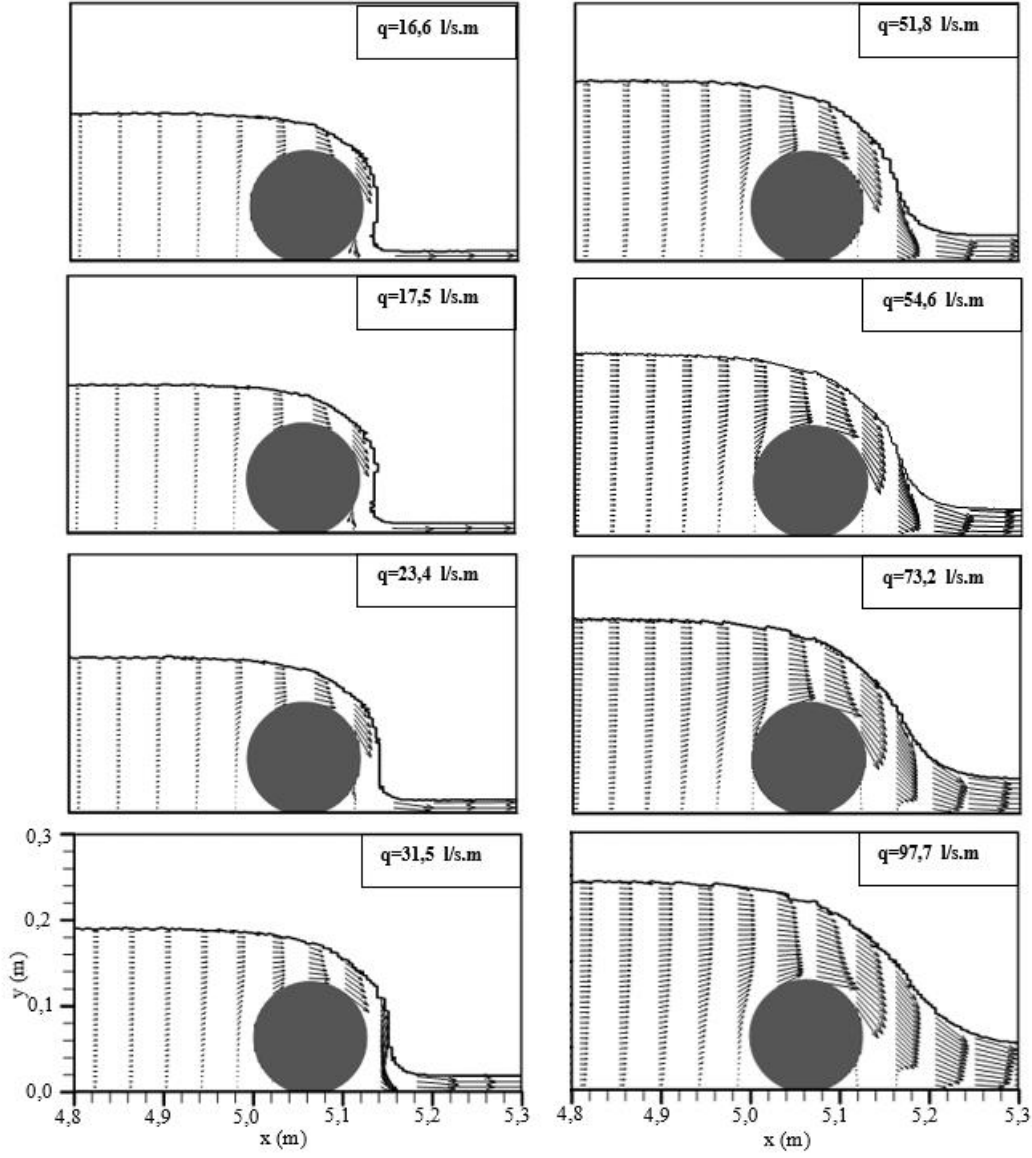
Şekil 9 ve 10'da, silindirik savak üzerinden geçen akımın RNG türbülans modeli ile 8 farklı debi durumu için sayısal hesaplama sonuçları neticesinde belirlenen akım çizgileri ve hız vektörleri görülmektedir. Daha düşük hızların görüldüğü memba bölgesinde akım kritik altı rejim biçimindedir. Akım yapı üzerinde kritik derinlikten geçerek mansap bölgesinde kritik üstü akım rejimine ulaşmaktadır. Akım rejimine bağlı olarak akım hızlarında bölgesel olarak meydana gelen artış ve azalmalar hız vektörlerinden açıkça görülmektedir. Savak etrafındaki akım çizgileri ve hız vektörleri incelendiğinde savağın hemen membasındaki ayrılma bölgesi, açıkça yer almakta, boyut ve şekil itibariyle benzer özellikler

göstermektedirler. Savaşın membasındaki ayrılma bölgesi debinin artması ile az da olsa artış göstermiştir. Bununla birlikte savaşın mansabında

oluşan ayrılma bölgesi debi değerinin artmasıyla birlikte belirgin bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 9. Sayısal akım çizgilerinin dağılımı

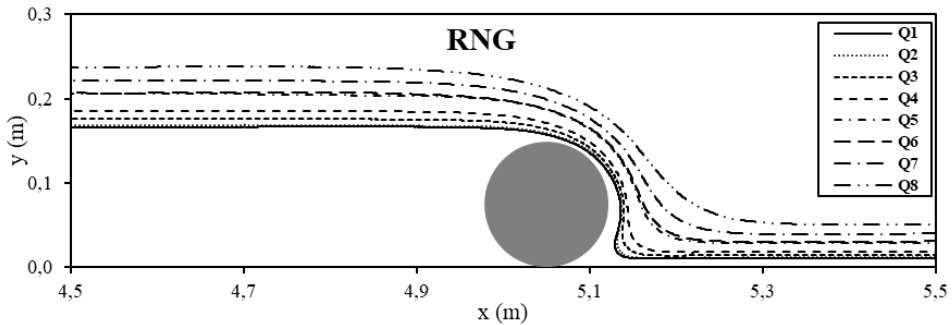


Şekil 10. Sayısal hız vektörleri

3.4. Sayısal su yüzü profilleri

Şekil 11’de, silindir savak üzerinden geçen 8 farklı akım koşulu için RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile sayısal modellemelerden hesaplanan su yüzü profilleri verilmiştir. Debinin artmasıyla birlikte savak membasında meydana gelen kabarmanın arttığı görülmektedir. Bu kabarmanın etkisiyle

savağın membasındaki eğriselliğin debinin artmasıyla artış gösterdiği ancak savağın mansap bölgesinde akım eğriselliğinin azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durum savak memba bölgesinde 2 boyutlu akım etkisinin görüldüğü bölgenin, debinin artmasıyla arttığı ve Şekil 7’den de görüldüğü gibi daha çok memba bölgesine kaydığını ifade eder.

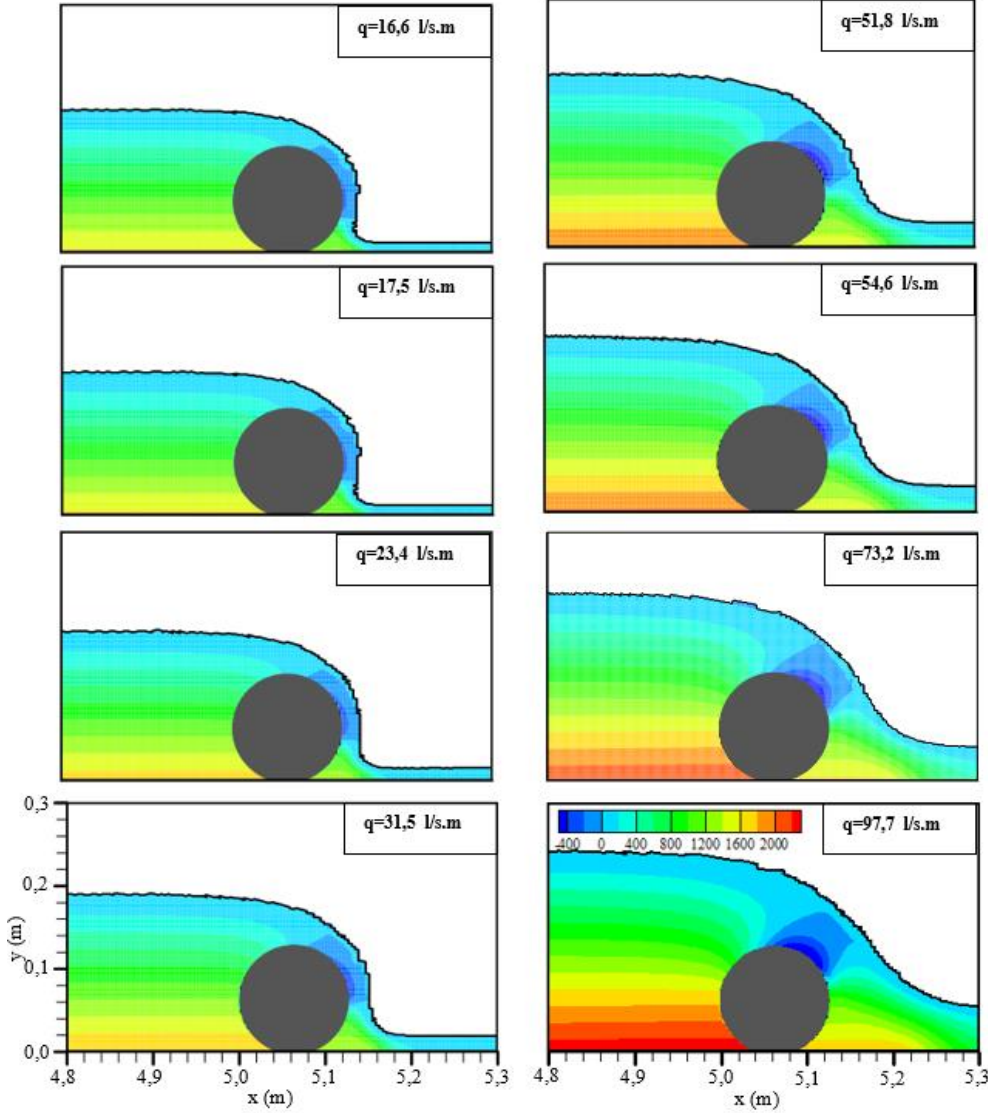


Şekil 11. Sayısal su yüzü profilleri

3.5. Sayısal basınç dağılımları

Şekil 12’de 8 farklı debi durumu için savak üzerinden geçen akımın RNG türbülans modeli ile sayısal olarak modellenmesi sonucu elde edilen sayısal basınç dağılımları görülmektedir. Basınç dağılımları incelendiğinde debinin artmasıyla birlikte kanal tabanda meydana gelen basınç değerinin arttığı görülmektedir. Savak kretinin

mansabında ise negatif basınç gradyanını oluşturduğu ve negatif basınç dağılımının görüldüğü bölgenin başlangıç ve bitiş noktasının debinin artmasıyla birlikte krete yaklaştığı görülmektedir. Bunun sebebinin akım çizgileri ve hız vektörlerinden de görüldüğü gibi savak mansabında oluşan eğri yörüngeli akım profilinin debinin artmasıyla yataylaştığı söylenebilir.



Şekil 12. Sayısal basınç dağılımı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada silindirik savak etrafındaki akımın yapısı sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Literatürden elde edilen deneysel bulgular aynı akım koşulları için ANSYS Fluent programı yardımıyla sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemelerde akımı idare eden temel denklemler RNG türbülans modeli ile hesaplanmış olup su yüzünün sayısal olarak belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yöntemi (VOF) kullanılmıştır. Elde edilen sayısal hız değerleri ve debi katsayıları

deneysel bulgularla karşılaştırılmış ve RNG $k-\epsilon$ modelinin dairesel savak etrafındaki akımı modellemede başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Sayısal bulguların deneylerle doğrulanmasından sonra farklı akım koşulları için ilave sayısal modellemeler gerçekleştirilmiş olup, 8 farklı debi durumu için sayısal hız dağılımları, akım çizgileri ve hız vektörlerinin topolojisi, savak etrafındaki basınç dağılımları verilmiştir. Akım debisinin artmasıyla beraber savak membasındaki ayrılmanın fazla değişmediği ancak mansap

bölgesinde ayrılma bölgesinin büyüklüğünün belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Savak kretinin hemen mansabında negatif basınç gradyanının oluştuğu ve debinin artmasıyla bu bölgenin başlangıç noktasının krete yaklaştığı görülmüştür. Ayrıca deneysel ve RNG modeli ile elde edilen debi katsayılarının gayet uyumlu olduğu ve debinin artmasıyla debi katsayısı C_d 'nin artış gösterdiği söylenebilir.

Kaynaklar

- Aköz, M. S., Şimşek, O. and Soydan, N. G. (2019). Numerical modeling of interaction of turbulent flow with a buried circular cylinder on a plane surface. *Teknik Dergi*, 30(6), 9621-9645. <https://doi.org/10.18400/tekderg.432310>
- Aköz, M. S., Gümüş, V. and Kırkgöz, M. S. (2014). Numerical simulation of flow over a semicylinder weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(6), 6, 04014016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000717](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000717)
- Ansys, (2012). *Fluent Theory Guide*. USA: ANSYS Inc.
- Bagheri, S. and Kabiri-Samani, A. (2020). Overflow characteristics of streamlined weirs based on model experimentation. *Flow Measurement and Instrumentation*, 73(1), 101720. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101720>.
- Bos, M. G. (1976). Discharge measurement structures. *Iri*, 161.
- Chanson, H. and Montes, J. S. (1998). Overflow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(3), 152-162. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1998\)124:3\(152\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1998)124:3(152)).
- Dönmez, S. ve Lekesiz, R. (2011). Silindirik savaklar için savak katsayısı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 85-90.
- Gümüş, V. ve Şimşek, O. (2015). Eğimli açık kanal akımının farklı türbülans modelleri ile sayısal modellemesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 41-54.
- Heidarpour, M. and Chamani, M. R. (2006). Velocity distribution over cylindrical weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 44(5), 708-711. <https://doi.org/10.1080/00221686.2006.9521719>
- Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (vof) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201-225.
- Kırkgöz, M. S. and Ardıçlıoğlu, M. (1997). Velocity profiles of developing and developed open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(12), 1099-1105. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1997\)123:12\(1099\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:12(1099)).
- Menter, F. R. (1994). 2-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598-1605.
- Rao, N. S. L. (1975). Theory of Weirs. In: *Advances in Hydrosience*, Elsevier, 309-406.
- Schmocker, L., Halldórsdóttir, B. R. and Hager, W. H. (2011). Effect of weir face angles on circular-crested weir flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(6), 637-643. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000346](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000346).
- Soydan, N. G., Aköz, M. S., Şimşek, O. ve Gümüş, V. (2012). Trapez kesitli geniş başlıklı savak akımının k-ε tabanlı türbülans modelleri ile sayısal modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 47-58.
- Soydan, N. G. (2019). Hidrofoil Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Şimşek, O., Aköz, M. S. and Soydan, N. G. (2016). Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir. *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, 16(6), 364-378. <https://doi.org/10.1504/PCFD.2016.080055>.
- Yakhot, V. and Orszag, S. A. (1986). Renormalization-group analysis of turbulence. *Physical Review Letters*, 57(14), 1722-1724.
- Yakhot, V. and Smith, L. M. (1992). The renormalization group, the ε-expansion and derivation of turbulence models. *Journal of Scientific Computing*, 7(1), 35-61. <https://doi.org/10.1007/BF01060210>.
- Yuce, M. I., Al-Babely, A. A. H. and Al-Dabbagh, M. A. (2015). Flow simulation over oblique cylindrical weirs. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(6), 389-407. <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0157>.
- Wilcox, D. C. (2006). *Turbulence Modeling for Cfd* (third edition). California: DCW Industries, Inc.

Eosen yaşlı Kışlaköy volkanitlerinin petrografisi, mineral kimyası ve kristallenme koşulları, Erzurum, KD Türkiye

Petrography, mineral chemistry and cristallization conditions of eocene aged Kışlaköy volcanics, Erzurum, NE Turkey

Emre AYDINÇAKIR^{*1,a}, Hande GÜNGÖR^{1,b}, Cem YÜCEL^{2,c}, Özgür BİLİCİ^{3,d}, Emel ABDİOĞLU YAZAR^{4,e}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

³Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25030, Erzurum

⁴Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 26.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 03.06.2021

Öz

Bu çalışmada Eosen yaşlı Kışlaköy (Narman/Erzurum) volkanik kayaların mineralojik, petrografik ve mineral kimyası analizleri incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda magmaların kristallenme esnasında etkili olan sıcaklık, basınç gibi fizikokimyasal özellikleri ile fizikokimyasal verileri jeolojik verilerle birleştirilerek bu kayaları oluşturan magmaların kabuktaki gelişimleri irdelenmiştir. Çalışma alanındaki başlıca birimler Eosen yaşlı Kışlaköy Volkaniti, Oligo-Miyosen yaşlı Oltu Formasyonu, Oligo-Miyosen yaşlı Alabalık Formasyonu ve Alüvyonlardan oluşmaktadır. Kışlaköy volkanik kayaları volkanik fasiyes özelliklerine göre piroklastitler, dayklar ve lavlar olmak üzere üç başlıkta incelenmiş, genellikle bazalt bileşiminde ve başlıca plajiyoklaz (An_{49-85}), klinopiroksen ($Wo_{40-46} En_{41-50} Fs_{5-18}$), olivin (Fo_{68-75}) ve Fe-Ti oksit minerallerden oluşmaktadır. Bu kayalar genel olarak hyalo-mikrolitik porfirik, glomeroporfirik, glomerofirik, mikrolitik porfirik, poikilitik, intersertal doku sergilemektedirler. İncelenen volkanitler; plajiyoklaz fenokristallerinde halkalı zonlanma, elek dokusu ve kemirilme; klinopiroksenlerdeki yenme, kemirilme ve kalıntı merkezler gibi dengesizlik dokuları gözlenmiştir. Termobarometre hesaplamalara göre volkaniklerin kristallenme sıcaklığı 489-1247 °C arasında, basınç 0.5-4.7 kbar arasında değişmekte olup, bütün bu verilere bakılarak incelenen volkanik kayaların orta-sığ kıtasal kabuk (~4-12 km) içerisinde yerleştiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Jeotermobarometre, Kışlaköy volkaniti, Mineral kimyası, Narman, Petrografi

Abstract

This study was examined mineralogical, petrographic and mineral chemistry analyzes of Eocene aged Kışlaköy volcanic rocks (Narman / Erzurum). The data obtained suggest that the physicochemical properties of the magmas such as temperature, pressure, which are effective during crystallization, and physicochemical data were combined with geological data, and the development of the magmas forming these rocks in the crust was examined. The main units in the study area are Eocene aged Kışlaköy Volcanite, Oligo-Miocene aged Oltu Formation, Oligo-Miocene Trout Formation and Alluviums. Kışlaköy volcanic rocks have been examined under three headings as pyroclastics, dykes and lavas according to their volcanic facies characteristics, have compositionally basalt and mainly consist of plagioclase (An_{49-85}), clinopyroxene ($Wo_{40-46} En_{41-50} Fs_{5-18}$), olivine (Fo_{68-75}) and Fe-Ti oxide. These minerals generally exhibit hyalomicrolytic porphyritic, glomera porphyritic, cumulative porphyritic, microlitic porphyritic, poikilitic, intersertal textures. The studied volcanics rocks, disequilibrium texture are observed such as oscillatory zoning, sieve texture and corrosion in plagioclase phenocrysts, zoning, resorbed cores and mantles, rounded crytals, and embayed rims in clinopyroxenes. According to thermobarometric calculations, volcanics have crystallization temperature and pressure values ranging from 489 to 1247 °C, 0.5 to 4.7 kbar respectively. It can be concluded that the studied volcanics were emplaced at mid to shallow crustal depths (~4-12 km).

Keywords: Geothermobarometry, Kışlaköy volcanite, Mineral chemistry, Narman, Petrography

*a Emre AYDINÇAKIR; aydincakir61@gmail.com, Tel: (0462) 233 10 00, orcid.org/0000-0001-8704-8485

^b orcid.org/0000-0003-4531-2019

^c orcid.org/0000-0001-7220-9397

^d orcid.org/0000-0002-8810-9662

^e orcid.org/0000-0001-5196-8060

1. Giriş

Alpin-Himalaya orojenik kuşağında yer alan Doğu Pontidler (KD Türkiye), volkanik ve plütonik kayaların yaygın olarak gözlemlendiği önemli alanlardan biridir. Doğu Pontidler, Jura, Kretase ve Eosen olmak üzere başlıca üç farklı zaman periyodunda gelişen volkanik kayalar tarafından temsil edilmektedir (Arslan vd., 1997; Şen, 2007; Aydın vd., 2008; Kaygusuz vd., 2011; Arslan vd., 2013; Aydınçakır ve Şen, 2013; Yücel vd., 2017; Dokuz vd., 2019; Aydın vd., 2020; Aydınçakır vd., 2020). Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontid Orojenik Kuşağı (KD Türkiye), Türkiye'nin jeolojik olarak şekillenmesinde önemli bir rol oynayan Alp-Himalaya orojenezinin etkisi ile oluşmuş olup farklı türde magmatik kayaları içermesi bakımından önemli bir alan konumundadır. Karadeniz havzasının güneydoğu kıyısı boyunca yaklaşık 500 km uzunluğunda ve 100 km genişliğinde bir orojenik kuşağı meydana getiren bu bölge, Geç Mesozoyik sırasında kuzeye yiten okyanusal litosfer üzerinde gelişmiş ve iyi korunmuş bir ada yayı olarak bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Çalışma alanı ve çevresinde yapılan önceki çalışmalarda detay genel jeoloji, tüm kayacın jeokimyası ile sınırlı sayıda izotopik çalışmalar yapılmıştır (Bayrakturan, 1994; Keskin, 1994; Keskin vd., 1998; Konak, 2001). Ancak, volkanik kayaların mineraloji ve mineral kimyası kullanarak irdeleyen çalışmalar jeotermobarometrik hesaplamalar magmatik kayacın oluşturan ergiyiğin jeokimyasal özellikleri ile evrimleşme süreç ve koşulları, kayacı oluşturan mineral toplulukları ve minerallerin kimyasal içerikleri ile yakından ilgilidir (Abbott, 1985).

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan Kışlaköy (Narman-Erzurum) çevresinde yüzeyleme veren ve önceki çalışmalarda yaş Eosen kabul edilen Kışlaköy volkanik kayaların mineralojik, petrografik ve mineral kimyası analizleri incelenmiştir. Bu çalışma ile Kışlaköy (Narman) yöresinde gözlenen volkanik kayaların detaylı petrografisi ve mineral kimyası analizleri sonuçlarına göre, volkanik kayaları oluşturan magmanın kristallenme koşulları, bölgesel jeoloji ile beraber yorumlanarak kayaları oluşturan magmaların kabuktaki gelişim süreçlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Erzurum-H47-b3 H48-a4 pafta sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bunun yanında volkanitlerin yerleşim koşullarına yönelik bir çalışmanın yapılmaması bu çalışmanın önceki çalışmalardan en önemli farkıdır.

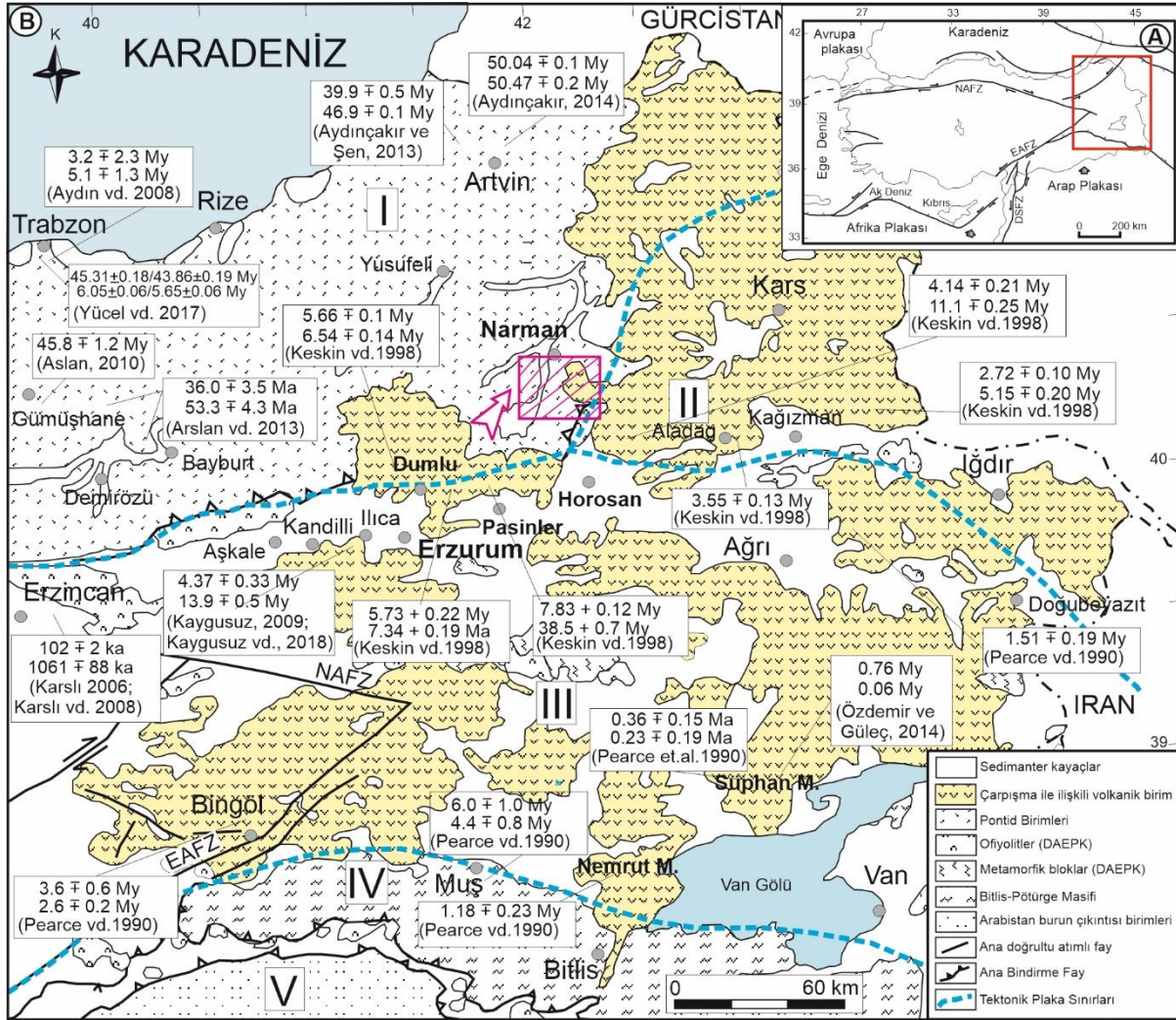
2. Bölgesel jeoloji

Doğu Anadolu Bölgesi, çarpışmayla ilişkili volkanizmanın dünyada en iyi görüldüğü alanlardan biri olması ve bölgenin kuzeydoğusunda yer alan Erzurum-Kars platosu çarpışma kökenli volkanik aktivitenin yaygın gözlemlendiği alan olması nedeniyle birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir.

Bölgede genel jeoloji, tektonik ve volkanizma konularında pek çok çalışma yapılmıştır (Lambert vd., 1974; Innocenti vd., 1976, 1982; Gülen, 1980a, b; Şengör, 1980; Şaroğlu ve Güner, 1981; Yılmaz vd., 1987; Pearce vd., 1990; Ercan vd., 1990; Keskin, 1994, 2003, 2007; Keskin vd., 1998, 2006, 2008; Şengör vd. 2003; Özdemir vd., 2006, 2011, 2014; Oyan vd., 2016). Anadolu ve Arap levhaları arasında meydana gelen çarpışma Kuzey ve Doğu Anadolu Fayları ile Anadolu bloğunun yanal olarak magmatizma üretmesine sebep olmuştur. Çarpışma sonucu oluşan volkanizma ürünleri bazalttan riyolite kadar farklı bileşimde kayaların oluşumuna imkân sağlamıştır. Bununla birlikte bu çarpışma sonucunda doğu ve güneydoğu Türkiye de kalk-alkali ve alkali volkanizma gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Innocenti vd., 1982; Dewey vd., 1986; Pearce vd., 1990; Buket ve Temel, 1998; Güleç, 1991; Keskin vd., 1998, 2006; Karlı vd., 2008; Kürüm vd., 2008; Kaygusuz, 2009; Keskin vd., 2006; 2012; Aydınçakır ve Şen, 2013; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014; Özdemir ve Güleç, 2014; Lebedev vd., 2016a, 2016b; Yücel vd., 2017; Kaygusuz vd., 2018). Bölgedeki volkanikler üzerine yapılan çalışmalarda (Ercan vd., 1990; Pearce vd., 1990; Keskin, 1994, 2007; Notsu vd., 1995; Keskin vd., 2006; Lustrino vd., 2012; Lebedev vd., 2013; Özdemir ve Güleç, 2014) yaygın volkanizmanın Anadolu ve Arap levhaları arasında meydana gelen bir çarpışma ile oluştuğu düşünülmektedir (Şengör vd., 2003) (Şekil 1A). Doğu Anadolu Platosu coğrafik olarak, Orta Anadolu ile Orta İran arasında yerleşmiş ve kuzey de Doğu Pontid Yay ve güneyde de Arap Platformu arasında uzanmaktadır. Doğu Anadolu da yer alan bölge, dört ana tektonik bloğa ayrılmıştır (Şengör vd., 2003) (Şekil 1B). (1) Doğu Pontid yay magmatik kayaları ve onlarla ilişkili sedimanter kayalar tarafından temsil edilen Pontid temel kayaları (Okay ve Şahintürk, 1997; Aydın vd., 2008; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Aslan, 2010; Dilek vd., 2010; Arslan vd., 2013; Aydınçakır ve Şen, 2013; Aslan vd., 2014; Aydınçakır, 2014; Şengör ve Yılmaz, 1981; Aydınçakır, 2016; Yücel vd., 2017; Sipahi vd. 2018; Kaygusuz vd., 2021); (2) Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı (Üst Kretase

yada daha genç yaşlı ofiyolitik melanj ve filişik kayaçlar, Şengör vd., 2003), (3) Anadolu temeli (yüksek-orta dereceli kabuksal metamorfik kayaçlar, Şengör vd., 2003), (4) Doğu Anadolu yığışım kompleksi ve Anadolu temeline ait olan Neojen yaşlı sedimanter ve volkanik kayaçlar (Şekil 1A, B). Arap ve Anadolu kıtaları arasındaki çarpışmanın yaşı hakkında hala bir görüşbirliği yoktur. Çarpışma, bölgede yoğun sisimik aktiviteye, doğrultu atımlı faylara (Doğu ve Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonları) ve yaygın bir volkanizmaya sebep olmuştur (Özdemir ve Güleç, 2014). Çarpışmanın yaşı, Geç Kretase den (Hall, 1976), Geç Eosen-Oligosen (35-25 My; Jolivet ve Faccenna, 2000; Agard vd., 2005; Allen ve Armstrong, 2008), ve Miyosen'e kadardır (Şengör vd., 2008; Dewey vd., 1986; Yılmaz, 1993; Robertson vd., 2007). Son zamanlarda, Okay vd. (2010), Bitlis-Zagros Sütür Zonu'ndaki Eosen yaşlı kumtaşları ve metamorfik kayaçlardan yapılan apatit fusion track yaşlarına dayanarak

Arap ve Avrupa plakalarının arasındaki son okyanusal litosferin Erken Miyosende (~ 20 My) tükendiğini savunmuşlardır. Doğu Anadolu Platosu, Geç Kretase – Erken Tersiyer döneminde birçok mikro-kıtaların birbirine eklenmesi sonucu oluşmuştur (Şengör, 1990). Bu mikro-kıtalar ofiyolit kuşakları ve yığışım karmaşık komplekleri tarafından ayrılabilirler. Temel kayaçlar, Geç Senozoyik çarpışma ile ilişkili volkanik kayaçlar ve Oligosen-Miyosen yaşlı sığ denizel sedimanlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedirler. Çarpışma sonrası volkanizma ürünleri, kuzeyde Erzurum-Kars Platosu, güneyde ise Arap kıtasına büyük kalkan volkanları (Tendürek, Karacadağ) ve strato-volkanlar (Ağrı, Nemrut, Süphan, Etrüks) şeklinde yayılır (Yılmaz vd., 1987, 1998; Pearce vd., 1990; Notsu vd., 1995; Keskin vd., 1998; Keskin, 2003, 2007; Karaoğlu vd., 2005; Özdemir vd., 2006, 2011; Özdemir ve Güleç, 2014; Oyan vd., 2016; Lustrino vd., 2012; Lebedev vd., 2016a,b).



Şekil 1. A) Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Şengör vd. 2003), B) Doğu Anadolu Bölgesinde çarpışma ile ilişkili volkanik kayaçların ayrımı. I: Rodop-Pontid parçası, II: Kuzeybatı İran parçası, III: Doğu Anadolu Yığışım Karmaşığı, IV: Bitlis-Pötürge Masifi, V: Arabistan burnu.

Bu çalışma ile Eosen yaşlı Kışlaköy Volkanitlerinin ilk defa detaylı petrografik ve mineral kimyası verileri irdelenerek; 1) magma (lar)ın kristallenme sırasında etkili olan sıcaklık ve basınç gibi fizikokimyasal özellikleri, 2) fizikokimyasal verileri jeolojik veriler ile birleştirerek bu kayaları oluşturan magma (lar) ın kabuktaki gelişimlerinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Arazi çalışması Erzurum İli, Narman İlçesi, Kışlaköy ve civarındaki Kilimli, Serinsu ve Pınaryolu köylerini kapsamaktadır. Saha çalışmaları sırasında, inceleme alanındaki çalışma konusunu oluşturan volkanik kayalardan ve bu kayalarla ilişkili olan çevre kayalar dan GPS aleti kullanılarak tam lokasyon ile sistematik kayaç örnekleri alınmış ve önemli görülen yüzlekler fotoğraflanarak belgelenmiştir. Yapılan tüm bu arazi çalışmalardan elde edilen veriler ışığında bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Çalışma alanından alınan volkanik kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik özelliklerinin tespit edilmesi için ince kesitleri hazırlanmıştır. İnceleme için kayalardan alınan 0.5x2x4 cm boyutunda plakacıklar, bir yüzeylerinin pürüzlülüğü giderildikten sonra 1mm kalınlığındaki 2.5x5 cm boyundaki cam üzerine kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan kayaç, aşındırıcılar yardımıyla 0,025 mm kalınlığına kadar inceltilerek petrografik incelemek için hazır hale getirilmiştir. İnce kesit örnekleri Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında yapılmıştır.

Kışlaköy volkanik kayalarına ait olan 4 adet kayaç örneğinin mineral kimyası analizleri plajiyoklaz, klinopiroksen, olivin ve opak minerallerden yapılmıştır. Mikroprob analizleri, Universite de Bretagne Occidentale (Brest, Fransa) Geoscience Marines (IFREMER) Elektron Mikroprob Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karbon kaplı parlak kesitler üzerindeki mineral kimyası çalışmaları, CAMECA-SX-100 WDS marka bir elektron mikroprob aleti ile gerçekleştirilmiştir. Aletin çalışma şartları 15 kV voltaj ve 20 nA'dır. Analizler 10 µm'lik bir ışın çapında yapılmış ve Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na ve K elementleri için sayılma zamanı 10 sn olarak belirlenmiştir. 1 µm'lik bir nokta ışını piroksen, hornblend ve Fe-Ti

oksit analizleri için kullanılmıştır. Feldispat ve mika analizlerinde sodyum buharlaşması nedeniyle oluşacak kayıpları önlemek için çok hafif defokuslanmış (10 µm) ışın kullanılmıştır. Analizlerdeki doğal mineral standartları forsterit, diyopsit, ortoklas, albit, anortit, biyotit, apatit, vollastonit ve magnetittir. Analitik hata ana elementler için %1'den ve iz elementler için ise 200 ppm den daha azdır.

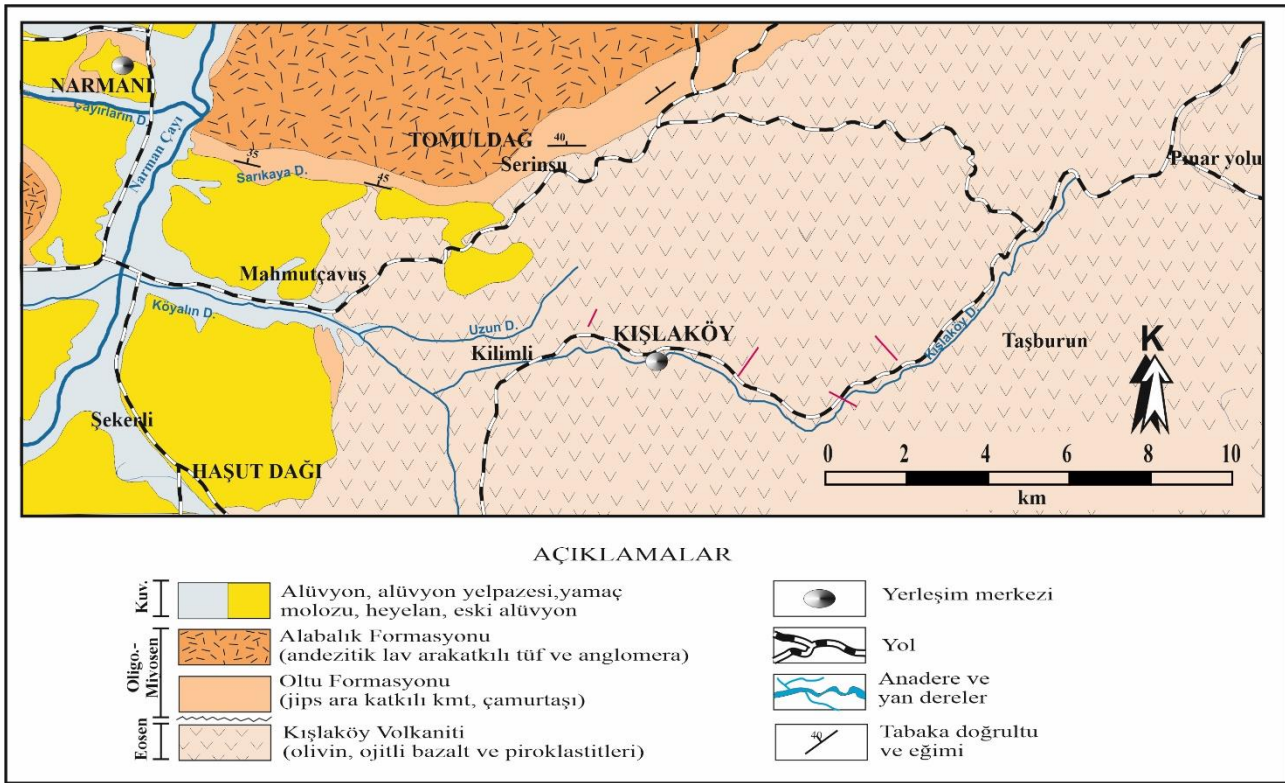
Volkanik kayalara ait 4 adet örneğin ana ve iz element analizleri ACME analitik laboratuvarında (Kanada) yapılmıştır. Ana oksit ve iz elementler ICP, nadir toprak elementler ise ICP-MS ile analiz yöntemi ile incelenmiş olup, toz örneklerden 0.2 g alınarak 1.5 g LiBO₂ ile karıştırılmış, %5 HNO₃ içeren bir sıvı içinde çözündürülmüştür. Toz örneklerden 0.250 g dört farklı asit içinde çözündürülmüş ve ppm olarak nadir toprak element analizleri gerçekleştirilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz elementler ppm olarak ölçülmüş olup veriler uygun bir şekilde düzenlenmiştir.

3. Bulgular

3.1. Stratigrafi

Doğu Anadolu Bölgesinde, Kışlaköy (Narman, Erzurum) yöresinde yer alan çalışma sahasındaki birimlerin temelini bazalt, andezit ve piroklastitlerden oluşan Eosen yaşlı Kışlaköy Volkanitleri (Konak vd., 2001) oluşturur (Şekil 2). Bu birim, Oligo-Miyosen yaşlı beyaz renkli gips ve kireçtaşı ara katmanları ile kömür damarları içeren, sarı-kırmızı-yeşil renkli, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan Oltu Formasyonu (Konak vd., 2001) tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Oltu Formasyonu üzerine uyumlu olarak yine aynı yaşlı lav, aglomera, sarı-yeşil renkli tüf ve epiklastik seviyelerden oluşan Alabalık Formasyonu (Konak vd., 2001) gelmektedir (Şekil 2). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar en genç birimdir.

İlk kez Konak vd. (2001) tarafından tanımlanan Kışlaköy Volkanitinin inceleme alanı başlıca, Narman ilçesinin doğusunda Kışlaköy ve çevresinde, Pınaryolu köyünün batısında, Mahmutçavuş köyü ile Haşut dağının doğusunda ve Güvenlik köyünün güneyinde, Kilimli ve Taşburun köylerini de kapsayan bir alanda yüzeyleme vermektedir (Şekil 2). Keskin vd., (1998) tarafından birimin yaşının K/Ar yöntemi ile Eosen (38.5 ± 0.7 My) olarak verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası.

3.2. Petrografi

Kışlaköy Volkaniti olarak tanımlanan birim içerisinde yüzeyleme veren volkanik kayalar volkanik fasiyes özelliklerine göre, 1) Piroklastitler, 2) Bazaltik Dayklar ve 3) Bazaltlar olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir.

3.2.1. Piroklastitler

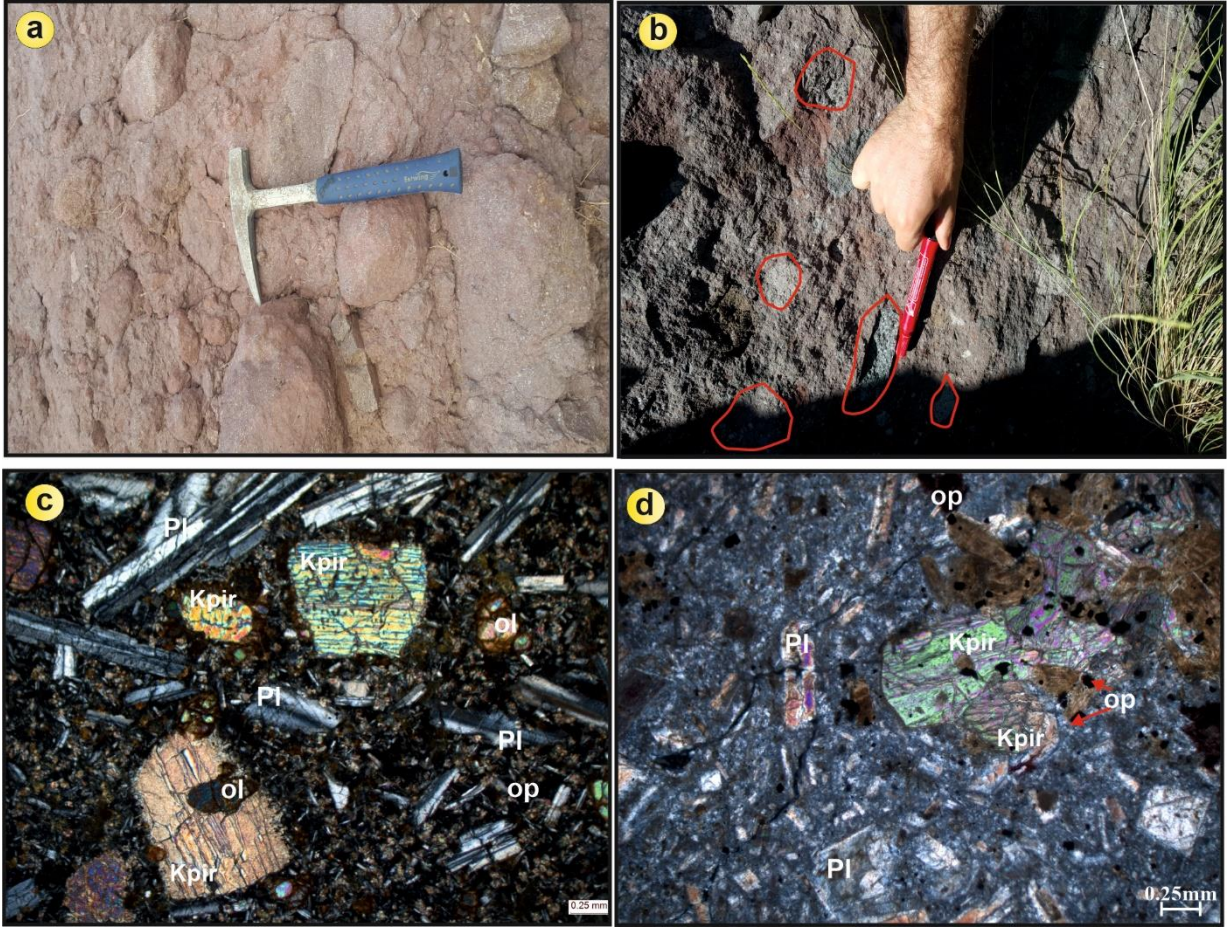
Piroklastik kayaların büyük çoğunluğu piroklastik breş olmakla beraber yer yer küçük lokasyonlarda aglomeralar da gözlenmektedir. Çapları, 2 cm'den blok boyutuna kadar değişen köşeli kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kayaç içerisindeki breş çakıllarının bağlayıcısı genelde tuf olup, breş çakıllarının oranı yaklaşık olarak % 70'e kadar ulaşmaktadır (Şekil 3a, b). Taze kırık yüzeyi koyu gri-siyah renktedir. Bol miktarda mafik mineral fenokristalleri içermektedirler.

Bazaltik Volkanik Breşler; genellikle hyalo-mikrolitik porfirik, glomeroporfirik doku göstermektedirler. Petrografik bileşimi pl + kpir + ol + opak mineral şeklindedir (Şekil 3c, d). Plajiyoklazlar, genellikle özsekilli fenokristaller halinde ve hamurda mikro taneler halinde görülür. Tek nikelde renksiz, polarizan rengi gri olup albit ikizi sunmaktadır. Merkez kısımlarda süngerimsi

doku gelişmiştir. Nadiren zonlanma gösterirler (Şekil 3c, d). Klinopiroksenler, öz ve yarı öz şekilli fenokristaller halinde görülürler. Tek nikelde renksiz ya da çok açık yeşil, çapraz nikelde II. sıranın canlı renklerinde ve zonlanmalar görülür. Genellikle opak ve olivin kapanımları içerirler. Bazıları ise kırıkları ve kenarları boyunca kloritleşme gösterirler (Şekil 3c, d). Olivinler genellikle iddingsitleşmiş olivine olarak hamurda ve klinopiroksenler içerisinde kapanım olarak bulunurlar (Şekil 3c). Opak mineraller, genellikle hamurda mikro taneler halinde ve klinopiroksenler içerisinde kapanımlar halinde göze çarpmaktadırlar. İkincil mineral olarak ise ferromagnezyen minerallerden itibaren kloritleşme göze çarpmaktadır.

3.2.2. Bazaltik dayklar

Çalışma alanında hemem hemen her yerde yüzeyleme veren bazaltik dayklar, bazalt ve piroklastları kesmiştir (Şekil 4a). Daykların çoğu taze bir görünüme sahip olup, ayrışma yüzeyleri genelde açık kahve-bej, taze kırık yüzeyleri ise koyu gri-siyah renktedir. Dayklar özellikle masif yapı sunarlar ve doğrultuları genellikle KD-GB olarak belirlenmiştir. Daykların genişlikleri 30 cm'den 2-3 m'ye kadar değişmektedir (Şekil 4b).



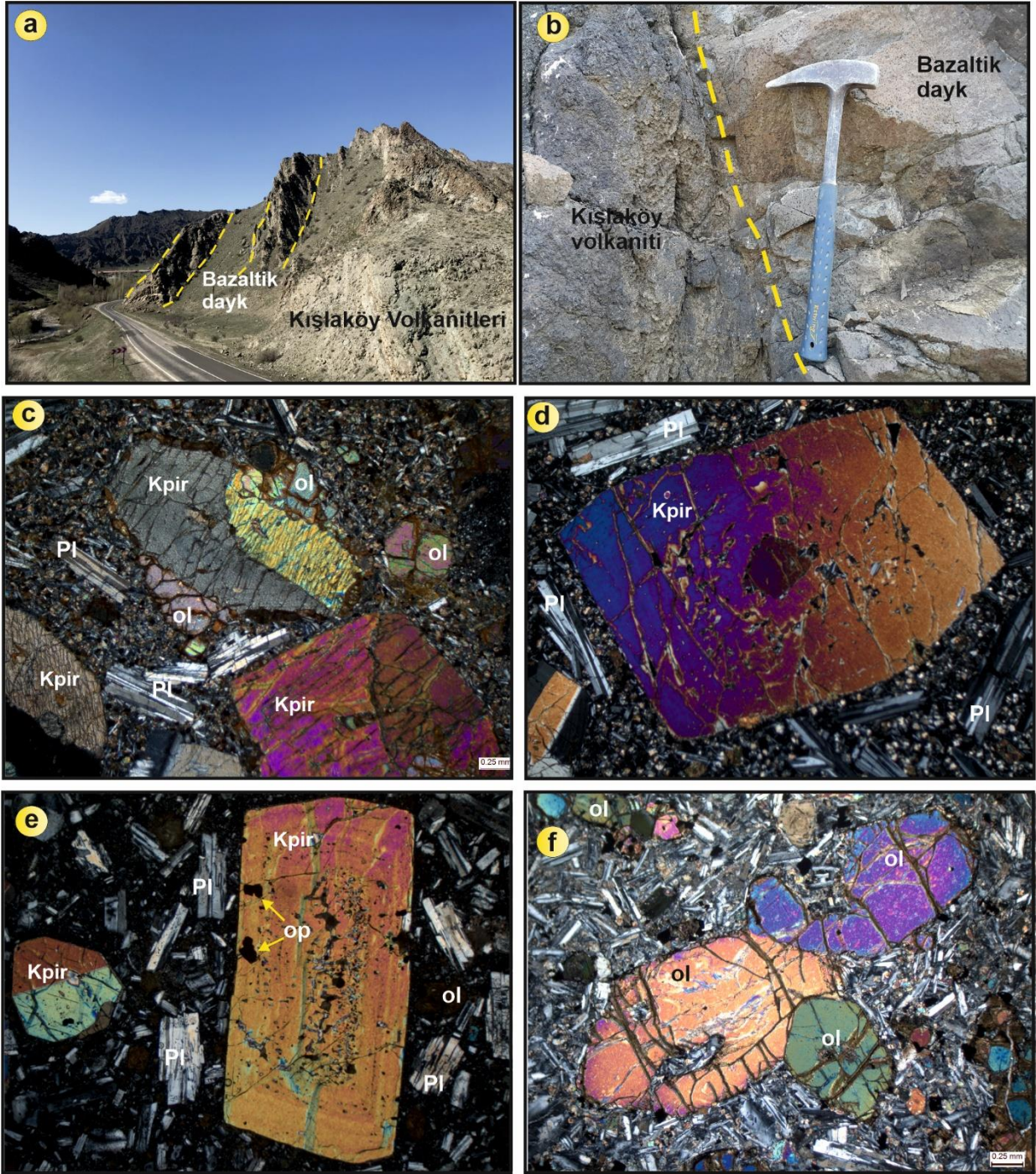
Şekil 3. (a, b) Kışlaköy Volkaniti içerisinde yer alan volkanik breşlerin görünümü (Kilimli köyü civarı), (c ve d) Bazaltik bileşimli volkanik breş çakıllarının mikroskobik görünümü. (Örnek No: N-22) (Ç.N.; Kpir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklaz, ol: olivin, op: Opak mineral).

Bazaltik daykları oluşturan kayaçların petrografik bileşimleri, kpir + ol + plj + opak mineral şeklindedir. Bunlar genellikle mikrolitik porfirik, poikilitik, intersertal ve yer yer glomerofirik (Şekil 4c-f) dokular sergilerler. Klinopiroksenler genellikle özşekilli den özşekilsiz kadar değişir. Genelde mega ve fenokristaller halinde gözlenen klinopiroksenler, hamurda ise öz şekilsiz mikro taneler halinde bulunur. Bu kristaller hamur tarafından yenme, elek dokusu, kalıntı merkezler gösterirken çoğunlukla opak ve olivin kapanımları içerirler (Şekil 4c-f). Olivinler, genellikle özşekilli ve yarı özşekilli olarak bulunur. Tek nikelde renksiz, çapraz nikelde II. ve III. serinin canlı renklerindeirler (Şekil 4c). Kısmen ve tamamen kırık ve kenarları boyunca iddingisitleşmişlerdir (Şekil 4f). Bazen klinopiroksenler içerisinde kapanım olarak gözlemlenen olivinler bazen de klinopiroksenlerle beraber kümülofrik dokuyu oluştururlar (Şekil 4f). Plajiyoklazlar, genellikle özşekilli fenokristaller ve mikro fenokristaller halinde bulunur. Tipik olarak albit ikizi gösterirler. Yer yer kırılmalar gözlemlenir. Bazı mikro fenokristallerde hafif zonlanmalar göze çarpar (Şekil 4e, f). Opak mineraller, genellikle yarı

özşekilli ve özşekilsiz kristaller halinde ferromagnezyen minerallerin çevresinde, klinopiroksenler içerisinde kapanım olarak ve hamurda mikro taneler halinde yer alırlar (Şekil 4). İkincil mineraller, genellikle boşluk dolgusu şeklinde gelişen zeolit mineralleri ve ferromagnezyen minerallerden itibaren gelişen kloritlerdir.

3.2.3. Bazaltlar

Kışlaköy Volkanitlerini oluşturan kayaçlar arasında yayılımı en geniş olan birimdir. Özellikle Narman ile Kışlaköy civarında masif yapılı bazaltlardan oluşmaktadır (Şekil 5a). Çalışma alanında özellikle tortul bir istif olan Olu Formasyonu üzerine gelen arazide oldukça sarp kısımları temsil eder. Masif yapılı bazaltlar makroskobik olarak porfirik dokulu olup, iri ojit ve plajiyoklaz fenokristalleri rahatlıkla tanınabilmektedir (Şekil 5b). Bol gaz boşlukludur ve bu boşluklar karbonat ve silis ile dolmuştur. Bazaltlar, genellikle siyah-mor renkli ve kalın bazalt düzeylerinden oluşmaktadır.



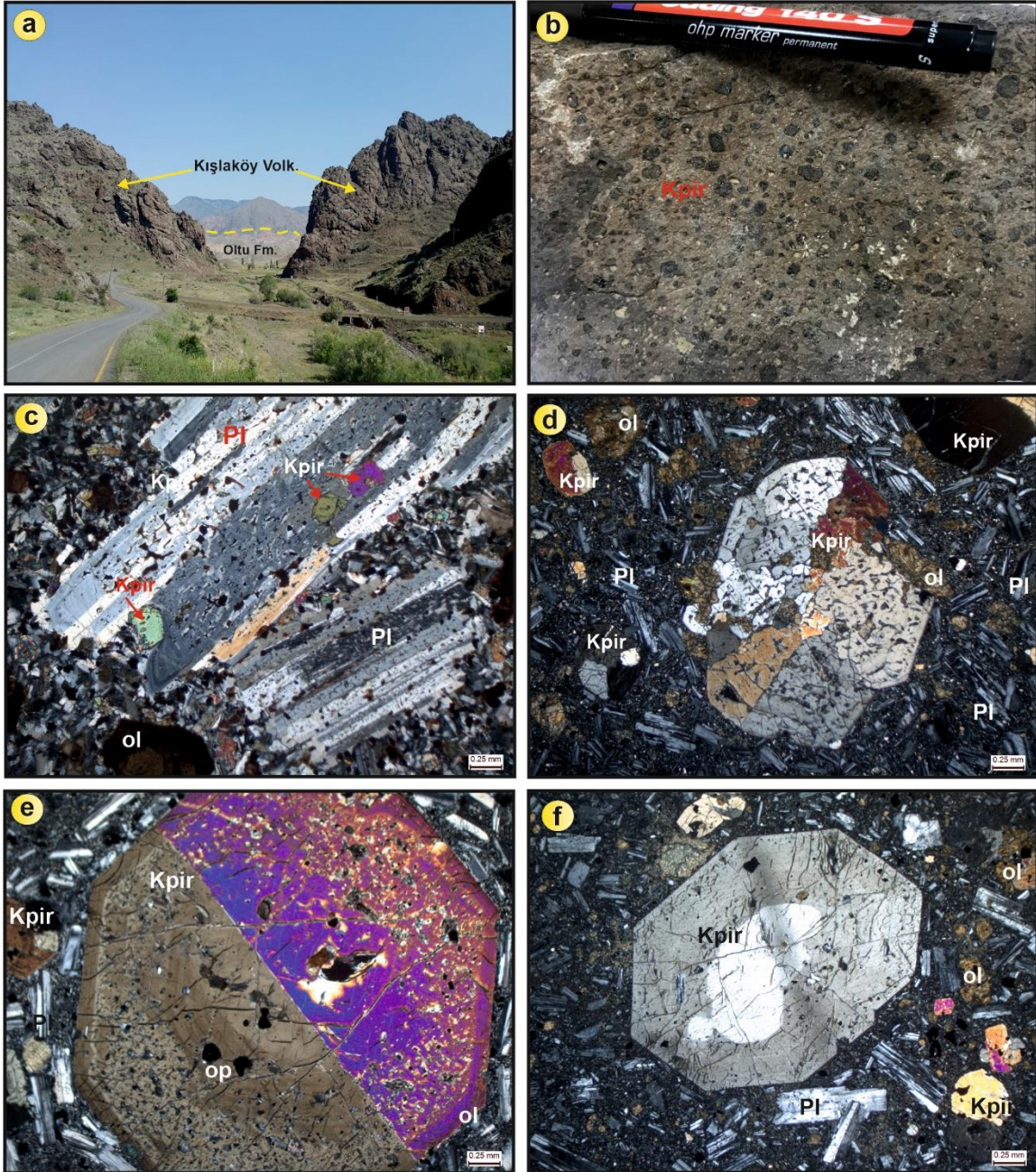
Şekil 4. Bazaltik daykların arazi görünüşleri, a, b) Kilimli mevkiinde Kışlaköy volkanitini KD-GB istikametinde kesen bazaltik dayklar (Örnek No: N-5), (c,d) bazaltik dayklar içerisindeki kenarları yenmiş, kalıntı merkez içeren klinopiroksen ve öz şekilsiz olivin mineralleri (ÇN), e) zonlanma ve elek dokusu gösteren klinopiroksen minerali (ÇN), f) öz şekilli olivin fenokristalleri ve glomerofirik doku (ÇN), (Örnek No: N-5, N-8 ve N-33; kpir: klinopiroksen, ol: olivin, pl: plajiyoklaz, op: opak mineral).

Bazaltları oluşturan kayaçların petrografik bileşimleri, kpir + plj + ol + opak mineral şeklindedir. Bunlar genellikle mikrolitik porfirik, hyalo- mikrolitik porfirik, elek dokusu ve glomerofirik (Şekil 5c-f) dokular sergilerler. Klinopiroksen mineralleri çoğunlukla megakristal ve fenokristal olarak gözlenmektedir (Şekil 5d-f). Hamurda ise mikrolitler halinde bulunmaktadır. Klinopiroksenler özşekilli ve yarı özşekillidir ve

dik iki yönlü dilinim sistemine sahiptir. Tek nikelde açık yeşil; çapraz nikelde mavi, sarı, kırmızı renkte gözlenirler. Sönme açıları 35°-39° arasında değişmektedir. Bol olarak plajiyoklaz, opak mineral ve olivin kapanımları içermektedir. Klinopiroksenlerde zonlanma yaygın olarak görülmektedir. (Şekil 5e). Ayrıca, bazı klinopiroksenler hamur tarafından yenmiş ve kaba elek dokusu gösterirler (Şekil 5d). Çoğu

klinopiroksen ve opak mineralin bir araya gelmesiyle glomerofirik doku oluşturdukları gözlenmiştir. Klinopiroksenler, bol çatlaklı ve kırıklı olup, kırıkları boyunca kalsitlemişlerdir. Alterasyona uğramış olanlarında kloritleşme gözlenmektedir. Plajiyoklazlar, hem yarı özşekilli fenokristal hemde hamurda mikro-fenokristaller olarak gözlenmektedirler (Şekil 5c, d). Genellikle albit ikizlenmesi gösterirler. Süngerimsi doku ve hamur tarafından yenmeler oldukça yaygındır.

Süngerimsi doku içerisindeki boşluklar cam tarafından doldurulmuştur. Bazı kristallerde hem ikizlenme hem de zonlanma görülürken bazı kristallerin en dış kısımlarında yeniden büyüme zarfı bulunmaktadır. Olivinler, genellikle özşekilli olup ve fenokristaller halinde bulunurlar (Şekil 5d, f). Tek nikolde renksiz, çapraz nikolde II. ve III. sıranın canlı renklerinde dirler. Karakteristik olarak içerdikleri kırıklar ve kenarlar boyunca iddingsitleşmeler yaygın olarak gözlenir.



Şekil 5. a) Bazaltların yayılımı ve volkanitlerin arazi görünümü, b) iri klinopiroksenlerin makroskopik görünümü (Kışlaköy, Pınaryolu mevki), c) klinopiroksen kapanımları içeren albit ikizli plajiyoklaz fenokristalleri ve elek dokusu (Örnek No: N-53), d) mikrolitik porfirik dokulu kayalardaki elek dokusu gösteren klinopiroksen fenokristali (Örnek No: N-50), e) öz şekilli ve zonlanma gösteren mega klinopiroksen minerali (Örnek No: N-21), f) kenarında elek dokusu gelişmiş ve kalıntı merkez içeren klinopiroksen fenokristali ve iddingsitleşmiş olivin mineralleri (Örnek No: N-50), (Kpir: klinopiroksen, ol: olivin, pl: plajiyoklaz, op: opak mineral).

3.3. Mineral kimyası

Kışlaköy Volkanitleri'ni oluşturan bazalt ve bazaltik dayklara ait ana mineraller klinopiroksen, plajiyoklaz, olivin ve Fe-Ti oksit mineralleridir. Bu minerallerin, genel mineralojik ve kimyasal özellikleri bu bölümde özetlenmiştir.

3.3.1. Klinopiroksen

Klinopiroksen mineralleri inceleme alanında yüzeyleyen volkanik kayaç türlerinden bazaltik lav ve bazaltik dayk örneklerinde mevcuttur. Çoğunlukla öz ve yarı öz şekilli olan bu mineraller iri, orta ve küçük boyutlu kristaller halinde bulunurlar. Bazik kayaçlarda iri kristalli ve öz şekilli klinopiroksenler genellikle zonlanma ve yer yer de elek dokusu gösterirler.

Klinopiroksen mineralleri salınımlı zonlanma, normal ve ters zonlanma göstermektedirler (Şekil 6a, b). Bu zonlanma tiplerini hem optiksel hem de kimyasal olarak görmek mümkündür. Salınımlı zonlanmada her zonun kalınlığı genellikle farklıdır (Şekil 6a, b). Klinopiroksenlerin yapısal formülleri 6 oksijene göre hesaplanmıştır (Ek Tablo 1). Kimyasal analizlerden elde edilen toplam demirin, Fe^{+2} ve Fe^{+3} ayrımı Droop (1987)'a göre yapılmıştır.

Bazaltlar ve bazaltik dayk örnekleri içerisindeki klinopiroksenlerin kimyasal bileşimleri Ek Tablo 1'de verilmiştir. Bazaltlara ait örnekler Morimoto vd. (1988)'ne göre ojit olarak adlandırılmaktadır (Şekil 6c). Ojitler $Wo_{40-45}En_{41-50}Fs_{9-18}$ bileşimindedir ve $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranı 0.70-0.84 arasındadır. Normal zonlanma gösteren örneklerin merkezleri $Wo_{40-45}En_{42-50}Fs_{9-16}$ bileşimli ojit iken, kenarları $Wo_{40-44}En_{41-44}Fs_{15-18}$ bileşimli ojittir. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkezde 0.73 ile 0.84 arasında iken, kenarda 0.70 ile 0.75 arasında değişmektedir. Ters zonlanma gösteren örneklerde ise merkez bileşimi $Wo_{41-44}En_{41-43}Fs_{14-16}$ ojit iken, kenar $Wo_{42-44}En_{42-44}Fs_{13-15}$ bileşimi ojittir. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkez kısımlar için 0.73-0.75 arasında iken, kenar kısımlarda bu oran 0.74-0.78 arasında değişmektedir (Ek Tablo 1).

Bazaltik Dayklara ait örnekler içerisindeki klinopiroksenlerin kimyasal bileşimleri (Ek Tablo 1) Morimoto vd. (1988)'ne göre ojit bileşimindedir sadece iki örnek diyopsit olarak adlandırılmaktadır (Şekil 6d). Örneklerden 6 tanesinde ters zonlanma görülürken diğer örneklerde normal zonlanma mevcuttur. Klinopiroksen minerallerinden ojitler genel olarak $Wo_{40-45}En_{40-50}Fs_{5-17}$ bileşimindedir ve $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranı 0.72-0.91 arasındadır.

Diyopsitler $Wo_{46}En_{47}Fs_7$ bileşiminde olup, $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranı 0.87 arasındadır. Normal zonlanma gösteren örneklerin merkezleri $Wo_{40-46}En_{41-50}Fs_{5-16}$ ojit bileşimindeyken, kenarları $Wo_{41-45}En_{40-47}Fs_{8-17}$ ojit bileşimindedir. Örneklerin $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkezde 0.73-0.91 arasında iken, kenar kısımlarda 0.72-0.86 arasında değişmektedir. Ters zonlanma gösteren örneklerde merkez bileşimi $Wo_{41-43}En_{41-44}Fs_{14-16}$ ojit iken, kenar bileşimi $Wo_{43-44}En_{42-46}Fs_{11-15}$ ojittir ve $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranı merkezde 0.73-0.76 iken, kenar da 0.74-0.81 dir (Ek Tablo 1).

3.3.2. Plajiyoklaz

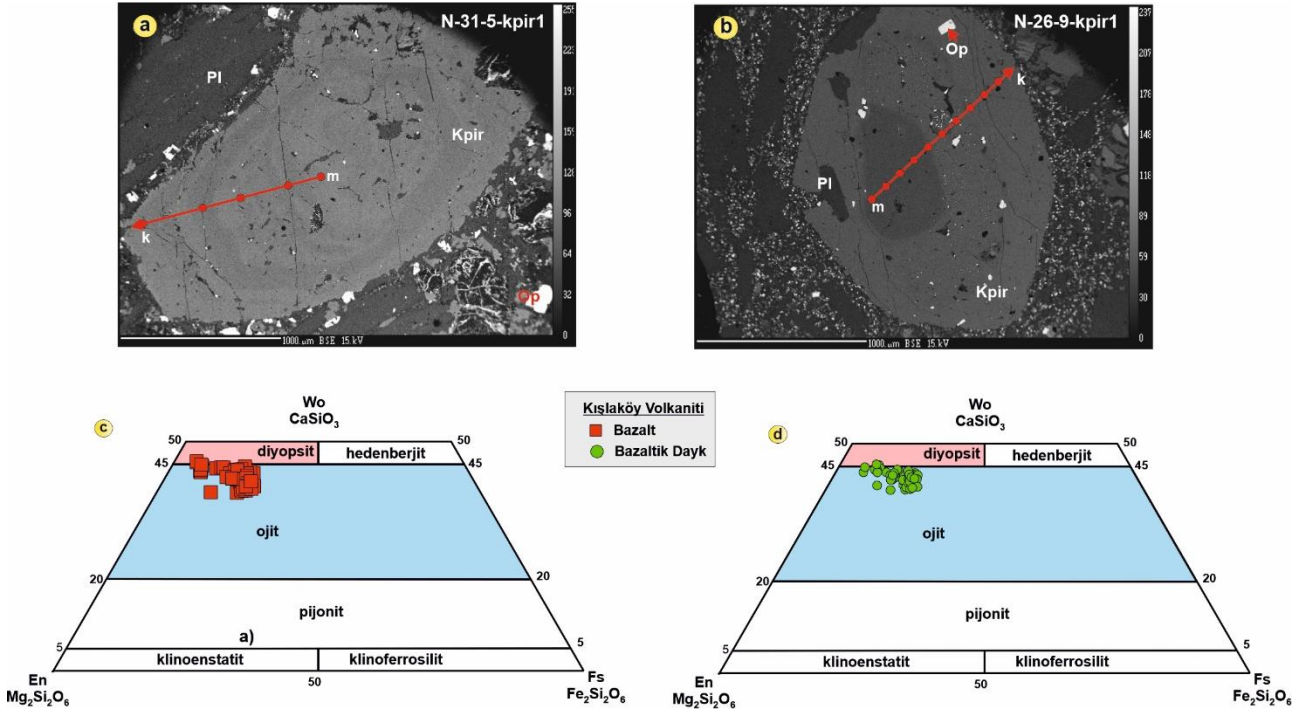
Kışlaköy (Erzurum) volkanik kayaçlarını oluşturan kayaç türlerinin hepsinde plajiyoklaz mineraline sıkça rastlanmıştır. Plajiyoklaz mineralleri çoğunlukla ince-uzun ve öz şekilli kristalcikler halinde olup (Şekil 7a), 0,1-1 mm arasında değişmektedir. Plajiyoklaz mineralleri hem iri fenokristaller hem de mikrolitler şeklinde bütün kayaçlarda bulunmaktadır (Şekil 7b). Ayrıca örneklerde hem normal hem de ters zonlu plajiyoklazlar yaygındır. Kapanımlar şeklinde başka minerallerin içinde fenokristal ve mikrolit olarak görülürler. Plajiyoklazlar ayrıca albit ikizlenmesi ve elek dokusu yaygındır.

Bazaltlar içerisinde fenokristal olarak bulunan plajiyoklazların analiz sonuçlarına göre zonlanma göstermeyenlerinin bileşimi genelde labradordur. Analiz edilen plajiyoklazların yedi tanesinde normal zonlanma gözlenmektedir. Mikrolitlerin bileşimi labradordur (Ek Tablo 2, Şekil 7c). Plajiyoklaz fenokristallerinden labrador olanların bileşimi merkezde $An_{59}Ab_{28}Or_2$ ile $An_{71}Ab_{37}Or_4$ arasında kenarda $An_{59}Ab_{31}Or_2$ ile $An_{67}Ab_{38}Or_3$ arasında değişmektedir. Normal zonlanma gösteren plajiyoklaz fenokristalinin merkezlerinin bileşimli $An_{64}Ab_{28}Or_2$ ile $An_{71}Ab_{34}Or_2$ arasında ve kenarları ise $An_{59}Ab_{33}Or_2$ ile $An_{65}Ab_{38}Or_3$ arasında olduğu belirlenmiştir. Labrador bileşiminde olan mikrolitler ise $An_{59}Ab_{31}Or_2$ ile $An_{67}Ab_{38}Or_3$ arasındadır.

Bazaltik dayk içerisinde fenokristal olarak bulunan plajiyoklazların bileşimleri genellikle labrador ve bitovnitir (Ek Tablo 2, Şekil 7d). Analiz edilen plajiyoklaz minerallerinin bazılarında normal zonlanma görülmektedir. Normal zonlanma gösterenlerin merkez bileşimi çoğunlukla bitovnit, kenar bileşimi ise çoğunlukla labradordur. Üç örnek ters zonlanma göstermektedir. Analiz edilen mikrolitlerin bileşimi ise andezin, labrador ve bitovnitir (Şekil 7d). Labrador olanların bileşimi merkezde $An_{69}Ab_{26}Or_2$ ile $An_{72}Ab_{29}Or_3$ arasında

kenarda $An_{55}Ab_{23}Or_2$ ile $An_{72}Ab_{41}Or_6$ arasında değişmektedir. Bitovnit olanların bileşimi ise merkezde $An_{73}Ab_{14}Or_1$ ile $An_{85}Ab_{25}Or_2$ arasında kenarda $An_{73}Ab_{21}Or_1$ ile $An_{77}Ab_{25}Or_2$ arasında değişmektedir. Normal zonlanma gösteren plajiyoklaz fenokristalinin bitovnit olan merkezlerinin bileşimli $An_{73}Ab_{14}Or_1$ ile

$An_{85}Ab_{25}Or_2$ arasında ve labrador olan kenarları ise $An_{55}Ab_{23}Or_2$ ile $An_{72}Ab_{41}Or_6$ arasında değişmektedir. Andezin olan mikrolitin bileşimi $An_{49}Ab_{45}Or_5$, labrador mikrolitlerinin bileşimi $An_{63}Ab_{30}Or_2$ ile $An_{68}Ab_{35}Or_3$ arasında ve bitovnit bileşiminde olanlar ise $An_{74}Ab_{24}Or_1$ ile $An_{75}Ab_{24}Or_2$ arasındadır.

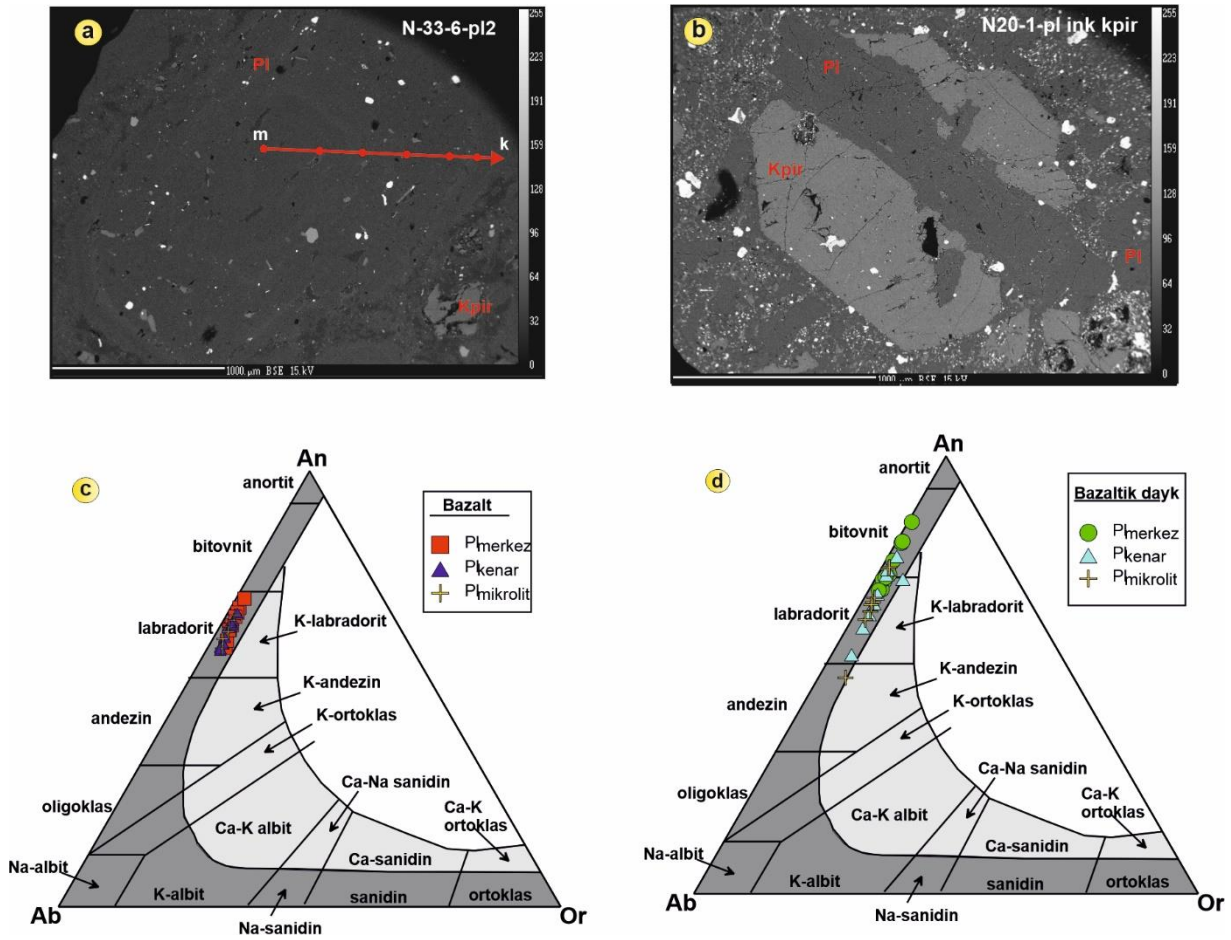


Şekil 6. Bazalt ve bazaltik dayk örneklerine ait a) normal zonlu klinopiroksen fenokristali, b) opak mineral ve plajiyoklaz minerali içeren kalıntı merkezli, salınımlı zonlanma gösteren iri klinopiroksen mineraline ait “BSE (Back-scattered electron)” görünüşleri (Op: opak mineral, Kpir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklaz, m: merkez, k: kenar, Örnek No: N-31 ve N-26), c, d) Bazaltik lav ve dayk örneklerine ait klinopiroksen minerallerinin, Wo-En-Fs üçgen diyagramındaki (Morimoto vd., 1988) bileşimleri.

3.3.3. Olivin

Kışlaköy (Erzurum) volkanik kayaçlarını oluşturan kayaç türlerinden bazaltik lav, bazaltik volkanik breş ve bazaltik dayk örneklerinde rastlanmıştır. Bazaltik dayk ve bazaltik lav örneklerindeki olivin mineralleri özşekilli olup, fenokristaller halinde bulunurlar. Ayrıca, hamurda mikro taneler halinde ve klinopiroksenler içerisinde kapanımlar halinde göze çarpmaktadırlar. Karakteristik olarak içerdikleri kırıklar ve kenarlar boyunca iddingsitleşmeler yaygın olarak gözlenir.

Bazaltik lav örnekleri içerisinde yer alan olivinler üzerinde yapılan elektron mikroprop analiz sonuçlarına göre olivinler hyalosiderit ve krizolit olarak isimlendirilmiştir. Hyalosideritlerin bileşimleri Fo_{58} ‘dir. Krizolitlerin bileşimleri Fo_{69} ile Fo_{75} arasındadır. (Ek Tablo 3). Bazaltik dayklar içerisinde yer alan olivinler üzerinde yapılan elektron mikroprob analiz sonuçlarına göre olivinlerin çoğunluğu krizolit bileşiminde olup, sadece iki örnek hyalosiderit olarak isimlendirilmiştir. Hyalosideritlerin bileşimleri Fo_{68} ile Fo_{69} arasında değişim gösterirken, krizolitlerin bileşimleri Fo_{69} ile Fo_{86} arasındadır. (Ek Tablo 3).



Şekil 7. İncelenen volkanitlerdeki bazı plajiyoklazların “BSE” görünüşleri, a) bazaltik kayalardaki zonlu plajiyoklaz (Pl) kristalleri, b) klinopiroksen içerisinde yer alan zonlu plajiyoklaz minerali (Örnek no: N-33, N-20), c, d) Bazaltlara ve bazaltik dayklara ait plajiyoklazların Ab-An-Or üçgen diyagramı.

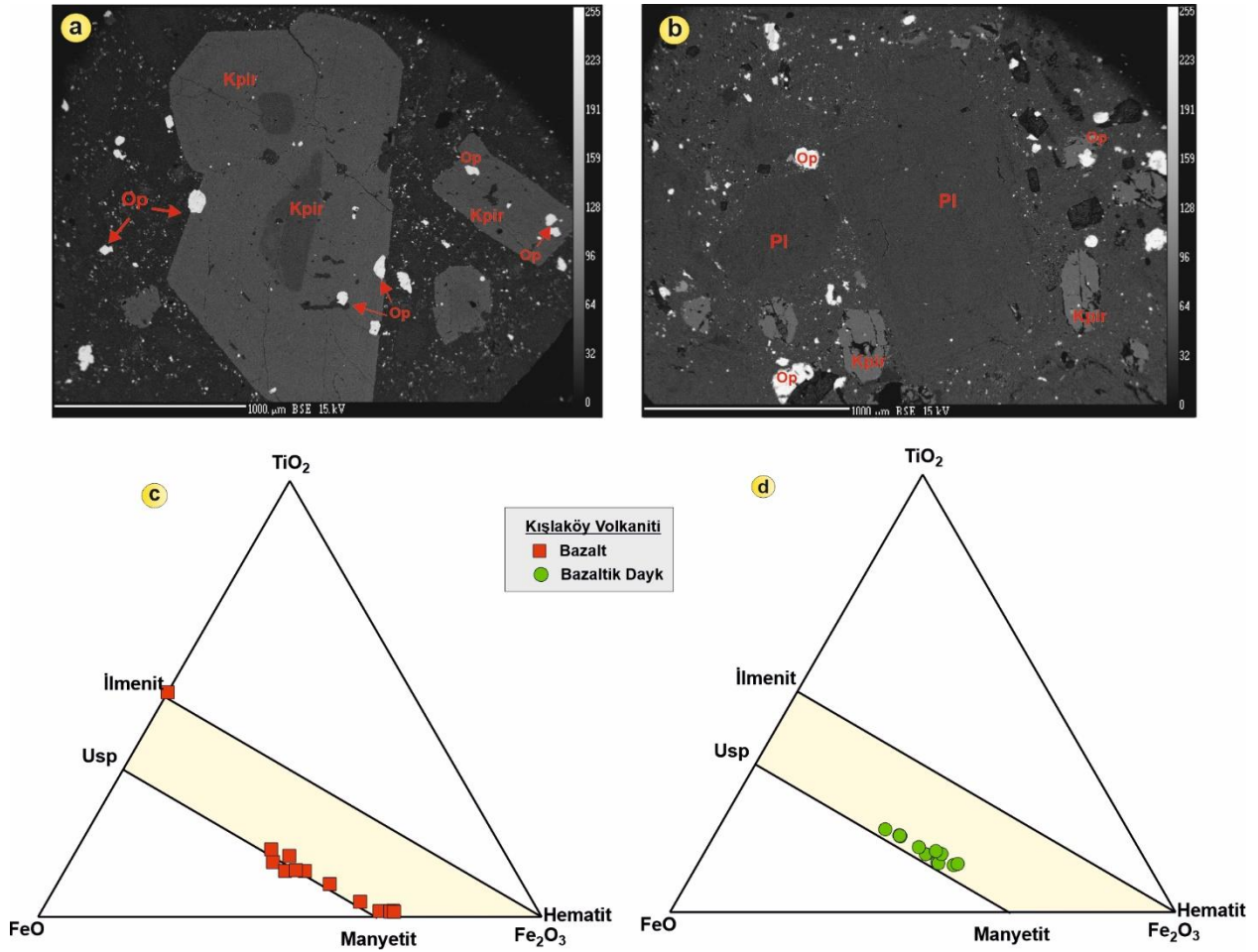
3.3.4. Fe-Ti oksit

Fe-Ti oksit mineralleri inceleme alanında yüzeyleyen bazaltik lav ve bazaltik dayk örneklerinde mevcuttur. Volkanik kayalarda genellikle ortaç-küçük ve öz-yarı öz şekilli kristaller halinde bulunurlar. Dokusal olarak Fe-Ti oksit minerallerinin klinopiroksenlerle birlikte bulunması ve yer yer onların içinde özşekilli kapanımlar halinde görülmesi, göreceli olarak daha erken kristallenmeyi işaret eder (Şekil 8a,b). Fe-Ti oksit minerallerinin kimyasal analizlerinden yapısal parametreleri ve formülleri elde etmek için, 32 oksijene göre normalleştirilmiş katyonlardan itibaren hesaplamalar yapılmıştır (Ek Tablo 4).

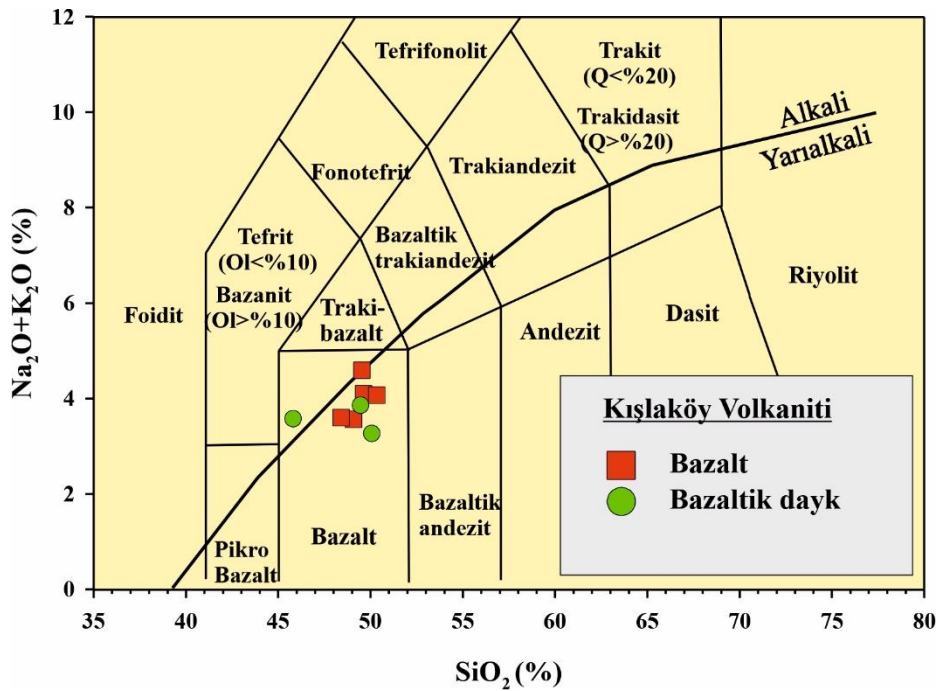
Bazaltlarda gözlenen opak mineraller genel olarak magnetit ve titano-magnetit ve bir tanesi ilmenit bileşimindeyken (Şekil 8c), bazaltik daykları oluşturan bazaltlarda, magnetit ve titano-magnetit bileşimindedir (Ek Tablo 4, Şekil 8d).

3.4. Kimyasal sınıflandırma

Le Maitre vd. (1989)'nin SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (TAS) diyagramına göre bazaltik lav ve bazaltik dayk örneklerinin hepsi bazalt alanına düşmektedir (Şekil 9). Ayrıca, yine bu diyagram üzerinde Irvine ve Baragar (1971)'in alkali-yarıalkali ayrımına göre incelenen volkanik kayalardan 1 tane bazaltik dayk örneği alkali alana düşerken diğer bütün örnekler yarıalkali alanda yer almaktadır. (Tablo 1).



Şekil 8. İncelenen volkanitlerdeki bazı Fe-Ti oksitlerin “BSE” görüntüleri, a ve b) Bazaltlardaki klinopiroskenlerde kapanım halinde olan öz-yarı öz şekilli Fe-Ti oksitler (Op), Klinopirosken (Kpir), (Örnek no: N-5, N-20), c, d) Bazaltlara ve bazaltik dayk örneklerine ait Fe-Ti oksit bileşimini gösteren üçgen diyagram (Bacon ve Hirschmann, 1988).



Şekil 9. Kışlaköy volkanik kayaçlarının SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (TAS) sınıflama diyagramındaki konumları (Le Maitre vd., 1989). Alkali- yarıalkali eğrisi (Irvine ve Baragar, 1971).

Tablo 1. Kışlaköy Volkanitlerine ait kayaçların tüm kayaç ana (%) ve iz (ppm) element analiz sonuçları

Birim	Bazaltik Dayk			Bazaltik Lav				
	Örnek No	A5	A8	A33	N-20	N-26	N-30	N-36
SiO ₂ (%)	45.80	50.06	49.46	49.52	49.07	49.62	50.34	48.40
TiO ₂	0.69	0.76	0.86	1.17	1.04	0.89	0.86	0.92
Al ₂ O ₃	13.57	12.96	14.22	15.20	15.40	15.26	14.85	12.67
Fe ₂ O ₃	8.04	8.61	8.31	9.91	9.61	8.67	8.54	8.85
MnO	0.17	0.21	0.16	0.18	0.17	0.15	0.16	0.15
MgO	6.20	8.26	9.84	6.77	5.83	6.98	7.05	11.43
CaO	14.54	11.63	9.65	10.30	10.25	9.49	10.34	9.93
Na ₂ O	2.20	1.97	2.20	2.66	2.46	2.48	2.41	2.22
K ₂ O	1.38	1.30	1.66	1.93	1.10	1.62	1.66	1.38
Cr ₂ O ₃	0.04	0.08	0.09	0.04	0.03	0.03	0.04	0.12
P ₂ O ₅	0.21	0.19	0.19	0.30	0.20	0.19	0.19	0.20
A.K.	6.0	2.6	2.1	0.70	3.50	3.3	2.3	2.3
Toplam	99.75	99.68	99.69	99.8	99.81	99.73	99.73	99.67
Zr (ppm)	51.2	63.4	77.9	108.7	81.8	79.4	76.2	74.8

4. Tartışmalar

4.1. Volkanitleri oluşturan magmanın kristallenme koşulları (P-T)

Kışlaköy volkanik kayaç örneklerinin mineral kimyası (Ek Tablo 1) ile tüm kayaç analiz sonuçları kullanılarak (Tablo 1) termobarometre hesaplamaları yapılmıştır. Böylece incelenen volkanitlerin kristallenme şartları (P-T) belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, incelenmiş olan volkanitlerin oluşmasını sağlayan ve gelişimlerdeki süreçlerin etkisi araştırılarak, bu ortamlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.1.1. Jeotermobarometre

Lindsley (1983) ile Lindsley ve Andersen (1983)'in önermiş olduğu, piroksen jeotermometresindeki, Di-Hd-En-Fs piroksen dörtyüzlüsü üzerinde farklı sıcaklık değerlerinin gösterildiği izoterm eğrileri çizilmek koşuluyla bir abak tasarlanmıştır (Şekil 10). Buna ek olarak, söz konusu diyagram üzerine düşürülen piroksen bileşimlerinin belirlenebilmesi için $Wo+En+Fs \geq 90$ şartının sağlanması gereklidir. Klinopiroksen mineral bileşimleri söz konusu diyagrama düşürüldüğü zaman; klinopiroksenlerin katılma sıcaklıkları genellikle Kışlaköy Volkanitini temsilen Bazaltik Daykları oluşturan bazaltlar için 600-1000 °C iken, Bazaltik Lavlar için ise 550-1050 °C arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 10).

Klinopiroksen ve ergiyik arasında oluşan dengeyle ilgili, kayaçlarda kristallenme sırasındaki basınç ve

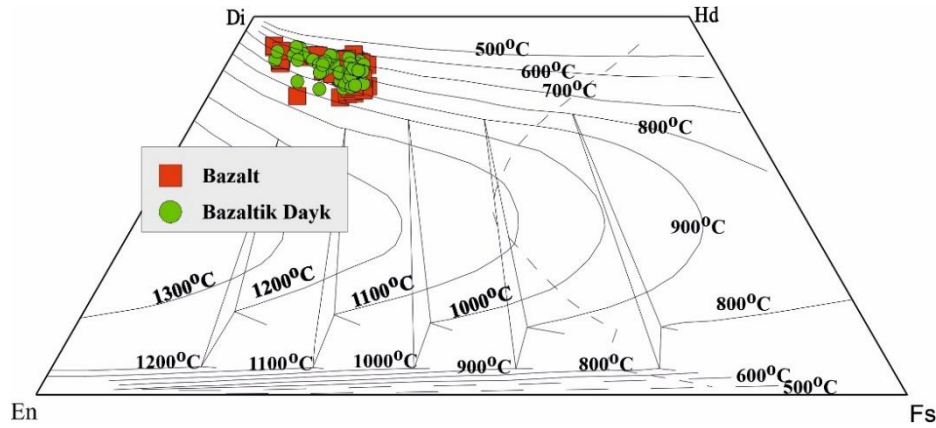
sıcaklığın hesaplanabilmesi için Putirka vd. (1996, 2003) ve Putirka (1999, 2005, 2008) tarafından yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Putirka (2008), yaptığı deneysel gözlemler yardımıyla, klinopiroksen ve ergiyik arasındaki denge halini test edebilmek için, Fe-Mg değişim sabiti $KD(Fe-Mg)_{kpir-erg} = 0.27 \pm 0.03$ hesaplaması yapmıştır. Klinopiroksen kristallenme sıcaklığının hesaplanabilmesi için, klinopiroksen ile denge halindeki ergiyik bileşiminin bilinmesi gereklidir. Klinopiroksen bileşimine yönelik minerallerin elektron mikroprop analiz sonuçlarından yararlanılarak (Ek Tablo 1), ergiyik bileşimi için mikroprop analizi değerlerinden bulunan camın bileşimi veya tüm kayaç analizleri (Tablo 1) sonuçlarından hesaplanan değerler kullanılabilir.

Yapılan bu çalışmada, Putirka (2008) tarafınca susuz magmalar için önerilmiş olan, klinopiroksen ve ergiyik bileşimine dayanarak kalibre edilen termobarometre kullanılmak suretiyle elde edilen sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir. Putirka (2008)'e göre hesaplanmış olan kristallenme sıcaklık değerleri, Kışlaköy volkanitlerini oluşturan bazaltik dayklar için 1174-1247 °C arasında iken, bazaltik lav örnekleri için bu değer 1139-1178 °C arasında değişmektedir (Tablo 2).

Putirka (2008)'deki yönteme göre, Kışlaköy (Erzurum) volkanitlerine ait klinopiroksenlerden elde edilen kristallenme basınç (P-kbar) değişimleri; bazaltik dayklarda 0.5-4.7 kbar arasında, bazaltik lav örneklerinde ise 0.1-4.4 kbar arasında değişmektedir. (Tablo 2). Elde edilen ortalama klinopiroksen basınç değerlerine (0.5-4.7 kbar arasında) karşılık gelen kristallenme derinliği

4.1-11.8 km'dir (kıtasal kabuk için 1 kbar = 3.7 km, Tulloch ve Challis, 2000). Bu değerler, volkanik

kayaçların orta-sığ kıtasal kabuk (~4-12 km) içerisinde yerleştiğini göstermektedir.



Şekil 10. Kışlaköy (Erzurum) volkanitlerinin içerdiği klinopiroksen bileşimlerine ait Di-Hd-En-Fs piroksen dörtyüzlüsü. İzoterm eğrileri 100 °C aralıklarla ve 1 atm basınç altında oluşturulmuştur (Lindsley, 1983; Lindsley ve Anderson, 1983).

Tablo 2. Kışlaköy Volkanitlerini oluşturan kayaçlarda Putirka (2008)'e göre hesaplanan klinopiroksen-ergiyik jeotermobarometresi

		Putirka (2008)							Tulloch ve Callis, 2000
		Sıcaklık T (°C)			P (32a, kbar)			Derinlik (km)	
Kışlaköy Volkaniti	Bazaltik Dayk (n=8)	Örnek No	Min	Mak	Ort	Min	Mak		Ort
		N-5	1174	1195	1183±10	0.5	2.2	1.1±0.8	4.1
	N-33	1201	1247	1217±21	1.0	4.7	3.2±2.1	11.8	
	Bazaltik Lav (n=13)	N-20	1139	1197	1173±19	0.1	4.3	2.3±1.7	8.5
N-26		1161	1178	1168±7	1.0	4.4	2.5±1.1	9.3	

* n= analiz sayısı, 1 kbar=3.7 km olarak alınmıştır (Tulloch ve Callis, 2000).

Kışlaköy volkanitlerini oluşturan bazaltik dayk ve bazaltik lav örneklerine ait tüm-kayaç analizlerinden (Tablo 1) yararlanılarak zirkon (Miller vd., 2003) ve apatit (Harrison ve Watson, 1984) doygunluk sıcaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 3). Zirkon doygunluk sıcaklıkları, bazaltik

dayk örnekleri için 513-611 °C arasında iken, bazaltik lav örnekleri için 582-628 °C arasındadır (Tablo 3). Apatit doygunluk sıcaklıkları ise bazaltik dayk örnekleri için 489-716 °C arasında iken, bazaltik lav örnekleri için 550-721 °C dir.

Tablo 3. Kışlaköy Volkanitlerine ait tüm kayaç analiz sonuçları kullanılarak hesaplanmış zirkon ve apatit doygunluğu için hesaplanan sıcaklık değerleri

Kışlaköy Volkanitleri	Zirkon doygunluk sıcaklığı Miller vd. (2003)	Apatit doygunluk sıcaklığı Harrison ve Watson (1984)
Bazaltik dayk (n=3)		
Min.	513	489
Max.	611	716
Ort.	562	621
Bazaltik Lav (n=5)		
Min.	582	550
Max.	627	721
Ort.	604	622

4.2. Dengesizlik parametreleri

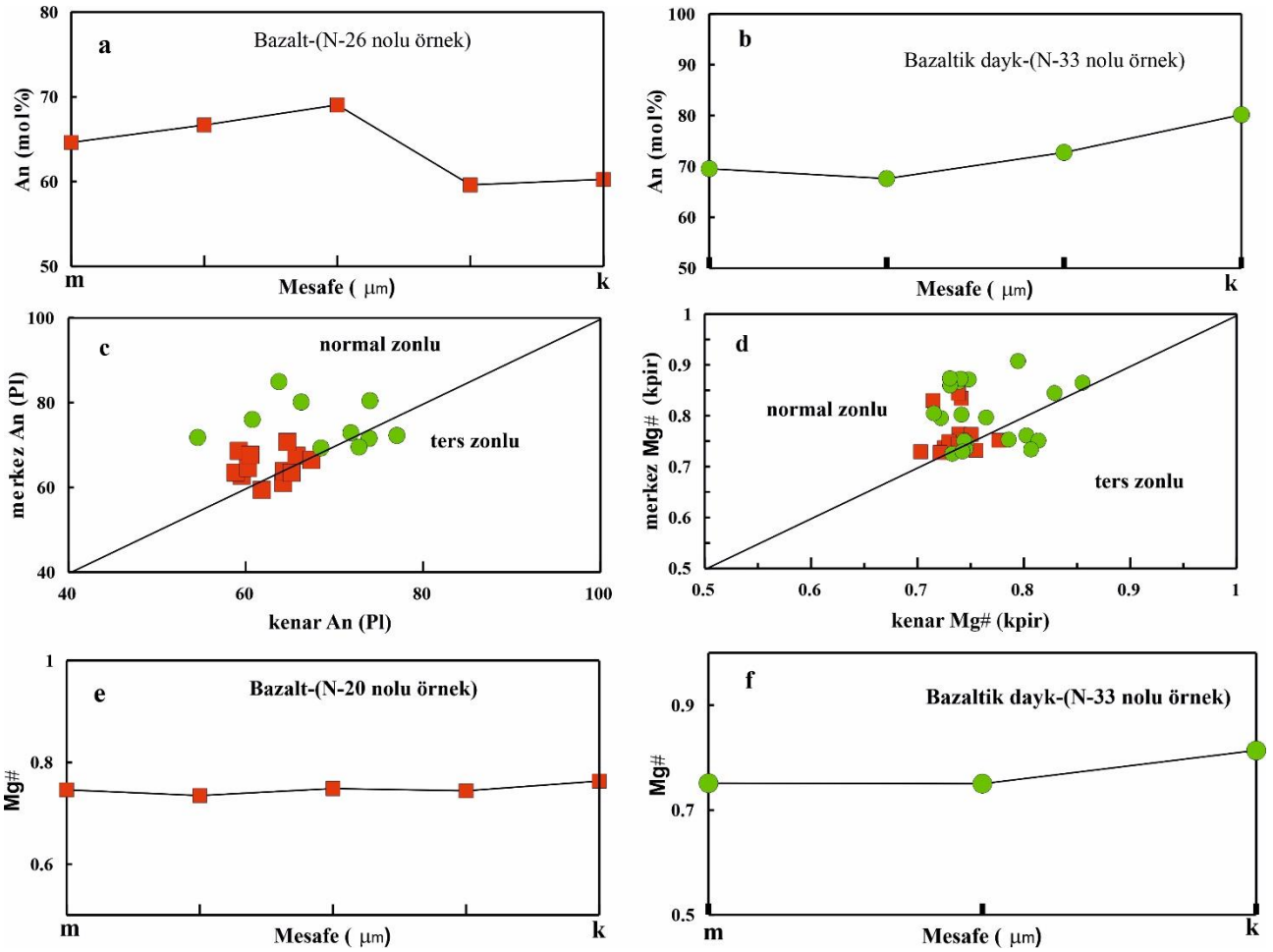
Kayaçların dokusal özellikleri ve mineral bileşimlerinin, magma oluşumu sırasındaki dengesizliklerle bağlantılı oldukları bilinmektedir. Magmanın karışımındaki mineraller, soğuma veya basıncın aniden düşmesi; sıcaklık, basınç ve bileşiminin değişmesindeki tetikleyici faktörler arasındadır. Bahsedilen etkenlerin sonucunda ise denge halindeki magma dengesiz hale gelebilmektedir (Nixon 1988; Simonetti vd., 1996; Rutherford ve Hill 1993; Perugini vd., 2003). Dengesiz kristallenmenin işareti olan dokusal özellikler arasında, salınımlı zonlanma gösteren plajiyoklaz kristallerinde elek dokusunun görülmesi (Dungan ve Rhodes, 1978), ters ve normal plajiyoklazların birlikte aynı kayaçta bulunmaları (Venezky ve Rutherford, 1997; Stimac ve Pearce, 1992) ve kemirilmiş minerallerin görülmesi söylenebilir (Stimac ve Pearce, 1992). Aynı örneğin içerisinde bulunan minerallerdeki normal ve ters zonlanmanın birlikte görülmelerinin bilimsel bir kriter olduğu söylenebilir (Sakuyama, 1981; Yücel vd., 2014).

Kışlaköy Volkanitleri'nde gözlenen dokusal, petrografik ve mineral bileşim özellikleri dengesiz kristallenmelerin varlığını göstermiştir. İncelenmiş örneklerde bulunan plajiyoklazlar içerisindeki zonlanma ile birlikte gözlenmiş olan elek dokusunun, dengesizlik olduğunu belirten başkaca dokusal özellikler arasında olduğu söylenebilir. Ayrıca plajiyoklaz minerallerindeki ters ve normal zonlu plajiyoklaz minerallerinin birlikte yer alması kristallenmenin dengesiz olduğunu göstermektedir (Şekil 11a-c). Bunun yanı sıra, plajiyoklazlar poikilitik olarak olivin ve opak mineralleri içermekte ve gözlemlenen bu dokusal özellik de dengesiz kristallenmenin olduğuna işaret eden başka bir veridir.

Plajiyoklazlardaki normal zonlanmanın açıklanmasında fraksiyonel kristallenme kullanılırken, ters zonlanmada ise farklı görüşler öne sürülmektedir: (i) Basınç ve sıcaklığın, suya doygun koşullarda artmaları (Blundy ve Cashman 2001), (ii) Suyu doygun magmaların yükselmesi

esnasında sıcaklık artışının olması (Blundy vd., 2006) ve (iii) magma odalarındaki oluşan yeni karışımlar (back mixing) (Couch vd., 2001) ve daha sıcak bir magma ile yenilenme sonucunda, magma odası sıcaklığının artması (Streck, 2008). Kışlaköy volkanik kayaçlarındaki plajiyoklazların kenar An bileşim değerleri geniş bir aralıkta değişiklik (An_{55-77}) göstermektedir. Aynı kayaçtaki plajiyoklazların kenarlarında görülen bileşimsel değişimler magma karışımından ötürü kompleks bir kökene işaret etmektedir (Wallace ve Carmichael, 1994).

İncelenen Kışlaköy volkanitlerine ait kayaçlardaki klinopiroksenler tipik olarak normal ve ters zonlanma, hamur tarafından yenme, kemirilme, kalıntı merkezler gösterirken çoğunlukla opak ve olivin kapanımları içermeleri gibi dengesizlik dokuları gösterirler (Şekil 4, 5). İncelenen klinopiroksenler aynı örnekte hem normal zonlu hemde ters zonlanma göstermektedir (Şekil 11 d-f). Bazaltik lavlardaki klinopiroksenlerde normal zonlanma gösteren örneklerin $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkezde 0.73 ile 0.84 arasında iken, kenarda 0.70 ile 0.75 arasında değişmektedir. Ters zonlanma gösteren örneklerde ise $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkez kısımlar için 0.73-0.75 arasında iken, kenar kısımlarda bu oran 0.74-0.78 arasında değişmektedir. Bazaltik dayklardaki klinopiroksenlerde ise normal zonlanma gösteren örneklerin $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları merkezde 0.73-0.91 arasında iken, kenar kısımlarda 0.72-0.86 arasında değişmektedir. Ters zonlanma gösteren örneklerde $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranı merkezde 0.73-0.76 iken, kenar da 0.74-0.81 dir (Şekil 11 d-f). Anderson (1974)'a göre normal ve ters zonlu klinopiroksenlerin aynı örnekte bulunması magma karışımıyla açıklanmaktadır ve bu durum Kışlaköy volkanitlerinde de görülmektedir. Ayrıca magma karışımına bir delil de Şekil 11a'da An içeriği önce artıyor daha sonra başlangıç değerinden daha fazla azalarak An değeri düşüyor. Bu örnek bize sisteme daha mafik bir magmanın girdiğinin göstergesi olarak yorumlanabilir ve bu da ancak magma karışımı ile açıklanabilir.



Şekil 11. Eosen yaşlı Kışlaköy volkanitleri içerisinde yer alan (a-c) normal ve ters zonlu plajiyoklazların merkez-kenar An değişimi, (d-f) normal ve ters zonlanma gösteren klinopiroksenlerin merkez-kenar Mg numarası (Mg#) değişimi (semboller Şekil 10'daki gibidir, m: merkez, k: kenar).

5. Sonuçlar

Bu çalışma ile Kışlaköy (Narman) yöresinde gözlenen volkanik kayaların detaylı petrografik ve mineral kimyası verileri irdelenerek; magmaların kristallenme sırasında etkili olan sıcaklık ve basınç gibi fizikokimyasal özellikleri ile jeolojik verilerle birleştirilerek bu kayaları oluşturan magmaların kabuktaki gelişim süreçleri ortaya konmuş ve elde edilen sonuçlar ana hatları ile aşağıda özetlenmiştir:

- Eosen yaşlı Kışlaköy Volkaniti çalışma alanının en yaşlı birimi olup, üzerine uyumsuz olarak, jips ara katkılı kumtaşı ve çamurtaşından oluşan oligo-miyosen yaşlı Oltu Formasyonu, onun da üzerine andezitik lav ve arakatlı tuf ve aglomerallardan oluşan Alabalık Formasyonu (Oligo-Miyosen) gelmektedir.

- Kışlaköy Volkanik kayaları volkanik fasiyes özelliklerine göre piroklastit (bazaltik volkanik breş), bazalt ve bazaltik dayk başlıkları altında incelenmiş olup, bazalt ve bazaltik daykları

oluşturan kayaların başlıca plajiyoklaz (An_{49-85}), piroksen ($Wo_{40-46} En_{41-50} Fs_{5-18}$), olivin (Fo_{68-75}) ve Fe-Ti oksit mineralleri içermektedirler.

-Kışlaköy volkanik kayaları petrografik olarak incelendiğinde genel olarak hyalo-mikrolitik porfirik, glomeroporfirik, glomerofirik, mikrolitik porfirik, poikilitik ve intersertal doku göstermektedirler.

-Volkanik kayalarda görülen salınımlı zonlanma gösteren plajiyoklaz kristallerinin elek dokusu göstermesi, normal ve ters zonlanmalı plajiyoklazların ve piroksenlerin aynı kayada birlikte bulunması dengesiz kristallenme olduğunu göstermekte ve bu dengesizlik parametrelerinden magma karışımı ile açıklanabilir.

-Volkanik kayaların jeotermobarometre hesaplamalarına göre sıcaklık 489-1247 °C arasında, basınç 0.5-4.7 kbar arasında değişmektedir. Elde edilen tüm veriler göz önüne alındığında incelenmiş olan volkanik kayaların

orta-sığ kıtasal kabuk (~4-12 km) içerisinde yerleştiği görülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, ikinci yazarın Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma TÜBİTAK tarafından 118Y258 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Serhat DAĞ, Alan Editörü Ferkan SİPAHİ ve Hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., (2005). Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 401-419. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4>
- Allen, M. and Armstrong, H.A., (2008). Arabia- Eurasia collision and the forcing of mid-cenozoic global cooling. *paleogeography, paleoclimatology, palaeoecology*, 265, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.021>
- Anderson, A.T., (1974). Evidence for apicritic, volatile-rich magma beneath Mt. Shasta, California. *Journal of Petrology*, 15, 243-267. <https://doi.org/10.1093/petrology/15.2.243>
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. and Kurt, H. (1997). Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey. *Chemie der Erde*, 57, 157-187.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. and Şen, C. (2013). ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 113-142. <https://doi.org/10.1007/s00410-013-0868-3>
- Aslan, Z., (2010). U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calcalkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 187(3), 329-346. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2010/0181>
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, I. and Kaygusuz, A., (2014). K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 108, 245-267. <https://doi.org/10.1007/s00710-013-0294-2>
- Aydın, F., Karlı, O. and Chen, B., (2008). Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249-266. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.010>
- Aydın, F., Oğuz Saka, S., Şen, C., Dokuz, A., Aiglsperger, T., Uysal, İ., Kandemir, R., Karlı, O., Sarı, B. and Başer, R., (2020). Temporal, geochemical and geodynamic evolution of the late Cretaceous subduction zone volcanism in the Eastern Sakarya Zone, NE Turkey: implications for mantle-crust interaction in an arc setting. *Journal of Asian Earth Sciences*. 192, 104-217. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104217>
- Aydınçakır, E. and Şen, C., (2013). Petrogenesis of the postcollisional volcanic rocks from the Borçka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 172-173, 98-117. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.04.007>
- Aydınçakır, E., (2014). The Petrogenesis of Early-Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: constraints on geodynamic implications. *Lithos*, 208, 361-377. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.08.019>
- Aydınçakır, E., (2016). Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 28 (4), 379-411. <https://doi.org/10.1080/09853111.2016.1208526>
- Aydınçakır, E., Gündüz, R. and Yücel, C., (2020). Emplacement conditions of magma(s) forming Jurassic plutonic rocks in Gümüşhane (Eastern Pontides, Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 162, 175-196. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.649808>
- Bacon, C.R. and Hirschmann, M.M., (1988). Mg/Mn partitioning as a test for equilibrium between coexisting Fe-Ti oxides. *American Mineralogist*, 73, 57-61.
- Bayraktutan, S., (1994). Narman-Gaziler bölgesinin Tersiyer'deki volkano-tektonik evrimi. 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri.
- Blundy, J. and Cashman, K., (2001). Ascent driven crystallization of dacite magmas at Mount St. Helens, 1980-1986. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 140, 631-650. <https://doi.org/10.1007/s004100000219>

- Blundy, J., Cashman, K. and Humhreys, M., (2006). Magma heating by decompression-driven crystallization beneath andesite volcanoes. *Nature*, 443, 76–80. <https://doi.org/10.1038/nature05100>
- Buket, E. and Temel, A., (1998). Major-element, trace element, and sr-nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 405-422. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00064-X)
- Couch, S., Sparks, R.S.J. and Carroll, M.R., (2001). Mineral disequilibrium in lavas explained by convective self-mixing in open magma chambers. *Nature*, 411, 1037–1039. <https://doi.org/10.1038/35082540>
- Dewey, J.F., Hempton, M.R.S., Kidd, W.S.F., Saroğlu, F. and Şengör, A.M.C., (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia, a young collision zone in: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Zone Tectonics*. Geological Society of London Special Publication, 19, 3–36.
- Dokuz, A., Aydın, F. And Karsli, O., (2019). Postcollisional transition from subduction-to intraplate-type magmatism in the eastern Sakarya zone, Turkey: Indicators of northern Neotethyan slab breakoff, *Geology Society of American Bulletin*. 131, 1623–1642. <https://doi.org/10.1130/B31993.1>
- Droop, G.T.R., (1987). A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using Stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51, 431-437. <https://doi.org/10.1180/minmag.1987.051.361.10>
- Dungan, M.A. and Rhodes, J.M., (1978). Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSDP legs 45 and 46: evidence for magma mixing. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 67, 417–431. <https://doi.org/10.1007/BF00383301>
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.L, Notsu, K., Tokel, S. ve Di, T., (1990). Doğu ve Güneydoğu Anadolu neojen-kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110, 143-164.
- Gülen, L., (1980a). Strontium isotope geochemistry of mount Ararat and mount Süphan volcanics, Eastern Turkey. *EOS*, 61, 17, 412.
- Gülen, L., (1980b). Sr, Nd and Pb isotope systematics of Ararat and Süphan volcanoes, Eastern Turkey. *EOS*, 63, 45, 1145.
- Güleç, N., (1991). Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine*, 128, 417-435. <https://doi.org/10.1017/S0016756800018604>
- Hall, R., (1976). Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus Suture Zone, Southeastern Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 87, 1078-1088. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<1078:OEATEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<1078:OEATEO>2.0.CO;2)
- Harrison, T.M. and Watson, E.B., (1984). The behaviour of apatite during crustal anatexis: equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1467-1477. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90403-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90403-4)
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Redicat di Brozolo, F. and Villari, L., (1976). Evolution of the volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian Plates (Lake Van, Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103–112. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(76\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(76)90001-9)
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., (1982). Tertiary and Quaternary Volcanism of the Erzurum-Kars area (Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 13, 223–240. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(82\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0377-0273(82)90052-X)
- Jolivet, L. and Faccenna, C., (2000). Mediterranean extension and the Africa-Eurasia Collision. *Tectonics*, 19, 1095-1106. <https://doi.org/10.1029/2000TC900018>
- Karlı, O., Chen, B., Uysal, I., Aydın, F., Wijbrans, J.R. and Kandemir, R., (2008). Elemental and Sr- Nd-Pb isotopic geochemistry of the most recent Quaternary Volcanism in the Erzincan basin, Eastern Turkey: framework for the evaluation of basalt-lower crust interaction. *Lithos*, 106, 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.06.008>
- Kaygusuz, A., (2009). K/Ar ages and geochemistry of the collision related volcanic rocks in the Ilıca (Erzurum) area, eastern Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 186 (1), 21–36. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2009/0134>
- Kaygusuz, A. and Aydınçakır, E., (2009). Mineralogy, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. *Chemie der Erde*, 69, 247-277. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2008.08.002>
- Kaygusuz, A. and Aydınçakır, E. (2011). Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the

- eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie (Abhandlungen)*, 188, 211–233. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2011/0201>
- Kaygusuz A, Aslan Z, Siebel W. and Şen, C., (2011) Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of post-collisional calc-alkaline volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal Earth Sciences*, 20, 137–159. doi:10.3906/yer-1002-8
- Kaygusuz, A., Aslan, Z., Aydınçakır, E., Yücel, C., Gücer, M.A. and Şen, C., (2018). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of the Miocene to Pliocene volcanic rocks from the Kandilli (Erzurum) area, Eastern Anatolia (Turkey): implications for magma evolution in extension-related origin. *Lithos*, 296/299, 332-351. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.11.003>
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Temizel, İ., Yücel, C. and Aydınçakır, E., (2021). U–Pb zircon ages and petrogenesis of the Late Cretaceous I-type granitoids in arc setting, Eastern Pontides, NE Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 174, 10404. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104040>
- Keskin, M., (1994). Genesis of Collision-Related Volcanism On The Erzurum-Kars Plateau, Northeastern Turkey. Ph. D. Thesis (Doktora Tezi), University of Durham, U.K.
- Keskin, M., Pearce, J.A. and Mitchell, J.G., (1998). Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision volcanism on the Erzurum–Kars Plateau, Northeastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 355–404. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00063-8)
- Keskin, M., (2003). Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction–accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30, 24, 8046. <https://doi.org/10.1029/2003GL018019>
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D. and Greenwood, P., (2006). Magma-crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: geochemical evidence from the Erzurum-Kars volcanic plateau, Eastern Turkey in: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean Region and Asia. Geological Society of America, Special Publication, 409, 475–505. [https://doi.org/10.1130/2006.2409\(23\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(23))
- Keskin, M., (2007). Eastern Anatolia: a hotspot in a collision zone without a mantle plume. in: foulger, G.R., Jurdy, D.M. (Eds.), plates, plumes, and planetary processes. Geological Society of America, Special Publication, 430, 693–722. [https://doi.org/10.1130/2007.2430\(32\)](https://doi.org/10.1130/2007.2430(32))
- Keskin, M., Genç, Ş. C. and Tüysüz, O., (2008). Petrology and geochemistry of postcollisional middle eocene volcanic units in North-Central Turkey: evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean. *Lithos*, 104, 267–305. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.011>
- Konak, N. and Hakyemez, H.Y., (2001). Tectonic units of the easternmost part of the Pontides: stratigraphical and structural implications, proceedings of the 2nd Int. Symp. on the petroleum geology and hydrocarbon potential of the Black sea area. Turkish Association of Petroleum Geologists, Spec. Publ., 4, 93-103.
- Kürüm, S., Önal, A., Boztuğ, D., Spell, T. and Arslan, M., (2008). ⁴⁰Ar/³⁹Ar Age and geochemistry of the post-collisional Miocene Yamadağ Volcanics in the Arapkir area (Malatya Province), Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33, 229–251. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2007.12.001>
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Strekeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the international union of geological sciences, subcommission on the systematics of igneous rocks (No. 552.3 CLA), Blackwell, 193p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>
- Lebedev, V.A., Sharkov, E.V., Ünal, E. and Keskin, M., (2016a). Late Pleistocene Tendürek Volcano (Eastern Anatolia, Turkey). I. geochronology and petrographic characteristics of igneous rocks. *Petrology*, 24, 2, 127–152. <https://doi.org/10.1134/S0869591116020041>
- Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Ünal, E., Sharkov, E.V. and Keskin, M., (2016b). Late Pleistocene Tendürek Volcano (Eastern Anatolia, Turkey). II. geochemistry and petrogenesis of the rocks. *Petrology*, 24, 3, 234–270. <https://doi.org/10.1134/S0869591116030048>
- Lebedev, V.A., Chernyshev, I.V. and Shatagin, K.N., (2013). Geochronology, isotope Sr-Nd characteristics and origin of Quaternary volcanic rocks within Geghama Highland (Lesser Caucasus, Armenia). *Journal of Volcanology and Seismology*, 7, 3, 204–229. <https://doi.org/10.1134/S0742046313030044>
- Lambert, R.J. and Holland, J.G., (1974). Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38,

- 1393-1414. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90095-7)
- Lindsley, D.H., (1983). Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, 68, 477-493.
- Lindsley, D.H. and Andersen, D.J., (1983). A two-pyroxene thermometer. *Journal of Geophysical Research*, 88, A887-A906. <https://doi.org/10.1029/JB088iS02p0A887>
- Lustrino, M., Keskin, M., Mattioli, M. and Kavan, O., (2012). Heterogeneous mantle sources feeding the volcanic activity of Mt. Karacadag. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46, 120–139. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.11.016>
- Miller, C.F., McDowell, S.M. and Mapes, R.W., (2003). Hot and cold granites?: Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. *Geology*, 31, 529-532. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2003\)031%3C0529:HACGIO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031%3C0529:HACGIO%3E2.0.CO;2)
- Morimoto, M., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. and Gottardi, G., (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550. <https://doi.org/10.1180/minmag.1988.052.367.15>
- Nixon, G.T., (1988). Petrology of the younger andesites and dacites of Iztaccihuatl Volcano, Mexico: disequilibrium phenocryst assemblages as indicators of magma chamber processes. *Journal of Petrology*, 29, 213–264. <https://doi.org/10.1093/petrology/29.2.213>
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J. and Ercan, T., (1995). Geochemical features of collision related volcanic rocks in Central and Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64, 171–192. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00077-T](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00077-T)
- Okay, A.I., Zattin, M. and Cavazza, W., (2010). Apatite fission-track data for the Miocene Arabia^Eurasia collision. *Geology*, 38, 35-38. <https://doi.org/10.1130/G30234.1>
- Okay, A.I. and Şahintürk, O., (1997). Geology of the Eastern Pontides, In: A. G. Robinson, (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of The Black Sea and Surrounding Region*. American Association of Petroleum Geologist Memoir, 68, 291-311. <https://doi.org/10.1306/M68612C15>
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V. and Sharkov, E.V., (2016). Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrusk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Lithos*, 256-257, 88–108. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.03.017>
- Özdemir, Y., Karoğlu, O., Tolluoğlu, A. U. and Güleç, N., (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut Stratovolcano (East Anatolian High Plateau): The most recent post-collisional volcanism In Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.09.020>
- Özdemir, Y., Blundy, J.D. and Güleç, N., (2011). The importance of fractional crystallization and magma mixing in controlling chemical differentiation at Suphan Stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 573-597. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0613-8>
- Özdemir, Y. and Güleç, N., (2014). Geological and geochemical evolution of the Quaternary Süphan stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere–asthenosphere interaction in post-collision volcanism. *Journal of Petrology*, 55, 37–52. <https://doi.org/10.1093/petrology/egt060>
- Papike, J.J., Cameron, K.L. and Baldwin, K., (1974). Amphiboles and pyroxenes: characterization of other than quadrilateral components and estimates of Ferric Iron from microprobe data. *Geology Society of America*, 6, 1053-1054.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. and Mitchell, J.J., (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90018-B](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90018-B)
- Perugini D., Poli G., Christofides G. and Eleftheriadis G., (2003). Magma mixing in the sithonia plutonic complex, Greece: evidence from mafic microgranular enclaves. *Mineralogy and Petrology*, 78, 173-200. <https://doi.org/10.1007/s00710-002-0225-0>
- Putirka, K.D., Johnson, M., Kinzler, R. and Walker, D., (1996). Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kbar. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123, 92-108. <https://doi.org/10.1007/s004100050145>
- Putirka, K.D., (1999). Clinopyroxene+liquid equilibrium to 100 kbar and 2450 K. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 151-163. <https://doi.org/10.1007/s004100050503>
- Putirka, K.D., Ryerson, F.J. and Mikaelian, H. (2003). New igneous thermobarometers for mafic and evolved lava compositions, based on

- clinopyroxene+liquid equilibria. *American Mineralogist*, 88, 1542–1554. <https://doi.org/10.2138/am-2003-1017>
- Putirka, K.D., (2005). Igneous thermometers and barometers based on plagioclase+liquid equilibria: tests of some existing models and new calibrations. *American Mineralogist*, 90, 336–346. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1449>
- Putirka, K.D., (2008). Thermometers and barometers for volcanic systems. in Putirka, K.D., Tepley, F.E. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69, 61120.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O., Rızaoğlu, T., Ünlügenç, Ü., Inan, N., Taşlı, K. and Ustaömer, T., (2007). Tectonic evolution of the South Tethyan Ocean: evidence from The Eastern Taurus Mountains (Elazığ Region, SE Turkey). in: Ries, A. C., Butler, R. W. H. & Graham, R. H. (eds) *Deformation of Continental Crust*. Geological Society, London, Special Publications, 272, 231–270. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.2007.272.01.14>
- Rutherford, M.J. and Hill, P.M., (1993). Magma ascent rates from amphibole breakdown: an experimental study applied to the 1980–1986 Mount St. Helens eruptions. *Journal of Geophysical Research*, 98, 19667–19685. <https://doi.org/10.1029/93JB01613>
- Sakuyama, M., (1981). Petrological study of the Myoko and Kurohime volcanoes, Japan: crystallization sequence and evidence magma mixing. *Journal of Petrology*, 22, 553–583. <https://doi.org/10.1093/petrology/22.4.553>
- Schmid, R., (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geology*, 9, 41–43. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1981\)9%3C41:DNACOP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1981)9%3C41:DNACOP%3E2.0.CO;2)
- Simonetti, A., Shore, M. and Bell, K., (1996). Diopside phenocrysts from Nephelinite lavas, Napak Volcano, Eastern Uganda: evidence for magma mixing. *Canadian Mineralogist*, 34, 411–421.
- Sipahi, F. and Sadıklar, M.B., (2014). Geochemistry of dacitic volcanics in the eastern pontides (NE Turkey), *Geochemistry International*, 4, 329–349. <http://dx.doi.org/10.7868/S0016752514040086>
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B. and Şen, C., (2014). The geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Murgul (Artvin) volcanics in the Eastern Black Sea Region (NE Turkey), *Chemie der Erde/Geochemistry*, 74, 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2013.08.005>
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A. and Akpınar, İ., (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60/3, 382–400. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1336120>
- Stimac, J.A. and Pearce, T.H., (1992). Textural evidence of mafic–felsic magma interaction in dacite lavas, Clear Lake, California. *American Mineralogist*, 77, 795–809.
- Streck, M.J., (2008). Mineral textures and zoning as evidence for open system processes. in: Putirka KD, Tepley III FJ (eds) *minerals, inclusions and volcanic processes*. Mineralogical Society of America and Geochemical Society, *Review Mineral*, 69, 1, 595–622. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.15>
- Şen, C., (2007). Jurassic volcanism in the eastern Pontides: is it rift related or subduction related, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523–539.
- Şengör, A.M.C., (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans Serisi*, 2, 40.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181241.
- Şengör, A.M.C., (1990). Plate tectonics and orogenic research after 25 Years: a Tethyan perspective. *Earth-Science Reviews*, 27, 1–2, 1–201. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(90\)90002-D](https://doi.org/10.1016/0012-8252(90)90002-D)
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T. and Zor, E., (2003). East Anatolian high plateau As a mantle supported, north–south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30, 24, 8045. <https://doi.org/10.1029/2003GL017858>
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y., (1981). Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler, jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 39–52.
- Venezky, D.Y. and Rutherford, M.J., (1997). Preeruption conditions and timing of dacite–andesite magma mixing in the 2.2 Ka eruption at mount Rainier. *Journal of Geophysical Research*, 102, 20069–20086. <https://doi.org/10.1029/97JB01590>
- Wallace, P.J. and Carmichael, I.S.E., (1994). Petrology of volcan tequila, jalisco, Mexico: disequilibrium phenocryst assemblages and evolution of the subvolcanic magma system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117, 345–361. <https://doi.org/10.1007/BF00307270>

- Yılmaz, Y., Saroğlu, F. and Güner, Y., (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177–199. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(87\)90256-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(87)90256-3)
- Yılmaz, C., (1993). Doğu pontid güney zonu'nun stratigrafik denestirmesi ve paleo coğrafik evrimi, Akdeniz Üniversitesi. Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 7, 199-214.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. and Abdioğlu, E., (2014). Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineraogy and Petrology*, 108-3, 439–467. <https://doi.org/10.1007/s00710-013-0306-2>
- Yücel, C., Arslan M., Temizel, İ., Abdioğlu, Y. and Ruffet, G., (2017). Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: geochronology and geochemistry of eocene and miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). *Gondwana Research*, 45, 65–86. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.12.016>

Ek Tablo 1. Kışlaköy (Erzurum-Narman) yöresi Eosen yaşlı volkanik kayalara ait klinopiroksen minerallerinin mikroprob analiz sonuçları

Birim Adı	Bazalt																								
	Örnek No	N-20 kpir 1 feno m	N-20 kpir 1 feno o	N-20 kpir 1 feno k	N-20 kpir 1 feno m	N-20 kpir 1 feno o1	N-20 kpir 2 feno o2	N-20 kpir 1 feno o3	N-20 kpir 1 feno k	N-20 kpir 1 feno m	N-20 kpir 1 feno o1	N-20 kpir 1 feno o2	N-20 kpir 1 feno o3	N-20 kpir 1 feno k	N-20 kpir 2 feno m	N-20 kpir 2 feno k	N-20 kpir 1 feno m	N-20 kpir 1 feno o1	N-20 kpir 1 feno o2	N-20 kpir 1 feno k	N-20 kpir 1 feno m	N-20 kpir 1 feno o1	N-20 kpir 1 feno o2	N-20 kpir 1 feno k	N-20 kpir 1 feno m
SiO ₂ (%)	50.83	49.51	49.12	49.86	49.98	51.03	49.94	50.23	49.74	50.22	49.46	49.35	48.55	53.04	48.76	49.78	49.57	49.77	49.23	50.23	50.46	50.40	50.27	52.28	50.26
TiO ₂	0.68	0.97	1.00	0.88	0.87	0.83	0.88	0.70	0.86	0.88	1.04	1.01	1.07	0.29	1.08	0.84	0.96	0.92	0.84	0.64	0.76	0.73	0.80	0.23	0.85
Al ₂ O ₃	2.64	3.69	3.97	3.17	3.17	2.37	3.21	2.62	3.44	3.09	3.79	3.51	4.14	1.67	4.13	3.97	3.72	3.60	3.79	3.37	2.69	2.57	3.38	2.16	3.20
FeO*	8.58	8.99	9.32	8.87	8.75	8.82	9.08	8.08	9.00	8.81	9.34	9.45	9.40	6.38	8.93	9.00	9.54	8.81	9.02	8.54	9.58	8.58	9.07	5.52	9.05
MnO	0.31	0.25	0.27	0.28	0.27	0.29	0.28	0.31	0.30	0.28	0.24	0.28	0.25	0.23	0.20	0.27	0.34	0.24	0.23	0.28	0.29	0.27	0.25	0.13	0.27
MgO	15.60	14.92	14.81	15.06	15.05	15.50	14.81	15.74	15.08	15.38	14.38	14.50	14.27	18.04	14.33	14.83	14.84	14.73	14.71	15.44	16.20	15.52	15.28	16.81	15.03
CaO	20.93	21.28	20.80	21.35	20.99	21.00	21.20	21.03	21.28	20.55	21.18	21.28	21.26	19.78	21.49	21.10	20.51	20.96	21.30	20.90	19.57	20.92	20.34	22.42	21.12
Na ₂ O	0.30	0.34	0.36	0.29	0.32	0.32	0.35	0.33	0.36	0.29	0.39	0.31	0.30	0.36	0.30	0.35	0.38	0.30	0.33	0.33	0.31	0.24	0.34	0.29	0.28
Toplam	99.86	99.94	99.66	99.76	99.40	100.15	99.76	99.05	100.06	99.50	99.83	99.68	99.25	99.78	99.22	100.15	99.86	99.33	99.45	99.73	99.85	99.24	99.72	99.86	100.08
Si	1.90	1.86	1.85	1.87	1.88	1.90	1.87	1.89	1.86	1.88	1.86	1.86	1.84	1.94	1.84	1.86	1.86	1.87	1.85	1.88	1.89	1.89	1.88	1.92	1.88
Ti	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
Al	0.12	0.16	0.18	0.14	0.14	0.10	0.14	0.12	0.15	0.14	0.17	0.16	0.18	0.07	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17	0.15	0.12	0.11	0.15	0.09	0.14
Fe ⁺³	0.11	0.14	0.15	0.13	0.11	0.10	0.13	0.13	0.15	0.10	0.13	0.13	0.15	0.07	0.14	0.13	0.13	0.10	0.15	0.12	0.13	0.11	0.10	0.09	0.11
Fe ⁺²	0.16	0.14	0.14	0.14	0.16	0.17	0.16	0.12	0.13	0.17	0.16	0.16	0.15	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.13	0.14	0.16	0.16	0.18	0.08	0.17
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Mg	0.87	0.83	0.83	0.84	0.84	0.86	0.83	0.88	0.84	0.86	0.81	0.81	0.81	0.99	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83	0.86	0.90	0.87	0.85	0.92	0.84
Ca	0.84	0.85	0.84	0.86	0.85	0.84	0.85	0.85	0.85	0.82	0.85	0.86	0.86	0.78	0.87	0.84	0.82	0.84	0.86	0.84	0.78	0.84	0.81	0.88	0.85
Na	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Toplam	4.03	4.04	4.05	4.04	4.03	4.03	4.04	4.04	4.05	4.03	4.04	4.04	4.05	4.01	4.04	4.04	4.04	4.03	4.04	4.04	4.04	4.03	4.02	4.04	4.04
Al ^(IV)	0.10	0.14	0.15	0.13	0.12	0.10	0.13	0.11	0.14	0.12	0.14	0.14	0.16	0.06	0.16	0.14	0.14	0.13	0.15	0.12	0.11	0.11	0.12	0.08	0.12
Al ^(VI)	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.01	0.03	0.01	0.02
Mg [#]	0.76	0.75	0.74	0.75	0.75	0.76	0.74	0.78	0.75	0.76	0.73	0.73	0.73	0.83	0.74	0.75	0.73	0.75	0.74	0.76	0.75	0.76	0.75	0.84	0.75
Wo	42.26	43.28	42.62	43.24	42.93	42.33	43.22	42.55	43.05	41.96	43.58	43.45	43.77	39.55	44.32	43.15	42.04	43.24	43.54	42.48	39.36	42.38	41.67	44.67	42.88
En	43.85	42.22	42.22	42.44	42.81	43.46	42.02	44.32	42.44	43.69	41.18	41.21	40.89	50.19	41.14	42.19	42.32	42.30	41.87	43.66	45.32	43.74	43.56	46.61	42.47
Fs	13.9	14.5	15.2	14.3	14.3	14.2	14.8	13.1	14.5	14.4	15.2	15.3	15.3	10.3	14.5	14.7	15.6	14.5	14.6	13.9	15.3	13.9	14.8	8.7	14.6

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Fe⁺² toplam Fe olarak alınmıştır. Mg[#] (Mg-numarası) = Mg / (Mg + Fe⁺²+Fe⁺³), m: kristal merkezi, k: kristal kenarı,

o: orta, kpir: Klinopiroksen, Yapısal parametreler 6 oksijene göre hesaplanmıştır.

Ek Tablo 1'in devamı

Birim Adı	Bazalt																								
	Örnek No	N-20 c7	N-20 c8	N-20 c8	N-20 c9	N-20 c9	N-20 c9	N-20 c9	N-20 c9	N-26 c1	N-26 c1	N-26 c1	N-26 c2	N-26 c2	N-26 c4	N-26 c4	N-26 c4	N-26 c4	N-26 c5	N-26 c5	N-26 c6	N-26 c6	N-26 c7	N-26 c7	N-26 c7
	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno o1	kpir 1 feno o2	kpir 1 feno o3	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno o	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno m	kpir 1 feno o1	kpir 1 feno o2	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 2 feno m
SiO ₂ (%)	49.57	48.71	49.50	49.28	49.67	48.49	48.56	48.71	51.3	50.8	50.6	50.7	49.9	52.0	51.4	50.0	49.0	50.4	50.3	49.6	50.1	50.6	50.3	50.3	49.7
TiO ₂	0.96	1.11	0.97	0.86	0.90	1.26	1.13	1.18	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.3	0.4	0.5	0.8	0.7	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8
Al ₂ O ₃	4.01	4.19	3.89	3.58	3.38	4.34	3.86	4.10	2.3	2.4	2.7	3.2	3.5	2.2	3.1	4.3	4.1	2.8	3.1	3.9	3.3	2.6	2.5	3.4	
FeO*	9.08	9.09	9.20	8.62	9.48	9.84	9.50	9.10	9.9	9.6	10.2	9.1	10.0	6.0	6.2	7.3	10.5	9.8	8.9	9.8	10.1	9.3	9.8	9.7	
MnO	0.26	0.28	0.29	0.26	0.32	0.27	0.29	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
MgO	14.38	14.10	14.62	14.72	14.57	13.82	14.25	14.60	15.6	15.5	15.1	15.3	15.1	16.4	16.0	15.6	14.8	15.1	15.3	14.7	14.7	15.1	15.5	14.7	
CaO	21.38	21.19	21.34	21.04	20.92	20.95	21.53	21.33	19.6	19.5	19.4	20.8	19.5	22.6	22.2	21.4	19.8	20.1	20.8	19.9	19.9	20.5	20.0	20.5	
Na ₂ O	0.33	0.39	0.36	0.29	0.34	0.36	0.34	0.40	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	
Toplam	99.97	99.06	100.18	98.66	99.59	99.33	99.46	99.67	99.80	98.93	99.30	100.25	99.43	99.88	99.77	99.63	99.67	99.54	99.57	99.25	99.42	99.19	99.14	99.23	
Si	1.86	1.84	1.85	1.87	1.87	1.83	1.83	1.83	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Ti	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Al	0.18	0.19	0.17	0.16	0.15	0.19	0.17	0.18	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe+3	0.12	0.13	0.14	0.12	0.12	0.06	0.10	0.16	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe+2	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17	0.25	0.20	0.13	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mg	0.80	0.80	0.82	0.83	0.82	0.78	0.80	0.82	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8
Ca	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.84	0.87	0.86	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Na	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Toplam	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.02	4.03	4.05	4.05	4.02	4.03	4.08	4.04	4.10	4.10	4.08	4.04	4.04	4.05	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.02
Al(IV)	0.14	0.16	0.15	0.13	0.13	0.17	0.17	0.17	0.07	0.09	0.09	0.09	0.12	0.04	0.06	0.12	0.15	0.10	0.10	0.13	0.11	0.09	0.11	0.13	
Al(VI)	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.06	0.07	0.07	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	
Mg#	0.74	0.73	0.74	0.75	0.73	0.71	0.73	0.74	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Wo	43.98	44.10	43.54	43.48	42.90	43.64	44.00	43.65	39.8	40.1	39.9	42.1	40.2	44.9	44.9	43.6	40.6	41.1	42.3	41.2	41.0	41.9	40.5	42.1	
En	41.17	40.84	41.52	42.32	41.57	40.07	40.54	41.56	44.2	44.2	43.4	43.2	43.4	45.5	45.1	44.5	42.2	42.9	43.3	42.6	42.3	43.0	43.7	42.0	
Fs	14.9	15.1	14.9	14.2	15.5	16.3	15.5	14.8	16.0	15.7	16.7	14.8	16.4	9.5	10.0	11.9	17.2	16.0	14.4	16.2	16.7	15.0	15.8	15.8	

Ek Tablo 1'in devamı

Birim Adı	Bazalt												Bazaltik dayk									
	Örnek No	N-26 c7	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-8 c1	N-8 c1	N-8 c1	N-8 c1	N-8 c3	N-8 c3	N-8 c3	N-8 c3	N-8 c3
	kpir 2	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 2	kpir 2	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1	kpir 1
	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno
	k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	m	k	m	k	m	o1	o2	o3	k	
SiO ₂ (%)	49.0	52.9	53.5	53.2	53.3	53.6	53.7	53.5	53.4	53.4	53.7	53.6	54.16	53.45	53.48	51.41	53.13	51.62	51.38	51.49	51.06	
TiO ₂	0.8	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09	0.15	0.42	0.18	0.26	0.33	0.36	0.50	
Al ₂ O ₃	3.7	1.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.24	1.17	1.73	3.11	1.54	2.46	3.54	2.81	3.18	
FeO*	10.6	3.7	3.8	3.9	4.0	3.8	3.8	3.9	3.8	3.7	2.8	2.8	3.86	3.68	3.99	6.22	4.26	6.74	7.17	7.41	8.46	
MnO	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.14	0.14	0.12	0.19	0.15	0.21	0.23	0.23	0.25	
MgO	14.1	17.9	18.3	18.4	18.2	18.2	18.1	18.3	18.3	18.1	18.2	18.1	17.52	17.62	17.16	15.60	17.63	16.40	16.55	16.11	15.96	
CaO	19.3	23.1	22.5	22.7	22.3	22.8	22.5	22.7	22.9	22.6	23.5	23.5	21.84	22.51	22.28	21.87	21.81	21.06	19.47	19.95	19.58	
Na ₂ O	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.23	0.20	0.20	0.22	0.21	0.23	0.31	0.20	0.25	
Toplam	98.00	99.91	99.91	99.77	99.31	99.93	99.56	99.91	99.97	99.36	99.84	99.43	99.08	98.86	99.12	99.03	98.92	98.98	98.98	98.56	99.26	
Si	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.00	1.97	1.97	1.89	1.96	1.90	1.89	1.90	1.88	
Ti	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Al	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.05	0.05	0.08	0.14	0.07	0.11	0.15	0.12	0.14	
Fe+3	0.0	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.13	0.12	0.13	-0.02	0.13	0.01	0.03	-0.08	-0.03	
Fe+2	0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.01	-0.01	-0.01	0.21	0.01	0.20	0.20	0.31	0.29	
Mn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	
Mg	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.96	0.97	0.94	0.86	0.97	0.90	0.91	0.89	0.88	
Ca	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.86	0.89	0.88	0.86	0.86	0.83	0.77	0.79	0.77	
Na	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	
Toplam	3.96	4.15	4.15	4.14	4.12	4.15	4.13	4.15	4.15	4.12	4.16	4.14	4.02	4.01	4.01	3.98	4.01	3.98	3.99	3.95	3.97	
Al(IV)	0.16	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	0.02	0.02	0.10	0.04	0.09	0.10	0.10	0.11	
Al(VI)	0.01	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	
Mg#	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.89	0.90	0.88	0.82	0.88	0.81	0.80	0.79	0.77	
Wo	40.8	45.3	44.1	44.1	43.9	44.5	44.4	44.3	44.5	44.4	46.0	46.2	44.28	45.02	45.14	45.05	43.81	42.71	40.33	41.30	40.30	
En	41.4	48.9	49.9	49.8	49.9	49.5	49.6	49.7	49.5	49.6	49.6	49.5	49.42	49.04	48.37	44.69	49.29	46.30	47.72	46.39	45.72	
Fs	17.8	5.8	6.0	6.1	6.2	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9	4.4	4.3	6.3	5.9	6.5	10.3	6.9	11.0	11.9	12.3	14.0	

Ek Tablo 1'in devamı

Birim Adı	Bazaltik dayk										Bazaltik dayk									
	Örnek No	N-8 c4 kpir 1 feno m	N-8 c4 kpir 1 feno o1	N-8 c4 kpir 1 feno o2	N-8 c4 kpir 1 feno o3	N-8 c4 kpir 1 feno k	N-8 c4 kpir 2 feno m	N-8 c4 kpir 2 feno k	N-8 c5 kpir 1 feno m	N-8 c5 kpir 1 feno o	N-8 c5 kpir 1 feno k	N-8 c5 kpir 2 feno m	N-8 c5 kpir 2 feno o1	N-8 c5 kpir 2 feno o2	N-8 c5 kpir 2 feno k	N-8 c6 kpir 1 feno m	N-8 c6 kpir 1 feno k	N-8 c8 kpir 1 feno m	N-8 c8 kpir 1 feno o1	N-8 c8 kpir 1 feno o2
SiO ₂ (%)	51.27	50.94	51.83	51.10	51.99	51.74	50.96	51.38	50.33	53.18	51.88	51.70	50.09	52.07	51.98	51.83	52.45	52.10	51.77	51.97
TiO ₂	0.47	0.34	0.38	0.45	0.4	0.32	0.39	0.45	0.49	0.17	0.38	0.29	0.62	0.33	0.38	0.40	0.23	0.23	0.40	0.36
Al ₂ O ₃	2.97	2.77	2.75	2.92	2.1	2.37	2.99	3.06	3.95	2.29	2.43	2.87	3.63	2.03	2.25	2.14	2.28	2.30	2.28	2.29
FeO*	8.19	8.26	7.09	8.59	8.6	8.03	8.79	7.98	9.12	6.36	8.03	7.97	9.34	8.47	8.03	9.51	6.03	6.25	8.54	7.66
MnO	0.26	0.23	0.21	0.24	0.2	0.23	0.26	0.23	0.26	0.16	0.22	0.23	0.24	0.30	0.25	0.32	0.18	0.19	0.26	0.22
MgO	15.99	16.11	16.02	15.73	16.20	16.27	15.67	15.85	15.51	17.08	16.30	16.27	15.27	16.72	16.33	16.37	16.53	16.27	16.41	16.42
CaO	19.95	19.50	20.13	19.86	19.4	19.44	19.43	20.47	19.71	20.19	20.07	19.64	19.26	19.16	19.57	18.53	21.36	21.64	19.85	19.68
Na ₂ O	0.23	0.25	0.23	0.20	0.2	0.23	0.28	0.23	0.30	0.24	0.27	0.25	0.25	0.19	0.24	0.20	0.23	0.26	0.25	0.22
Toplam	99.33	98.40	98.64	99.09	99.04	98.63	98.77	99.64	99.67	99.67	99.56	99.22	98.69	99.27	99.02	99.30	99.28	99.23	99.76	98.82
Si	1.89	1.88	1.91	1.88	1.9	1.91	1.88	1.89	1.86	1.96	1.91	1.91	1.85	1.92	1.92	1.91	1.93	1.92	1.91	1.92
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	0.13	0.12	0.12	0.13	0.1	0.10	0.13	0.13	0.17	0.10	0.11	0.12	0.16	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
Fe+3	-0.02	-0.12	-0.07	-0.07	-0.1	-0.10	-0.11	0.03	-0.02	0.11	0.02	-0.02	-0.16	-0.02	-0.05	-0.07	0.05	0.03	0.02	-0.06
Fe+2	0.27	0.38	0.29	0.34	0.3	0.35	0.38	0.22	0.30	0.09	0.23	0.27	0.45	0.28	0.30	0.37	0.14	0.16	0.24	0.29
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.88	0.89	0.88	0.86	0.9	0.89	0.86	0.87	0.85	0.94	0.90	0.89	0.84	0.92	0.90	0.90	0.91	0.89	0.90	0.90
Ca	0.79	0.77	0.79	0.78	0.8	0.77	0.77	0.81	0.78	0.80	0.79	0.78	0.76	0.76	0.77	0.73	0.84	0.85	0.78	0.78
Na	0.02	0.02	0.02	0.01	0.0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Toplam	3.98	3.94	3.96	3.96	3.96	3.95	3.95	3.99	3.98	4.02	3.99	3.98	3.93	3.98	3.97	3.96	4.00	3.99	3.99	3.96
Al(IV)	0.10	0.12	0.08	0.11	0.1	0.09	0.12	0.10	0.14	0.03	0.08	0.09	0.15	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.09	0.08
Al(VI)	0.02	0.00	0.04	0.02	0.0	0.02	0.01	0.03	0.03	0.07	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02
Mg#	0.78	0.78	0.80	0.77	0.8	0.78	0.76	0.78	0.75	0.83	0.78	0.78	0.74	0.78	0.78	0.75	0.83	0.82	0.77	0.79
Wo	40.90	40.18	41.84	40.83	39.8	40.07	40.25	41.85	40.56	41.17	40.82	40.36	40.15	38.90	40.14	37.85	43.42	43.90	40.07	40.44
En	45.62	46.20	46.35	45.02	46.2	46.67	45.15	45.09	44.42	48.47	46.12	46.52	44.30	47.24	46.63	46.52	46.75	45.94	46.11	46.96
Fs	13.5	13.6	11.8	14.1	14.0	13.3	14.6	13.1	15.0	10.4	13.1	13.1	15.5	13.9	13.2	15.6	9.8	10.2	13.8	12.6

Ek Tablo 1'in devamı

Birim Adı	Bazaltik dayk																							
	Örnek No	N-8 c9	N-8 c9	N-8 c9	N-8 c10	N-8 c10	N-33 c1	N-33 c1	N-33 c2	N-33 c2	N-33 c3	N-33 c3	N-33 c4	N-33 c4	N-33 c4	N-33 c4	N-33 c5	N-33 c5	N-33 c7	N-33 c7	N-33 c7	N-33 c10	N-33 c10	N-33 c10
	kpir 1 feno m	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 2 feno m	kpir 2 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno o	kpir 1 feno k	kpir 1 feno m	kpir 1 feno o	kpir 1 feno k	kpir 1 feno k
SiO ₂ (%)	53.79	50.48	51.24	49.71	51.83	53.50	51.02	51.28	51.33	51.89	51.09	52.11	51.98	50.36	50.78	51.78	51.09	51.19	50.91	51.80	48.91	49.08	49.08	51.69
TiO ₂	0.13	0.55	0.5	0.65	0.42	0.06	0.58	0.59	0.40	0.43	0.56	0.27	0.40	0.75	0.72	0.34	0.51	0.7	0.68	0.51	0.89	0.70	0.39	
Al ₂ O ₃	1.31	3.80	2.9	3.87	2.22	1.52	2.83	2.85	3.10	2.44	2.56	2.57	2.97	3.47	3.30	3.12	3.82	2.9	3.39	2.94	5.78	6.19	2.47	
FeO*	4.06	8.95	7.9	9.66	7.89	3.26	7.26	8.57	7.02	7.49	8.34	4.60	4.93	8.64	7.37	5.63	5.87	9.1	8.98	6.52	9.32	7.98	6.97	
MnO	0.14	0.25	0.2	0.22	0.20	0.14	0.19	0.24	0.19	0.23	0.23	0.12	0.16	0.23	0.21	0.20	0.13	0.3	0.27	0.18	0.22	0.21	0.21	
MgO	17.69	15.68	16.03	14.22	16.37	17.92	15.74	15.33	15.98	16.47	15.18	16.54	16.32	14.79	15.15	17.21	15.93	15.42	15.14	15.97	14.41	14.77	16.32	
CaO	22.18	19.74	20.4	20.47	19.77	21.96	21.09	20.05	20.77	19.66	20.48	22.66	21.94	20.75	21.22	20.17	21.35	19.6	19.69	21.31	19.66	20.03	21.04	
Na ₂ O	0.22	0.28	0.2	0.34	0.23	0.20	0.27	0.28	0.22	0.20	0.32	0.19	0.17	0.30	0.30	0.15	0.18	0.2	0.30	0.21	0.37	0.39	0.22	
Toplam	99.50	99.73	99.33	99.15	98.95	98.56	98.98	99.21	99.00	98.82	98.75	99.06	98.85	99.28	99.05	98.60	98.89	99.32	99.35	99.43	99.56	99.34	99.31	
Si	1.98	1.86	1.9	1.83	1.91	1.97	1.88	1.89	1.89	1.91	1.88	1.92	1.92	1.86	1.87	1.91	1.88	1.9	1.88	1.91	1.80	1.81	1.91	
Ti	0.00	0.02	0.0	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.0	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	
Al	0.06	0.17	0.1	0.17	0.10	0.07	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13	0.15	0.14	0.14	0.17	0.1	0.15	0.13	0.25	0.27	0.11	
Fe+3	0.17	0.01	0.0	-0.15	-0.05	0.14	-0.05	-0.09	-0.01	-0.05	-0.15	0.10	0.07	-0.09	-0.05	0.05	0.02	-0.1	-0.08	0.04	-0.05	0.00	0.02	
Fe+2	-0.05	0.27	0.2	0.45	0.29	-0.04	0.27	0.35	0.22	0.28	0.40	0.04	0.08	0.36	0.28	0.13	0.16	0.4	0.36	0.16	0.34	0.24	0.20	
Mn	0.00	0.01	0.0	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Mg	0.97	0.86	0.9	0.78	0.90	0.98	0.87	0.84	0.88	0.90	0.83	0.91	0.90	0.81	0.83	0.95	0.88	0.8	0.83	0.88	0.79	0.81	0.90	
Ca	0.88	0.78	0.8	0.81	0.78	0.87	0.83	0.79	0.82	0.78	0.81	0.89	0.87	0.82	0.84	0.80	0.84	0.8	0.78	0.84	0.78	0.79	0.83	
Na	0.02	0.02	0.0	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.0	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	
Toplam	4.04	3.99	3.98	3.94	3.97	4.01	3.97	3.96	3.97	3.96	3.94	4.00	3.99	3.95	3.96	3.99	3.98	3.96	3.96	3.99	3.97	3.98	3.99	
Al(IV)	0.01	0.13	0.1	0.16	0.08	0.02	0.11	0.10	0.10	0.08	0.11	0.07	0.08	0.14	0.12	0.09	0.11	0.1	0.12	0.08	0.19	0.19	0.09	
Al(VI)	0.05	0.03	0.0	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.04	0.05	0.01	0.02	0.05	0.06	0.0	0.03	0.04	0.06	0.08	0.02	
Mg#	0.89	0.76	0.8	0.72	0.79	0.91	0.79	0.76	0.80	0.80	0.76	0.87	0.86	0.75	0.79	0.84	0.83	0.8	0.75	0.81	0.73	0.77	0.81	
Wo	44.31	40.51	41.6	42.7	40.5	44.33	43.22	41.55	42.73	40.47	42.43	45.91	45.14	43.01	44.03	41.46	44.31	40.6	41.05	43.72	41.70	42.65	42.65	
En	49.16	44.79	45.5	41.3	46.6	50.33	44.89	44.22	45.74	47.16	43.76	46.65	46.72	42.67	43.74	49.21	46.00	44.4	43.94	45.59	42.54	43.77	46.02	
Fs	6.5	14.7	12.9	16.0	12.9	5.3	11.9	14.2	11.5	12.4	13.8	7.4	8.1	14.3	12.2	9.3	9.7	15.1	15.0	10.7	15.8	13.6	11.3	

Ek Tablo 2. Kışlaköy (Erzurum-Narman) yöresi Eosen yaşlı volkanik kayalara ait plajiyoklaz minerallerinin mikroprob analiz sonuçları

Birim Adı	Bazalt																							
	Örnek No	N-36 c1	N-36 c1	N-36 c3	N-36 c3	N-36 c3	N-36 c4	N-36 c4	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c7	N-36 c8	N-36 c8	N-36 c8	N-20 c1	N-20 c1	N-20 c4	N-20 c5	N-20 c5	N-20 c7	N-20 c7	N-20 c8
	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-2	plaj-2	plaj	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj	plaj-1
	feno	feno	feno	feno	mik1	feno	feno	feno	feno	feno	feno	mik2	mik3	feno	feno	mik4	feno	feno	mik1	feno	feno	mik2	mik3	feno
	m	k	m	k	m	m	k	m	k	m	k	m	m	m	k	m	m	k	m	k	m	m	m	m
SiO₂ (%)	52.67	52.73	49.01	52.26	52.26	53.71	52.00	52.94	52.08	50.25	52.56	51.44	50.66	52.11	52.11	51.46	52.65	52.45	52.78	52.68	51.78	51.54	51.10	51.98
Al₂O₃	29.14	29.09	32.09	29.33	29.35	26.77	29.93	29.20	29.49	30.89	29.39	30.02	30.82	29.55	29.27	30.09	28.65	29.31	29.49	29.00	29.63	29.81	30.31	29.60
FeO*	0.87	0.80	0.74	0.79	0.88	0.98	0.82	0.88	0.91	0.86	0.84	0.82	0.87	0.88	1.29	0.91	0.95	1.02	1.03	0.99	1.07	1.12	1.12	0.91
CaO	12.39	12.56	15.60	12.87	12.49	10.77	13.00	12.52	12.92	14.20	12.88	13.07	13.83	12.89	12.53	13.53	12.26	12.91	12.64	12.63	13.18	13.20	13.96	12.95
Na₂O	3.99	4.05	2.52	3.96	3.98	3.34	3.76	3.85	3.85	3.08	3.75	3.70	3.27	3.75	3.83	3.53	4.22	4.15	4.15	4.10	3.87	3.85	3.62	3.96
K₂O	0.57	0.56	0.27	0.52	0.56	3.61	0.53	0.58	0.51	0.42	0.51	0.48	0.38	0.52	0.67	0.42	0.61	0.40	0.36	0.53	0.29	0.34	0.29	0.43
Toplam	99.62	99.78	100.23	99.73	99.53	99.18	100.04	99.95	99.75	99.70	99.93	99.54	99.83	99.70	99.70	99.95	99.34	100.23	100.45	99.93	99.82	99.85	100.40	99.83
Si	9.63	9.63	8.98	9.56	9.57	9.96	9.48	9.64	9.53	9.23	9.58	9.43	9.28	9.53	9.55	9.41	9.66	9.55	9.58	9.62	9.47	9.44	9.32	9.50
Al(t)	6.28	6.26	6.93	6.32	6.33	5.85	6.43	6.27	6.36	6.68	6.31	6.49	6.65	6.37	6.32	6.48	6.20	6.29	6.31	6.24	6.39	6.43	6.52	6.38
Fe⁺²	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.20	0.14	0.15	0.16	0.16	0.15	0.16	0.17	0.17	0.14
Ca	2.43	2.46	3.06	2.52	2.45	2.14	2.54	2.44	2.53	2.79	2.52	2.57	2.71	2.53	2.46	2.65	2.41	2.52	2.46	2.47	2.58	2.59	2.73	2.54
Na	1.41	1.43	0.90	1.40	1.41	1.20	1.33	1.36	1.37	1.10	1.33	1.31	1.16	1.33	1.36	1.25	1.50	1.46	1.46	1.45	1.37	1.37	1.28	1.40
K	0.13	0.13	0.06	0.12	0.13	0.85	0.12	0.13	0.12	0.10	0.12	0.11	0.09	0.12	0.16	0.10	0.14	0.09	0.08	0.12	0.07	0.08	0.07	0.10
Toplam	20.01	20.03	20.04	20.04	20.03	20.15	20.03	19.97	20.04	20.03	19.99	20.04	20.02	20.01	20.05	20.03	20.06	20.08	20.04	20.05	20.05	20.07	20.09	20.06
% An	61.08	61.12	76.14	62.31	61.35	51.00	63.64	62.07	63.05	70.00	63.49	64.27	68.50	63.53	61.86	66.24	59.45	61.81	61.45	61.08	64.23	64.19	66.92	62.77
% Ab	35.56	35.64	22.30	34.67	35.35	28.64	33.27	34.51	33.99	27.52	33.49	32.91	29.28	33.41	34.21	31.31	37.01	35.93	36.48	35.87	34.11	33.86	31.41	34.72
% Or	3.36	3.24	1.56	3.02	3.30	20.36	3.09	3.41	2.96	2.47	3.02	2.82	2.22	3.05	3.94	2.45	3.54	2.26	2.07	3.04	1.66	1.95	1.67	2.51

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. % An, Ab ve Or: Sırasıyla anortit, albit ve ortoklas yüzdeleri, Fe⁺² toplam Fe olarak alınmıştır. Plaj-plajiyoklaz, feno-fenokristal, m: kristal merkezi, o: orta, k:kristal kenarı. Yapısal parametreler 32 oksijene göre hesaplanmıştır.

Ek Tablo 2'nin devamı

Birim Adı	Bazalt																									
	Örnek No	N-20 c8	N-26 c1	N-26 c1	N-26 c1	N-26 c2	N-26 c2	N-26 c2	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c4	N-26 c4	N-26 c4	N-26 c5	N-26 c5	N-26 c8	N-26 c8	N-26 c8	N-26 c8	N-26 c9	N-26 c9
	plaj-1 feno k	plaj-1 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 mik m	plaj-2 mik m	plaj-2 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 feno m	plaj-1 feno o1	plaj-1 feno o2	plaj-1 feno o3	plaj-1 feno k	plaj-2 feno m	plaj-2 feno k	plaj-1 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 mik m	plaj-1 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 feno m	plaj-1 feno k	plaj-2 feno m	plaj-1 feno k	plaj-1 feno k
SiO₂ (%)	52.546	51.77	52.07	51.44	52.50	51.58	52.57	51.99	50.88	50.55	53.17	52.62	50.67	53.22	51.14	51.34	53.11	50.90	52.74	51.21	51.62	50.64	50.71	49.84	51.90	
Al₂O₃	28.862	29.44	29.38	29.61	29.10	29.03	28.67	29.64	29.73	30.11	28.21	28.68	30.33	28.77	30.07	30.00	28.47	30.29	28.54	28.88	29.67	29.86	29.37	30.60	29.14	
FeO*	1.0651	0.96	0.98	1.02	0.96	0.97	1.08	0.92	0.95	0.88	0.92	1.11	0.94	1.01	0.94	0.96	1.06	0.96	1.02	0.89	0.97	0.94	0.96	0.91	1.03	
CaO	12.517	13.29	13.08	13.54	12.93	13.14	12.34	13.23	13.71	14.40	12.26	12.29	14.22	12.43	13.93	13.67	12.32	13.87	12.53	13.20	13.39	13.81	13.76	14.48	13.61	
Na₂O	4.4221	3.90	3.76	3.65	3.93	3.90	4.45	3.75	3.56	3.38	4.28	4.17	3.40	4.42	3.49	3.71	4.34	3.44	4.23	3.94	3.73	3.61	3.46	3.12	3.84	
K₂O	0.4293	0.38	0.38	0.36	0.40	0.41	0.49	0.38	0.35	0.29	0.47	0.47	0.30	0.48	0.33	0.34	0.50	0.34	0.44	0.39	0.34	0.34	0.33	0.29	0.40	
Toplam	99.84	99.76	99.65	99.62	99.83	99.03	99.60	99.93	99.18	99.61	99.31	99.35	99.85	100.33	99.90	100.03	99.79	99.80	99.49	98.51	99.72	99.21	98.59	99.24	99.92	
Si	9.61	9.49	9.53	9.44	9.59	9.52	9.64	9.50	9.39	9.30	9.75	9.66	9.29	9.67	9.37	9.39	9.70	9.33	9.67	9.50	9.46	9.35	9.41	9.49	9.50	
Al(t)	6.22	6.36	6.34	6.41	6.27	6.31	6.19	6.38	6.46	6.53	6.09	6.20	6.56	6.16	6.49	6.47	6.13	6.54	6.16	6.32	6.41	6.50	6.42	6.87	6.29	
Fe⁺²	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.17	0.14	0.15	0.14	0.14	0.17	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15	0.16	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.16	
Ca	2.45	2.61	2.57	2.66	2.53	2.60	2.42	2.59	2.71	2.84	2.41	2.42	2.79	2.42	2.73	2.68	2.41	2.72	2.46	2.63	2.63	2.73	2.74	2.95	2.67	
Na	1.57	1.39	1.33	1.30	1.39	1.39	1.58	1.33	1.27	1.21	1.52	1.48	1.21	1.56	1.24	1.32	1.54	1.22	1.50	1.42	1.32	1.29	1.24	1.15	1.36	
K	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.12	0.09	0.08	0.07	0.11	0.11	0.07	0.11	0.08	0.08	0.12	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	
Toplam	20.11	20.07	20.01	20.05	20.02	20.07	20.11	20.02	20.06	20.07	20.02	20.04	20.07	20.08	20.05	20.08	20.06	20.05	20.05	20.09	20.04	20.09	20.04	20.68	20.08	
% An	59.52	63.85	64.34	65.83	63.02	63.53	58.84	64.62	66.68	69.03	59.61	60.27	68.62	59.21	67.51	65.72	59.28	67.68	60.51	63.48	65.16	66.53	67.39	70.72	64.69	
% Ab	38.05	33.96	33.46	32.10	34.65	34.11	38.36	33.16	31.31	29.34	37.66	36.96	29.66	38.09	30.61	32.31	37.85	30.36	36.98	34.28	32.85	31.50	30.66	27.56	33.06	
% Or	2.43	2.20	2.20	2.07	2.33	2.36	2.80	2.23	2.01	1.63	2.73	2.77	1.73	2.70	1.88	1.97	2.87	1.96	2.51	2.24	1.99	1.97	1.95	1.71	2.25	

Ek Tablo 2'nin devamı

Birim Ad	Bazaltik dayk																								
	Örnek No	N-8 c1	N-8 c1	N-8 c2	N-8 c2	N-8 c2	N-8 c2	N-8 c2	N-8 c3	N-8 c4	N-8 c4	N-8 c6	N-8 c6	N-8 c7	N-8 c7	N-8 c7	N-8 c7	N-8 c7	N-8 c9	N-8 c9	N-8 c9	N-8 c10	N-33 c1	N-33 c1	N-33 c3
	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-2	plaj-2	plaj	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-2	plaj-2	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj	plaj
	feno	feno	feno	feno	feno	feno	mik1	mik2	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	mik3	feno	feno	feno	mik4	mik1	mik2	mik3
	m	k	m	k	m	k	m	m	m	k	m	k	m	k	m	k	m	m	m	k	m	m	m	m	m
SiO₂ (%)	52.23	51.23	50.81	50.31	50.78	50.80	53.33	51.90	51.53	51.81	51.89	50.97	50.72	51.27	50.73	51.73	52.68	49.80	51.32	52.24	51.27	50.76	48.92		
Al₂O₃	29.25	30.09	30.45	30.81	30.26	30.93	28.75	29.56	29.60	29.47	29.81	30.22	30.48	30.15	30.92	29.88	29.41	30.83	30.30	29.55	29.96	30.29	31.47		
FeO*	0.87	0.94	0.78	0.93	0.90	0.89	1.30	1.01	0.88	1.07	0.84	0.96	0.95	0.94	0.92	0.93	1.02	0.86	0.93	0.97	1.02	1.16	1.02		
CaO	12.86	13.41	13.82	14.20	14.21	14.36	12.11	13.26	13.25	13.37	13.29	13.96	14.24	13.86	14.38	13.74	12.96	14.71	13.94	13.15	13.43	13.58	15.21		
Na₂O	3.60	3.51	3.14	3.13	3.17	3.04	4.16	3.54	3.62	3.55	3.71	3.40	3.25	3.42	3.09	3.30	4.01	2.87	3.28	3.81	3.47	3.37	2.75		
K₂O	0.50	0.43	0.38	0.35	0.36	0.32	0.62	0.48	0.42	0.42	0.44	0.40	0.35	0.41	0.37	0.41	0.49	0.28	0.40	0.48	0.38	0.35	0.24		
Toplam	99.32	99.62	99.38	99.73	99.68	100.33	100.27	99.75	99.31	99.69	99.98	99.91	99.99	100.05	100.41	100.00	100.57	99.35	100.17	100.21	99.54	99.50	99.62		
Si	9.58	9.40	9.33	9.23	9.32	9.26	9.70	9.50	9.47	9.49	9.47	9.34	9.29	9.37	9.25	9.45	9.56	9.18	9.36	9.52	9.70	9.33	9.03		
Al(t)	6.32	6.50	6.59	6.67	6.55	6.64	6.16	6.38	6.41	6.36	6.41	6.52	6.58	6.50	6.64	6.43	6.29	6.70	6.52	6.35	6.68	6.56	6.84		
Fe⁺²	0.13	0.14	0.12	0.14	0.14	0.14	0.20	0.15	0.14	0.16	0.13	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.16		
Ca	2.53	2.63	2.72	2.79	2.79	2.80	2.36	2.60	2.61	2.63	2.60	2.74	2.79	2.71	2.81	2.69	2.52	2.91	2.73	2.57	2.72	2.67	3.01		
Na	1.28	1.25	1.12	1.11	1.13	1.07	1.47	1.25	1.29	1.26	1.31	1.21	1.15	1.21	1.09	1.17	1.41	1.03	1.16	1.35	1.27	1.20	0.98		
K	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.14	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.10	0.09	0.09	0.11	0.07	0.09	0.11	0.09	0.08	0.06		
Toplam	19.96	20.03	19.97	20.03	20.01	19.99	20.03	20.00	20.02	20.00	20.03	20.05	20.04	20.03	20.02	19.97	20.05	20.01	20.00	20.04	20.64	20.03	20.07		
% An	64.39	66.14	69.29	70.01	69.73	70.93	59.42	65.55	65.26	65.89	64.73	67.80	69.33	67.46	70.44	68.01	62.33	72.71	68.49	63.75	66.57	67.59	74.27		
% Ab	32.63	31.32	28.46	27.95	28.20	27.16	36.95	31.63	32.29	31.67	32.71	29.87	28.63	30.14	27.40	29.59	34.88	25.66	29.20	33.46	31.17	30.35	24.31		
% Or	2.99	2.54	2.25	2.04	2.08	1.91	3.63	2.82	2.45	2.44	2.56	2.33	2.03	2.40	2.16	2.40	2.79	1.63	2.31	2.80	2.26	2.06	1.42		

Ek Tablo 2'nin devamı

Birim Ad	Bazaltik dayk																				
	Örnek No	N-33 c5	N-33 c5	N-33 c8	N-33 c8	N-33 c8	N-33 c11	N-33 c11	N-33 c11	N-5 c1	N-5 c1	N-5 c3	N-5 c3	N-5 c5	N-5 c5	N-5 c5	N-5 c6	N-5 c7	N-5 c7	N-5 c8	N-5 c8
	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj	plaj	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1	plaj-1
	feno	feno	feno	feno	mik4	feno	feno	feno	feno	feno	mik1	mik2	feno	feno	mik	mik4	feno	feno	feno	feno	feno
	m	k	m	k	m	m	orta	k	m	k	m	m	m	k	m	m	m	k	m	k	k
SiO₂ (%)	49.39	49.77	50.57	49.37	48.99	50.80	50.89	48.97	47.94	50.90	51.99	55.61	47.58	49.09	51.71	52.19	49.93	54.45	49.61	48.61	
Al₂O₃	31.53	27.16	30.91	31.64	31.26	30.17	30.18	31.11	33.01	30.35	29.98	27.88	33.19	30.94	30.52	29.63	31.15	28.38	31.37	31.73	
FeO*	0.64	3.31	0.84	0.88	1.03	0.84	1.06	0.93	0.80	0.71	0.64	0.73	0.74	1.13	0.67	0.77	0.80	0.70	0.72	0.89	
CaO	14.70	12.74	14.33	15.15	15.33	14.29	13.90	14.75	16.61	13.69	13.17	10.04	16.81	14.74	13.54	13.18	14.80	11.29	14.91	15.70	
Na₂O	2.76	2.22	2.92	2.76	2.71	3.17	3.40	2.85	2.15	3.56	3.69	5.08	2.12	2.71	3.60	4.04	3.03	4.73	2.95	2.39	
K₂O	0.39	0.82	0.35	0.29	0.26	0.43	0.43	0.30	0.19	0.45	0.47	0.93	0.21	0.23	0.37	0.48	0.28	0.70	0.33	0.30	
Toplam	99.41	96.01	99.91	100.09	99.59	99.70	99.86	98.91	100.69	99.66	99.94	100.27	100.64	98.84	100.41	100.29	99.99	100.25	99.89	99.62	
Si	9.10	9.56	9.25	9.05	9.05	9.33	9.33	9.09	8.77	9.34	9.48	10.03	8.72	9.11	9.39	9.50	9.15	9.86	9.11	8.97	
Al(t)	6.84	6.15	6.67	6.84	6.80	6.53	6.52	6.80	7.12	6.56	6.44	5.93	7.17	6.77	6.53	6.36	6.73	6.05	6.79	6.90	
Fe⁺²	0.10	0.53	0.13	0.13	0.16	0.13	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	0.18	0.10	0.12	0.12	0.11	0.11	0.14	
Ca	2.90	2.62	2.81	2.98	3.03	2.81	2.73	2.93	3.26	2.69	2.57	1.94	3.30	2.93	2.63	2.57	2.91	2.19	2.93	3.10	
Na	0.99	0.82	1.03	0.98	0.97	1.13	1.21	1.03	0.76	1.27	1.30	1.78	0.75	0.97	1.27	1.42	1.08	1.66	1.05	0.85	
K	0.09	0.20	0.08	0.07	0.06	0.10	0.10	0.07	0.04	0.11	0.11	0.21	0.05	0.06	0.09	0.11	0.06	0.16	0.08	0.07	
Toplam	20.02	19.88	19.97	20.05	20.07	20.02	20.06	20.06	20.07	20.07	20.01	20.00	20.10	20.02	20.02	20.09	20.05	20.03	20.06	20.04	
% An	72.91	71.86	71.57	73.92	74.59	69.54	67.61	72.76	80.16	66.24	64.52	49.36	80.47	74.00	66.06	62.61	71.78	54.58	72.25	77.04	
% Ab	24.77	22.61	26.34	24.37	23.90	27.95	29.90	25.48	18.74	31.16	32.72	45.21	18.36	24.60	31.80	34.69	26.63	41.41	25.85	21.20	
% Or	2.32	5.54	2.08	1.71	1.51	2.50	2.49	1.76	1.10	2.60	2.76	5.43	1.18	1.40	2.14	2.70	1.59	4.01	1.90	1.76	

Ek Tablo 2'nin devamı

Birim Ad	Bazaltik dayk					
	Örnek No	N-5 c8	N-5 c8	N-5 c8	N-5 c10	N-5 c10
	plaj-2	plaj-2	plaj-3	plaj-3	plaj-1	plaj-1
	feno	feno	feno	feno	feno	feno
	m	k	m	k	m	k
SiO₂ (%)	46.47	51.78	50.41	50.90	48.86	52.76
Al₂O₃	34.02	30.06	30.97	30.91	32.40	29.34
FeO*	0.78	0.65	0.70	0.69	0.68	0.64
CaO	17.47	12.94	14.33	13.82	15.64	12.48
Na₂O	1.63	3.74	3.27	3.27	2.55	4.10
K₂O	0.13	0.50	0.36	0.37	0.26	0.54
Toplam	100.50	99.67	100.03	99.96	100.39	99.86
Si	8.54	9.47	9.22	9.30	8.94	9.61
Al(t)	7.37	6.48	6.68	6.65	6.98	6.30
Fe⁺²	0.12	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10
Ca	3.44	2.53	2.81	2.70	3.07	2.44
Na	0.58	1.33	1.16	1.16	0.90	1.45
K	0.03	0.12	0.08	0.09	0.06	0.13
Toplam	20.08	20.02	20.06	20.00	20.05	20.02
% An	84.95	63.74	69.33	68.48	76.05	60.74
% Ab	14.30	33.35	28.62	29.32	22.45	36.12
% Or	0.75	2.92	2.05	2.21	1.50	3.14

Ek Tablo 3. Kışlaköy (Erzurum-Narman) yöresi Eosen yaşlı volkanik kayalara ait olivin minerallerinin mikroprob analiz sonuçları.

Birim Adı	Bazalt																				
	Örnek No	N-38 c1	N-38 c1	N-38 c2	N-38 c2	N-38 c2	N-38 c2	N-38 c2	N-38 c2	N-38 c4	N-38 c4	N-38 c4	N-38 c5	N-38 c6	N-38 c6	N-38 c6	N-38 c6	N-38 c7	N-38 c7	N-38 c8	N-38 c8
	ol1	ol1	ol1	ol1	ol2	ol2	ol3	ol3	ol1	ol1	ol2	ol1	ol1	ol1	ol2	ol2	ol1	ol1	ol1	ol1	
	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno
	m	k	m	k	m	k	m	k	m	k	m	m	m	k	m	k	m	k	m	k	
SiO₂ (%)	39.65	37.84	40.06	38.45	40.22	38.74	40.19	39.85	40.09	37.42	39.77	39.87	41.16	38.80	40.98	39.47	39.05	38.13	39.96	37.94	
TiO₂	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al₂O₃	0.01	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.06	0.09	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.02	0.02	0.07	0.01	0.03	
Cr₂O₃	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FeO	16.21	24.73	14.97	22.65	13.85	18.84	13.87	16.14	13.57	25.82	16.70	17.76	8.53	20.55	10.79	18.73	19.13	24.09	15.95	25.76	
MnO	0.24	0.48	0.26	0.41	0.24	0.36	0.26	0.26	0.25	0.54	0.25	0.31	0.09	0.42	0.14	0.34	0.32	0.46	0.30	0.55	
MgO	43.11	36.52	44.10	38.70	44.93	40.80	44.84	43.53	45.34	35.74	42.87	42.33	49.34	39.83	47.65	41.27	41.51	38.02	43.96	35.85	
NiO	0.22	0.21	0.25	0.16	0.26	0.21	0.19	0.22	0.29	0.13	0.27	0.18	0.44	0.26	0.31	0.15	0.25	0.14	0.20	0.16	
CaO	0.33	0.24	0.21	0.28	0.23	0.30	0.27	0.19	0.28	0.24	0.23	0.22	0.10	0.23	0.12	0.25	0.23	0.25	0.25	0.25	
Toplam	99.78	100.12	99.90	100.71	99.75	99.36	99.69	100.30	99.86	99.91	100.14	100.69	99.75	100.13	100.07	100.23	100.50	101.17	100.63	100.54	
Si	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.00	0.99	1.00	1.00	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe(ii)	0.34	0.54	0.31	0.49	0.29	0.41	0.29	0.34	0.28	0.57	0.35	0.37	0.17	0.44	0.22	0.40	0.41	0.52	0.33	0.57	
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Mg	1.63	1.43	1.65	1.49	1.68	1.57	1.68	1.63	1.69	1.42	1.62	1.59	1.80	1.53	1.75	1.57	1.58	1.47	1.64	1.41	
Ni	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
TOTAL	3.00	3.00	2.99	3.00	2.99	3.00	2.99	3.00	3.00	3.01	2.99	2.99	2.99	3.00	2.99	2.99	3.00	3.01	3.00	3.00	
Mg #	0.83	0.72	0.84	0.75	0.85	0.79	0.85	0.83	0.86	0.71	0.82	0.81	0.91	0.78	0.89	0.80	0.79	0.74	0.83	0.71	
Fo	82.37	72.08	83.77	74.95	85.03	79.11	84.97	82.55	85.40	70.74	81.85	80.68	91.08	77.20	88.60	79.41	79.18	73.40	82.83	70.84	
Fa	17.37	27.38	15.95	24.60	14.70	20.49	14.74	17.17	14.34	28.66	17.88	18.98	8.83	22.34	11.26	20.22	20.46	26.09	16.86	28.54	

Formül 4 oksijene göre hesaplanmıştır, Mg#=Mg/(Mg+Fe+2), Fe+2 toplam Fe olarak hesaplanmıştır. k: kenar, m: merkez, feno: fenokristal, ol:olivin

Ek Tablo 3'ün devamı

Birim Ad	Bazalt																							
	Örnek No	N-38 c8	N-38 c8	N-38 c10	N-36 c3	N-36 c4	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c5	N-36 c7	N-36 c7	N-36 c8	N-26 c1	N-26 c2	N-26 c3	N-26 c3	N-26 c5	N-26 c7	N-26 c1	N-26 c2	N-26 c3	N-26 c3	
	ol2	ol2	ol1	ol1	ol	ol1	ol1	ol1	ol	ol1	ol2	ol1	ol	ol1	ol1	ol1	ol2	ol	ol1	ol	ol1	ol1	ol2	
	feno	feno			ink	feno	feno		ink				ink					ink	ink					
	m	k	m	m	m	m	k	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
SiO₂ (%)	39.87	38.38	39.31	37.59	37.99	38.07	37.75	38.91	50.58	37.93	37.17	37.26	50.52	37.66	37.44	37.29	50.51	37.90	50.52	37.66	37.44	37.29		
TiO₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.67	0.00	0.00	0.04	0.55	0.01	0.00	0.00	0.57	0.00	0.55	0.01	0.00	0.00		
Al₂O₃	0.05	0.06	0.03	0.06	0.05	0.01	0.00	1.27	3.77	0.04	0.01	0.05	3.10	0.04	0.05	0.01	2.63	0.06	3.10	0.04	0.05	0.01		
Cr₂O₃	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00		
FeO	14.53	21.95	18.57	27.95	25.89	24.71	26.45	29.06	9.16	27.79	27.76	27.96	8.63	26.55	26.78	26.39	9.11	26.28	8.63	26.55	26.78	26.39		
MnO	0.25	0.42	0.35	0.51	0.43	0.43	0.47	0.56	0.26	0.48	0.49	0.51	0.24	0.53	0.52	0.54	0.28	0.49	0.24	0.53	0.52	0.54		
MgO	44.60	38.71	41.53	34.32	35.81	36.40	35.07	31.41	14.52	33.98	34.16	33.93	15.45	35.08	35.45	35.52	15.33	35.75	15.45	35.08	35.45	35.52		
NiO	0.30	0.15	0.20	0.06	0.15	0.20	0.08	0.12	0.03	0.07	0.06	0.09	0.08	0.00	0.07	0.05	0.03	0.07	0.08	0.00	0.07	0.05		
CaO	0.20	0.23	0.19	0.27	0.29	0.13	0.25	1.50	20.37	0.29	0.33	0.33	21.02	0.23	0.27	0.28	20.00	0.31	21.02	0.23	0.27	0.28		
Toplam	99.81	99.91	100.17	100.75	100.60	99.96	100.07	102.92	99.51	100.58	99.99	100.15	99.67	100.10	100.58	100.09	98.47	100.85	99.67	100.10	100.58	100.09		
Si	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.26	1.01	1.00	1.00	1.26	1.00	0.99	0.99	1.27	1.00	1.26	1.00	0.99	0.99		
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00		
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00		
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Fe(ii)	0.31	0.48	0.40	0.62	0.57	0.54	0.59	0.63	0.19	0.62	0.62	0.63	0.18	0.59	0.59	0.59	0.19	0.58	0.18	0.59	0.59	0.59		
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Mg	1.67	1.50	1.58	1.36	1.41	1.43	1.39	1.22	0.54	1.35	1.36	1.35	0.57	1.39	1.40	1.41	0.58	1.40	0.57	1.39	1.40	1.41		
Ni	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.54	0.01	0.01	0.01	0.56	0.01	0.01	0.01	0.54	0.01	0.56	0.01	0.01	0.01		
TOTAL	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.96	2.67	2.99	3.00	3.00	2.68	3.00	3.01	3.01	2.68	3.00	2.68	3.00	3.01	3.01		
Mg #	0.85	0.76	0.80	0.69	0.71	0.72	0.70	0.66	0.74	0.69	0.69	0.68	0.76	0.70	0.70	0.71	0.75	0.71	0.76	0.70	0.70	0.71		
Fo	84.32	75.51	79.64	68.25	70.81	72.07	69.89	65.40	73.31	68.17	68.31	67.99	75.62	69.78	69.83	70.16	74.43	70.42	75.62	69.78	69.83	70.16		
Fa	15.41	24.02	19.98	31.17	28.71	27.44	29.57	33.94	25.96	31.28	31.13	31.43	23.70	29.62	29.59	29.24	24.81	29.03	23.70	29.62	29.59	29.24		

Ek Tablo 3'ün devamı

Birim Adı	Bazalt									Bazaltik dayk															
	Örnek NN-26 c5	N-26 c7	N-26 c7	N-26 c8	N-26 c8	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-26 c9	N-33 c1	N-33 c1	N-33 c3	N-33 c3	N-33 c3	N-33 c3	N-33 c4	N-33 c4	N-33 c4	N-33 c6	N-33 c6	N-33 c6	N-33 c6	N-33 c9	N-33 c9
	ol	ol1	ol2	ol1	ol2	ol	ol1	ol2	ol3	ol1	ol1	ol1	ol1	ol1	ol2	ol	ol1	ol1	ol1	ol1	ol1	ol2	ol2	ol1	ol1
	ink					ink				feno	feno	feno	feno	feno	feno	ink	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	k	k	k	k	k	m	m	k	k	m	k	k	k	m	k
SiO₂ (%)	50.51	37.90	37.74	37.38	37.91	38.75	37.65	50.67	37.75	39.00	38.16	40.04	38.61	39.70	38.74	39.23	38.30	37.81	39.12	37.58	38.99	37.27	40.90	38.66	
TiO₂	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al₂O₃	2.63	0.06	0.03	0.06	0.02	3.07	0.05	0.02	0.05	0.04	0.10	0.05	0.05	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.08	0.03	0.03	0.09	0.03	0.03	
Cr₂O₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	9.11	26.28	25.78	20.45	26.37	9.66	26.39	19.36	14.74	20.25	24.98	16.27	23.34	15.24	21.99	19.72	23.74	26.65	19.06	27.61	20.58	26.14	12.64	21.53	
MnO	0.28	0.49	0.49	0.53	0.53	0.32	0.54	0.32	0.15	0.42	0.50	0.24	0.45	0.24	0.39	0.32	0.46	0.57	0.35	0.61	0.39	0.58	0.20	0.41	
MgO	15.33	35.75	35.60	35.47	35.82	40.50	36.05	15.31	35.50	40.22	36.70	43.41	38.33	44.18	39.06	41.12	37.57	35.06	40.80	34.41	39.52	34.08	46.16	39.04	
NiO	0.03	0.07	0.05	0.08	0.07	0.03	0.03	0.14	0.22	0.13	0.12	0.20	0.14	0.27	0.18	0.13	0.07	0.11	0.11	0.12	0.08	0.11	0.26	0.12	
CaO	20.00	0.31	0.24	0.21	0.26	20.17	0.31	0.29	0.21	0.31	0.24	0.13	0.21	0.17	0.16	0.15	0.28	0.27	0.20	0.25	0.29	0.29	0.26	0.22	
Toplam	98.47	100.85	99.95	94.17	100.98	113.17	101.01	86.15	88.66	100.37	100.80	100.35	101.14	99.82	100.53	100.72	100.47	100.48	99.77	100.61	99.86	98.56	100.44	100.01	
Si	1.27	1.00	1.00	0.99	1.01	1.03	1.00	1.34	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe(ii)	0.19	0.58	0.57	0.45	0.58	0.21	0.59	0.43	0.23	0.43	0.55	0.34	0.50	0.32	0.48	0.42	0.52	0.59	0.41	0.61	0.44	0.59	0.26	0.47	
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Mg	0.58	1.40	1.41	1.40	1.42	1.60	1.42	0.61	0.55	1.54	1.43	1.63	1.48	1.66	1.51	1.56	1.46	1.38	1.56	1.36	1.52	1.37	1.70	1.51	
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	
Ca	0.54	0.01	0.01	0.01	0.01	0.57	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
TOTAL	2.68	3.00	3.00	2.87	3.03	3.53	3.03	2.40	1.80	3.00	3.00	2.99	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.99	3.00	2.99	2.99	2.99	3.00	
Mg #	0.75	0.71	0.71	0.76	0.71	0.88	0.71	0.59	0.71	0.78	0.72	0.83	0.75	0.84	0.76	0.79	0.74	0.70	0.79	0.69	0.77	0.70	0.87	0.76	
Fo	74.43	70.42	70.72	75.09	70.36	87.85	70.47	58.10	70.45	77.63	71.97	82.41	74.17	83.57	75.68	78.53	73.46	69.65	78.93	68.49	77.06	69.45	86.50	76.03	
Fa	24.81	29.03	28.73	24.28	29.06	11.75	28.94	41.20	29.26	21.92	27.48	17.33	25.34	16.17	23.89	21.12	26.03	29.70	20.68	30.82	22.51	29.88	13.29	23.52	

Ek Tablo 4. Kışlaköy (Erzurum-Narman) yöresi Eosen yaşlı volkanik kayalara ait Fe-Ti oksit minerallerinin mikroprob analiz sonuçları

Birim Adı	Bazalt																	
	Örnek No	N-36 c8 opak-1	N-36 c8 opak-2	N-36 c8 opak-3	N-36 c10 opak-4	N-20 c1 opak-1	N-20 c4 opak-1	N-20 c7 opak-2	N-20 c7 opak-3	N-20 c7 opak-4	N-20 c8 opak-5	N-26 opak-1	N-26 c4 opak-2	N-26 c4 opak-1	N-26 c6 opak-3	N-26 c7 opak-1	N-26 c9 opak-1	N-26 c9 opak-1
	kpir-1 içinde									kpir-1 içinde			kpir-2 içinde		kpir-1 içinde	ol-1 içinde		
SiO₂	0.19	0.17	0.26	0.24	0.08	0.14	0.02	0.02	0.10	0.05	0.15	0.14	0.18	0.09	0.12	0.41	0.08	
TiO₂	18.64	18.66	18.17	16.95	1.22	3.12	1.32	46.53	1.19	1.15	11.41	12.67	9.38	14.20	9.30	6.28	9.36	
Al₂O₃	1.79	1.91	1.74	1.82	2.16	3.34	2.02	0.90	1.86	2.04	3.95	4.09	5.21	3.12	5.70	8.49	5.40	
Cr₂O₃	0.02	0.03	0.03	0.04	0.33	0.93	0.28	0.03	0.09	0.44	0.84	0.96	0.74	1.27	0.58	0.79	0.78	
FeO	73.76	74.29	74.56	75.89	86.36	81.35	84.32	43.76	85.62	85.34	75.46	73.96	75.44	73.93	74.73	72.71	74.29	
MnO	0.54	0.61	0.71	0.51	0.83	0.96	0.70	0.10	0.61	0.69	0.43	0.40	0.35	0.52	0.38	0.51	0.40	
MgO	0.69	0.65	0.51	0.52	1.03	1.14	3.13	3.58	2.60	3.22	1.94	2.48	2.52	1.50	3.39	4.15	3.39	
CaO	0.09	0.06	0.11	0.14	0.07	0.06	0.06	0.04	0.10	0.02	0.02	0.04	0.07	0.08	0.11	0.14	0.02	
Toplam	95.77	96.47	96.15	96.22	92.18	91.13	91.98	94.97	92.26	93.02	94.20	94.78	93.90	94.75	94.41	93.52	93.78	
Si	0.06	0.05	0.08	0.07	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.12	0.02	
Ti	4.23	4.20	4.11	3.82	0.28	0.72	0.30	10.75	0.27	0.26	2.55	2.83	2.10	3.17	2.08	1.40	2.09	
Al	0.64	0.68	0.62	0.64	0.78	1.22	0.72	0.33	0.66	0.72	1.38	1.43	1.82	1.09	2.00	2.97	1.89	
Cr	0.00	0.01	0.01	0.01	0.08	0.23	0.07	0.01	0.02	0.10	0.20	0.23	0.17	0.30	0.14	0.18	0.18	
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe(iii)	6.79	6.81	7.00	7.55	14.53	13.02	14.60	0.00	14.71	14.63	8.17	8.69	8.68	7.91	9.42	10.12	9.00	
Fe(ii)	11.81	11.79	11.74	11.49	7.60	7.97	6.70	0.00	6.94	6.66	10.59	9.70	10.07	10.47	9.16	7.96	9.47	
Mn	0.14	0.16	0.18	0.13	0.22	0.25	0.18	0.02	0.16	0.17	0.11	0.10	0.09	0.13	0.10	0.13	0.10	
Mg	0.31	0.29	0.23	0.23	0.47	0.53	1.41	1.64	1.17	1.43	0.86	1.10	1.12	0.67	1.50	1.84	1.50	
Ca	0.03	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	
Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	25	24	

Fe+2 ve Fe+3 ayırımı stokiometrik olarak hesaplanmıştır. Formül 32 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.

Ek Tablo 4'ün devamı

Birim Adı	Bazaltik dayk												
	Örnek No	N-33 c2 opak-1	N-33 c2 opak-2	N-33 c2 opak-3	N-33 c2 opak-4	N-5 c1 opak-1	N-5 c2 opak-1	N-5 c4 opak-1	N-5 c4 opak-2	N-5 c5 opak-	N-5 c5 opak-3	N-5 c6 opak-4	N-5 c9 opak-1
						kpir-1 içinde	kpir içinde						kpir-3 içinde
SiO₂	0.06	0.09	0.05	0.07	0.12	0.11	0.06	0.15	0.07	0.17	0.09		0.10
TiO₂	11.01	12.69	10.73	14.01	15.99	9.57	9.82	17.41	12.20	16.18	16.29		12.57
Al₂O₃	2.33	1.73	2.33	2.29	2.74	3.39	2.70	2.17	2.05	2.54	2.49		2.98
Cr₂O₃	0.03	0.05	0.05	0.02	0.09	0.99	1.90	0.10	0.62	0.17	0.11		0.57
FeO	79.92	78.77	80.74	76.29	72.86	74.79	74.50	71.45	75.20	72.52	73.44		73.27
MnO	0.45	0.55	0.34	0.54	0.58	0.59	0.47	1.31	0.46	0.58	0.61		0.52
MgO	1.08	0.93	0.82	1.85	1.98	3.14	4.03	0.84	3.58	2.09	1.89		3.79
CaO	0.02	0.05	0.08	0.02	0.00	0.17	0.11	0.05	0.06	0.02	0.04		0.05
Toplam	94.92	94.96	95.21	95.21	94.36	92.83	93.61	93.49	94.41	94.32	95.10		93.99
Si	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05	0.03		0.03
Ti	2.49	2.88	2.42	3.15	3.62	2.16	2.19	4.03	2.72	3.66	3.67		2.80
Al	0.83	0.61	0.82	0.80	0.97	1.20	0.94	0.79	0.72	0.90	0.88		1.04
Cr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.23	0.45	0.03	0.15	0.04	0.03		0.13
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Fe(iii)	10.16	9.56	10.29	8.85	7.70	10.18	10.19	7.04	9.64	7.63	7.71		9.16
Fe(ii)	9.90	10.33	9.96	10.20	10.62	8.58	8.28	11.33	9.03	10.62	10.69		9.01
Mn	0.11	0.14	0.09	0.14	0.15	0.15	0.12	0.34	0.12	0.15	0.15		0.13
Mg	0.48	0.42	0.37	0.82	0.89	1.41	1.78	0.39	1.58	0.94	0.85		1.68
Ca	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01		0.02
Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		24

The impact of turnip mosaic virus on physiological and morphological parameters of kale plants

Turnip mosaic virus'un yaprak lahanada bitkilerinin fizyolojik ve morfolojik parametrelerine etkisi

Mehmet Ali ŞEVİK*^{1,a}, Nuran CANSIZ^{1,b}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 55139, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 23.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 05.06.2021

Abstract

Kale is one of the most important leafy vegetables. Turnip mosaic virus (TuMV) is a Potyvirus of the family Potyviridae that causes diseases in kale plants. This study was carried out to determine effect of TuMV on morphological and physiological characteristics of kale plants. Relationships between TuMV infection and some morphological/physiological parameters of kale were determined. According to the results obtained, in TuMV-infected kale plants have reduced plant (6.0%) and leaf (13.9%) length, leaf width (25.9%), stalk length (8.6%), root length (55.5%), plant fresh (37.8%) and, dry (38.9%) weight, root fresh (43.8%), dry (41.1%) weight, leaf chlorophyll (12.4%) and water (0.57%) contents There were significant differences ($p<0.05$) between healthy and infected plants for the morphological and physiological parameters.

Keywords: Brassicaceae, Growth characteristics, Kale, Physiological traits, Virus

Öz

Yaprak lahanada en önemli yaprağı yenen sebze türlerinden biridir. Potyviridae familyası Potyvirus cinsi içerisinde yer alan Turnip mosaic virus (TuMV), yaprak lahanada bitkilerinde hastalıklara neden olmaktadır. TuMV'nin yaprak lahanada bitkilerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla bu çalışma yürütülmüştür. TuMV enfeksiyonu ile yaprak lahanada bitkisinin bazı morfolojik ve fizyolojik parametreleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, TuMV enfeksiyonu yaprak lahanaların; bitki (%6.0) ve yaprak (%13.9) boyunda, yaprak (%25.9) genişliğinde, sap (%8.6) ve kök (%55.9) uzunluğunda, bitki yaş (%37.8) ve kuru (%38.9) ağırlığında, kök yaş (%43.8) ve kuru (%41.1) ağırlığında, yaprak klorofil (%12.4) ve su (%0.57) içeriğinde azalmalara neden olmuştur. TuMV'nin yaprak lahanada bitkilerinin morfolojik ve fizyolojik parametrelere etkisi bakımından, sağlıklı ve enfekteli bitkiler arasında önemli farklılıklar ($p<0.05$) bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Brassicaceae, Gelişim özellikleri, Yaprak lahanada, Fizyolojik özellikler, Virüs

*a Mehmet Ali ŞEVİK; malis@omu.edu.tr, Tel: (0362) 3121919, orcid.org/0000-0002-8895-7944

^b orcid.org/0000-0003-3093-6275

1. Introduction

Turkey is suitable for cole crops production in terms of climatic conditions. The *Brassicaceae* family takes the lead in terms of production in cool climate vegetable species in Turkey (Turkstat, 2018). Species of the *Brassicaceae* family provide important contributions to human nutrition which are grown on a wider area of the world. Eastern Mediterranean countries and Anatolia are considered to be the origin of this group (Fang et al., 2005).

Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) has an important role among the leafy green vegetables in Turkey. Kale cultivation and consumption in Turkey is usually produced intensively in the Black Sea region. Kale cultivation is one of the important agricultural activities in Samsun province as the first rank in terms of production (Turkstat, 2018). There are many factors that influence the quality and quantity of crops in kale production. Several viral pathogens cause disease in species of the *Brassicaceae* family (Raybould et al., 1999; Latham et al., 2003).

Turnip mosaic virus (TuMV) is one of the most common viruses that can infect a large number of cultivated plant species, especially the *Brassicaceae* family (Wang et al., 2015). TuMV, *Potyvirus* genus, the *Potyviridae* family, has flexible rod-shaped particles with a length of 700-750 nm. The virus can spread non-persistently with infested plant materials which was attacked by numerous aphid species (Nguyen et al., 2013).

TuMV has been detected by previous studies as the most common virus in *Brassica* crops (Sevik, 2016a; Sevik, 2019). TuMV was found to be the most common virus in surveyed kale fields in Ordu (Sevik, 2016b) and Samsun (Akcura and Sevik, 2016) provinces in Black Sea Region of Turkey. TuMV may lead to significant yield and quality losses every year in plant species of the *Brassicaceae* family (Rusholme et al., 2007; Jiang et al., 2010). Yet no published findings were reported about the effect of viruses on kale plants which are grown intensively especially in the Black Sea Region of Turkey.

In this study, we aimed to determine the impact of TuMV on morphological and physiological traits in kale plants. The experiments were conducted to investigate the effect of the virus on kale plants.

2. Material and method

2.1. TuMV isolate

TuMV-BA isolate was isolated from cabbage plants in Samsun province. The virus was inoculated to kale seedlings in a climatic chamber (16 hours light at 24 °C and 8 hours dark at 18 °C) in virology laboratory, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University. TuMV inoculated fresh kale leaves were used as virus inoculum in the experiments. The fresh leaves of infected kale were used as source of virus inoculum in the experiments.

2.2. Plant materials

Kale seed samples constitute the research that was obtained from commercial companies in the region. Kale seeds were germinated in viols containing sterile commercial peat. The seedlings were then transferred to large pots in the experiments.

2.3. Mechanical inoculation

Phosphate buffer solution (PBS) (pH: 7.0) 0.01 M was freshly prepared and used for mechanical inoculation (Nguyen et al., 2013). TuMV-infected fresh leaves were homogenized in a chilled sterile mortar containing phosphate buffer solution (1 g/5 ml), carborundum was added and applied to kale plants at its four-leaf stage. The experiment was set up as five replications with twenty plants per repetition. The inoculated plants were kept in the greenhouse and observed for eight weeks (Guo et al., 2005).

2.4. ELISA test

The double-antibody sandwich Enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) was performed to detect the presence of TuMV in inoculated kale plants. DAS-ELISA was performed in line with the procedure reported by the company (Bioreba) where the kit was supplied. The absorbance (A_{405}) in each well of the ELISA plates was read at 405 nm using an ELISA microplate reader (Tecan Spectra II, Austria). Samples with a value three times higher than the absorbance values of the negative controls were evaluated as positive.

2.5. Morphological and physiological measurements

In the current study, plant **length** (cm), root length (cm), leaf length (cm), leaf width (cm), stalk length (cm), plant fresh weight (g), plant dry weight (g), root fresh weight (g), root dry weight (g), leaf chlorophyll and water content (%) were measured in kale plants. The chlorophyll contents of the plants were determined with a Konica Minolta SPAD-502 Plus one day prior to harvest. The average chlorophyll content was recorded at three different points on the top three leaves of each plant (Xie et al., 2016). In a total, fifteen measurements were made for each sample and the mean value was calculated.

The plants were washed with the tap water after harvest and it was measured from the root crown to the tip of the leaf with a millimetric ruler. The plant root length was assessed with the same ruler. For leaf width measurement, six young leaves ripening outwards from the middle were sampled and the distance between the edge points was measured with a ruler. Similarly, the leaf length was measured until the leaf stalk with a ruler. The length of the stalk, from the leaf blade up to the point where it was connected to the stem, was also measured with a ruler.

The weight of biomass and roots of the plants (washed with tap water and excess water removed) were individually measured on a 0.001 g precision digital balance (Kern, EW 220). For dry weight measurement, the biomass and roots were dried for 72 hours at 70 °C in a drying oven and weighed again with a precision balance (Aksu et al., 2017). Leaf water content was calculated via biomass and dry mass values after drying of the leaf sample in the drying oven (Wang et al., 2011).

2.6. Statistical analysis

Statistical analyses were performed using an SPSS software package (Version 21.0, IBM Corp., NY). The plant-root length, leaf length-width, stalk length, plant fresh-dry weight, root fresh-dry weight and chlorophyll content values were subjected to variance analysis with SPSS statistical package program.

3. Results and discussion

In this study, we evaluated the findings of the effects of TuMV, which is common in kale production areas, on the morphological and physiological characteristics of kale crops. Virus symptoms (light mosaic, mosaic, and local lesions) were observed in kale plants after fifteen days of TuMV inoculation. The symptoms in infected plants were consistent with the findings as observed in kale in previous studies. Symptoms were observed on leaves from all inoculated kale plants and TuMV was detected in inoculated plants by DAS-ELISA.

Values and statistical analyzes of some physio-morphological parameters (plant root length, leaf length width, stalk length, plant root fresh weight, plant root dry weight, chlorophyll water content) of kale crops were obtained at the end of the experiment as presented in Table 1 and summarized in Figure 1-3.

It has been determined that TuMV showed negative effect on morphological and physiological parameters in kale plants. When compared with healthy plants, TuMV infected plants reduced plant (6.0 %) and leaf (13.9%) length, leaf (25.9%) width, leaf stalk (8.6%), root (55.5%) length; plant fresh (37.8%) and dry (38.9%) weight, root fresh (43.8%) and dry (41.1%) weight and chlorophyll (12.4%) content. There were significant differences ($p < 0.05$) found between the averages. It was observed that healthy and infected plants have a small difference (0.57%) in leaf water content (Figure 1).

In the present study, it was determined that TuMV marked a negative effect on many morphological parameters in kale plants. Similar results have been obtained in studies on species of the Brassica genus (Liu et al., 1990). According to findings, TuMV usually leads to yield losses of around 30% and reduces plant growth by up to 100% (Liu et al., 1996). According to a study conducted Kenya, the TuMV decreased kale plant and leaf length (Shattuck, 1992). Also, TuMV was found to show a significant decrease in leaf and root weight and marketable leaf counts in kale plants (Spence et al., 2007). Likewise, when compared to control plants at the end of the trial, it was determined that virus-infected plants caused decreases in fresh and dry mass. This result was consistent with the findings of the study with TuMV by Guo et al. (2005).

Table 1. Variables used to determine the effect of TuMV on kale plants.

Parameters	Infected	Control	Significance
Plant length (cm)	28.2 ±3.97	30.0±2.1	*
Leaf length (cm)	10.1 ±0.95	11.8±0.17	*
Leaf width (cm)	6.8 ±0.49	9.1±0.84	**
Stalk length (cm)	8.2 ±2.70	9.0±1.16	*
Root length (cm)	2.0 ±0.97	4.5±1.0	**
Plant fresh weight (g)	19.1 ±0.82	30.7±0.78	**
Plant dry weight (g)	2.5 ±0.33	4.1±0.78	**
Root fresh weight (g)	0.3 ±0.08	0.6±0.39	**
Root dry weight (g)	0.1 ±0.03	0.17±0.23	**
Chlorophyll (%)	38.9 ±4.44	44.4±3.6	*
Leaf water content (%)	86.6 ±0.01	87.1±0.01	-

*Significant at 5%,

**Significant at 1%. Average values in the row imply a statistically significant difference according to the Tukey test ($P < 0.01$). The average values in each case are followed by the value of the standard deviation.

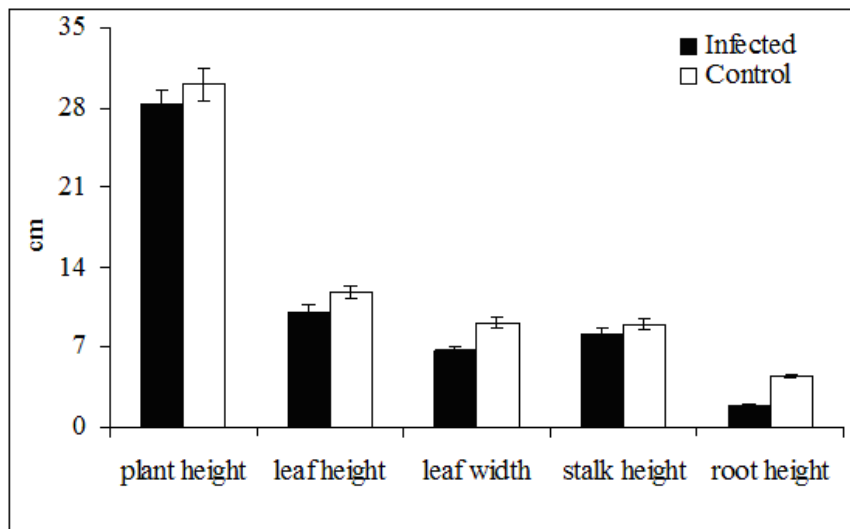


Figure 1. Length of plant, leaf, stalk, and root, leaf width at eight weeks in infected and control plants after TuMV infection.

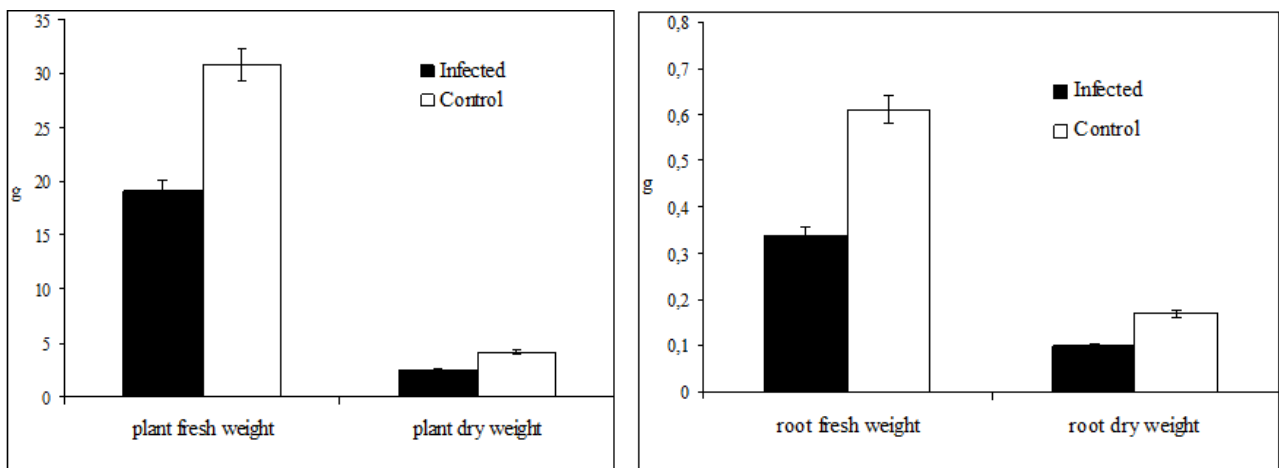


Figure 2. Fresh and dry weight of plants and roots at eight weeks after TuMV inoculation in infected and control plants.

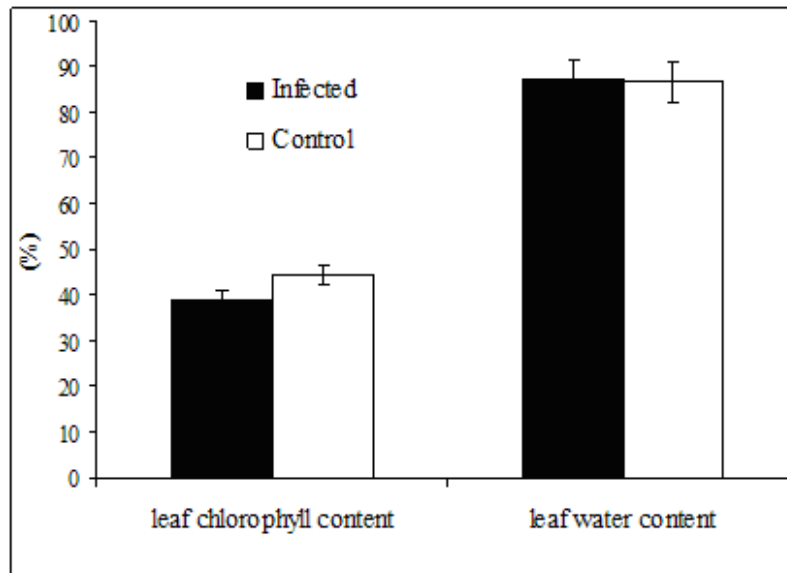


Figure 3. Leaf chlorophyll and water content in TuMV-infected and control plants at eight weeks after inoculation.

TuMV has been reported to cause 40% yield loss in Brassicas (Gorecka and Lehmann, 2001). Similarly, it has been reported by various researchers that the virus has lost yields as follows; 37-90% (Kolte, 2018) in China, 46% (Jones et al., 2007) in Australia and 1.7-8.3% (Tabarestani et al., 2010) in Iran.

Leaf chlorophyll content may be directly related to stress physiology and low chlorophyll content can directly affect photosynthesis in plants (Hooks et al., 2008). In this study, we found that the kale leaf chlorophyll content was decreased by 12.4%. Similarly, leaf chlorophyll content of TuMV-infected mustard plants was found to be lower than the control plants (Guo et al., 2005).

4. Conclusion

In conclusion, TuMV is one of the most important viral pathogens that are common and can lead to serious loss of yields in Brassica crop. The effect of the TuMV infection on kale plant was examined in the current study. From this experiment, it was determined that the virus had a negative effect on yield and physio-morphological characteristics (plant root length, leaf length width, stalk length, plant root biomass, plant root dry mass, chlorophyll content) of kale plants. Statistical analyzes have shown a negative correlation between virus infection and some physio-morphological parameters. There were significant differences found between in infected and control plants.

References

- Akcura, C. and Sevik, M. A. (2016). Determination of viruses in leaf cabbage production areas in Samsun province. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 196-201.
- Aksu, G., Temel, E. and Altay, H. (2017). Effects of potassium iodide foliar applications on iodine enrichment of rocket plant (*Eruca vesicaria*). *Canakkale Onsekiz Mart University, Journal of Agriculture Faculty*, 5(2), 97-104.
- Fang, Z., Liu, Y., Lou, P. and Liu, G. (2005). Current trends in cabbage breeding. *Journal of New Seeds*, 6(2-3), 75-107. https://doi.org/10.1300/J153v06n02_05
- Gorecka, K. and Lehmann, P. (2001). Infectious diseases of horseradish (*Cochlearia armoracia* L.) in Poland. *Plant Breeding and Seed Science*, 45(1), 55-64.
- Guo, D. P., Guo, Y. P., Zhao, J. P., Liu, H., Peng, Y., Wang, Q. M. and Rao, G. Z. (2005). Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. *tsatsai*) after Turnip mosaic virus infection. *Plant Science*, 168(1), 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.019>
- Hooks, C. R. R., Wright, M. G., Kabasawa, D. S., Manandhar, R. and Almeida, R. P. P. (2008). Effect of Banana bunchy top virus infection on morphology and growth characteristics of banana. *Annals of Applied Biology*, 153(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00233.x>

- Jiang, Y., Wang, J. H., Yang, H., Xu, M. Y., Yuan, S., Sun, W. and Lin, H. H. (2010). Identification and sequence analysis of Turnip mosaic virus infection on cruciferous crops in southwest of China. *Journal of Plant Pathology*, 92(1), 241-244. <https://dx.doi.org/10.4454/jpp.v92i1.37>
- Jones, R. A. C., Coutts, B. A. and Hawkes, J. (2007). Yield-limiting potential of Beet western yellows virus in *Brassica napus*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58, 788-801. <https://doi.org/10.1071/AR06391>
- Kolte, S. J. (2018). *Diseases of Annual Edible Oilseed Crops: Rapeseed-Mustard and Sesame Diseases*. CRC press, USA.
- Latham, L. J., Smith, L. J. and Jones, R. A. C. (2003). Incidence of three viruses in vegetable brassica plantings and associated wild radish weeds in south-west Australia. *Australasian Plant Pathology*, 32(3), 387-391. <https://doi.org/10.1071/AP03031>
- Liu, X. P., Lu, W. C., Liu, Y. K. and Li, J. L. (1990). A study on TuMV strain differentiation of cruciferous vegetables from ten provinces in China. *Chinese Science Bulletin*, 35, 1734-1739.
- Liu X. P., Lu, W. C., Liu, Y. K. and Wei, S. Q. (1996). Occurrence and strain differentiation of Turnip mosaic potyvirus and sources of resistance in Chinese cabbage in China. *Acta Horticulturae*, 407, 431-440. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.407.5>
- Nguyen, H. D., Tomitaka, Y., Ho, S. Y. W., Duchene, S., Vetten, H. J., Lesemann, D. and Ohshima, K. (2013). Turnip mosaic potyvirus probably first spread to Eurasian Brassica crops from wild orchids about 1000 years ago. *PLoS One*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055336>
- Raybould, A. F., Maskell, L. C., Edwards, M. L., Cooper, J. I. and Gray, A. J. (1999). The prevalence and spatial distribution of viruses in natural populations of *Brassica oleracea*. *New Phytologist*, 141, 265-275. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00339.x>
- Rusholme, R. L., Higgins, E. E., Walsh, J. A. and Lydiate, D. J. (2007). Genetic control of broad-spectrum resistance to Turnip mosaic virus in *Brassica rapa* (Chinese cabbage). *Journal of General Virology*, 88(11), 3177-3186. <https://doi.org/10.1099/vir.0.83194-0>
- Sevik, M. A. (2016a). Viruses infecting brassica crops in the Black Sea Region of Turkey. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 66(7), 553-557.
- Sevik, M. A. (2016b). Turnip mosaic virus infecting kale plants in Ordu, Turkey. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 85, 231-235. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1199731>
- Sevik, M. A. (2019). Viruses infecting cool season crops in the northern Turkey. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 91(3): e20180224. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180224>
- Shattuck, V. I. (1992). The biology, epidemiology and control of Turnip mosaic virus. J. Janick (Ed) *Plant breeding reviews* (pp. 199-238). New York, John Wiley and Sons.
- Spence, N. J., Phiri, N. A., Hughes, S. L., Mwaniki, A., Simons, S., Oduor, G., Chacha, D., Kuria, A., Ndirangu, S., Kibata, G. N. and Marris, G. C. (2007). Economic impact of Turnip mosaic virus, Cauliflower mosaic virus and Beet mosaic virus in three Kenyan vegetables. *Plant Pathology*, 56, 317-323. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01498.x>
- Tabarestani, A. Z., Shamsbakhsh, M., & Safaei, N. (2010). Distribution of three important aphid borne canola viruses in Golestan province. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 41(2), 251-259.
- Turkstat. (2018). Turkish statistical institute, Production values of crop products. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>. Accessed 20 October 2018.
- Wang, L., Hunt Jr. E. R., Qu, J. J., Hao, X. and Daughtry, C. S. (2011). Estimating dry matter content of fresh leaves from the residuals between leaf and water reflectance. *Remote Sensing Letters*, 2(2), 137-145. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.503973>
- Wang, Z., Jiang, D., Zhang, C., Tan, H., Li, Y., Lv, S. and Cui, X. (2015). Genome-wide identification of turnip mosaic virus-responsive microRNAs in non-heading Chinese cabbage by high-throughput sequencing. *Gene*, 571(2), 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.06.047>
- Xie, T. T., Su, P. X., An, L. Z., Shan, L. S., Zhou, Z. J., & Chai, Z. P. (2016). Physiological characteristics of high yield under cluster planting: photosynthesis and canopy microclimate of cotton. *Plant Production Science*, 19(1), 165-172. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128088>

Emme manifoldu malzeme seçiminde bilgisayar destekli yazılım kullanılması

Using computer-aided software for intake manifold material selection

Şükran EFE^{*1,a}, Murat ÇOLAK^{2,b}

¹Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum / Türkiye

²Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt / Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 07.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 06.06.2021

Öz

Dört zamanlı bir içten yanmalı motor 30 000'den fazla parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar birçoğu, motorlardaki çalışma prensipleri nedeniyle yüksek sıcaklık, yüksek basınç, yüksek gerilmelere maruz kalabilmektedir. Motorlarda gerçekleşen çevrimlerin yüksek motor performansı ve yüksek enerji verimliliği için kararlı yapıda olması gerekmektedir. Bir çevrimin ortalama 0.025 saniyede tamamlandığı düşünülecek olursa, kullanılan çoğu motor parçasının üretimi için gerekli malzeme seçiminin, sistem kararlılığı açısından ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Malzeme seçiminde parçalarda kullanılan malzemelerin yapısal özellikleri kadar kuvvet, basınç, sıcaklık gibi çalışma şartları altındaki davranışlarının da iyi bilinmesi gerekmektedir. Malzeme seçimini önemli kılan bir diğer hususta ekonomikliktir. Malzeme özelliklerinin her geçen gün iyileştirildiği günümüzde, malzeme seçimi için bilgisayar destekli yazılım programları kullanılmaktadır. Bu çalışmada birçok bilgisayar destekli yazılım programına rağmen malzemelerin teknik özellikleriyle birlikte malzemenin ekonomikliğini de analiz eden CES Selector isimli bilgisayar destekli malzeme seçim programı kullanılmıştır. Bu program kullanılarak, motor performansına ve yanma verimine direk etki eden emme manifoldunun malzeme seçimi yapılmıştır. Sonuç olarak kokil kalıba dökülen, T6 ısıtılmış A356 alüminyum alaşımının en uygun malzeme olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayar destekli malzeme seçimi, CES selector yazılımı, Emme manifoldu

Abstract

A four-stroke internal combustion engine consists of more than 30 000 parts. Many of these parts can be exposed to high temperatures, high pressure and high stresses due to the operating conditions of engines. In material selection, it is necessary to know the structural properties of the materials used in the parts as well as their behaviour under operating conditions such as force, pressure, temperature. Considering that a cycle is completed in 0.025 seconds on average, it is seen how important the material selection for the production of most engine parts used is in terms of system stability. Another important factor is economy in material selection. Nowadays, material properties are improving day by day, computer-aided software programs are used for material selection. In this study, a computer-aided material selection program named CES Selector, which analyses the technical properties of the materials as well as the economics of the material, was used despite many computer-aided software programs. By using CES Selector program, material selection of the intake manifold, which directly affects engine performance and combustion efficiency, was made. As a result, it was decided that A356 aluminium alloy cast into gravity mold and T6 heat treated was the most suitable material.

Keywords: Computer-aided material selection, CES selector software, Intake manifold

*a Şükran EFE; sukran.efe@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 4632, orcid.org/0000-0002-4033-6786

^b orcid.org/0000-0002-8255-5987

1. Giriş

Artan dünya nüfusu ve gelişen teknolojiyle birlikte enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Hem kullanılan enerji kaynaklarının tüketim hızını azaltmak hem de bu kaynakların kullanımıyla doğaya salınan zararlı gazların çevredeki tahribatını engellemek amacıyla enerjinin verimli kullanılmasını ön plana çıkaran uluslararası sözleşmeler bulunmaktadır (IEA,2020).

2020 OECD Enerji Raporuna göre; dünyada tüketilen enerjinin miktarı diğer sektörlerde genel olarak aynı iken ulaşım da her geçen gün artmakta ve bu rakam 1971 yılında %23 iken 2015 yılında %29 a yükselerek, yükselişini sürdürmektedir (UNFCCC, 2008). İçten yanmalı motorlar ulaşımında yaygın olarak kullanıldığı için enerji tüketiminde de önemli bir parametredir ve yapılan uluslararası kısıtlamaların temelini teşkil etmektedir. Bir motorun tükettiği enerjiyi azaltmanın en iyi yolu, harcadığı enerjiyi verimli bir şekilde kullanmasını sağlamaktır. Tam bu noktada motor tasarımının önemi ön plana çıkmakta ve literatürde yapılan çalışmalarda tasarımın enerji üzerindeki etkisi incelenmektedir (Vijaya Kumar vd. 2020; Chandekar and Debnath, 2020; Jain et al., 2021). Genel anlamda tasarım; temel bir ihtiyacın karşılanması amacıyla problemin çözümüne yönelik analiz, sentez, malzeme seçimi, ölçme ve kontrol yöntemlerin harmanlanmasıdır. Mühendislikte tasarımı ise herhangi teknik bir sistemin fiziksel prensiplerin saptanması, bu prensipleri sağlayan elemanların seçimi, bunların montaj ve parça resimlerinin hazırlanmasına kadar geçen bütün faaliyetleri kapsamaktadır (Ashby et al., 2007; Fındık vd, 2018;). Bu nedenle mühendislik tasarımında ilk ve en önemli aşama; parçanın kullanım amacına uygun özellikte malzeme seçimi olmaktadır (Sapuan, 2001; Sapuan et al., 2002; Amen and Vomacka, 2001).

Dört zaman bir içten yanmalı motorda (İYM) (B ve C segmenti için) 30 000'den fazla parça vardır (Simav ve Ustabaş, 2017). Kritik önemdeki birçok parça, motorlardaki çalışma koşulları nedeniyle yüksek sıcaklık, yüksek basınç, yüksek gerilmelere maruz kalabilmektedir. Çevrim prensibiyle çalışan tüm sistemlerde olduğu gibi, motorlarda da çevrim kararlılığı; sistem çabışması, performans ve verimlilik açısından çok önemlidir. Çevrim kararlılığı için her çevrimin aynı başlangıç şartlarında yeniden başlatılması gerekmektedir. İYM'deki çevrimlerin başlangıç şartlarının atmosfer şartlarına yakın olmasına rağmen çalışma şartlarının ortalama 1000°C ve 3 MP gibi yüksek değerlerde olması ve daha da önemlisi çevrimin

ortalama 0.025 saniye kadar kısa sürede gerçekleşmesi, İYM da çevrim kararlılığını sağlamanın ne kadar zor olduğunu göstermektedir. Bu kararlılığı sağlamak için dikkat edilmesi gereken husus doğru tasarım için uygun malzeme seçimidir (Ferguson and Kirkpatrick, 2001; Safgönül vd., 2008).

Motorlarda kullanılan birçok parça kararlı çalışma şartlarında maruz kaldığı ısı nedeniyle belirli bir miktar ısınır (Şekil 1) ve üretildiği malzemeye göre de ısı genleşmeye maruz kalır. Çevrimin ilk başlangıç noktası olan atmosfer şartlarındaki dolgunun (hava veya yakıt-hava karışımı) silindir içerisine alınmasından sonra, dolgunun sıcaklığı emme manifoldunun şartlarına (tasarım, sürtünme, yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığı vb.) bağlı olarak 60°C ye kadar artmaktadır (Pulkrabek, 1997).

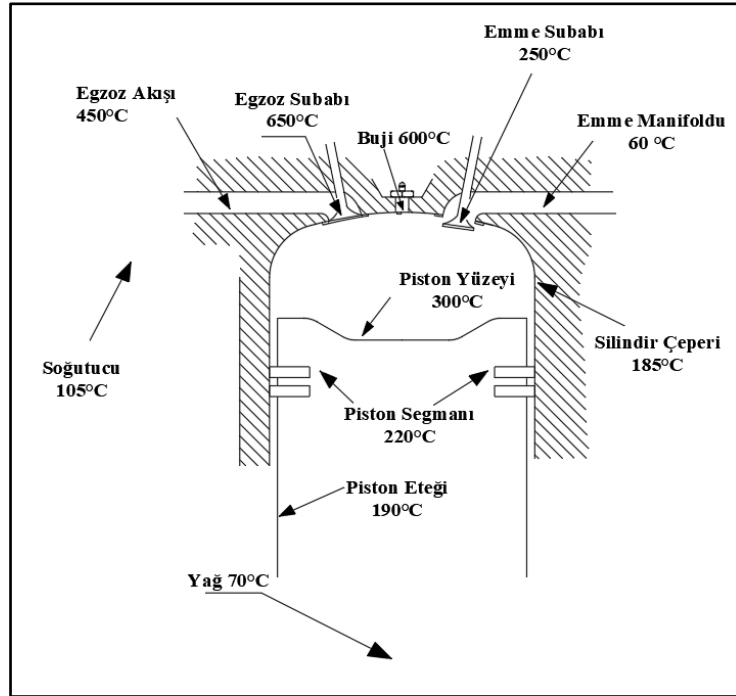
Emme manifoldu, dağıtıcı olarak isimlendirilen borular içinden dolguyu her bir silindire eşit olarak aktaran, sistem verimine direkt etki eden motor parçasıdır. Kullanılan motor tasarımına bağlı olarak, piyasada farklı şekil ve malzemelerden üretilmiş birçok emme manifoldu bulunmaktadır (Şekil 2).

Kararlı haldeki bir motorda emme manifoldunun çeper sıcaklığı, içerisinden akan dolgudan daha fazladır. Bunun sebebi, manifold çeperinin hem motor bloğu ile temasından kaynaklanı ısı iletimi hem de sıcak motor parçalarından kaynaklanan ısı taşınımıdır. Emme manifoldunun ısınmasıyla artan dolgu sıcaklığı; (1) yakıtın daha erken buharlaşarak hava ile daha homojen bir karışım elde edilmesine, (2) dolgudaki havanın yoğunluğunun azalmasına ve yakıtın buharlaşmasına (buharlaşan yakıt molekülleri dolgudaki hava moleküllerinin yerini alır) neden olduğu için motorun volümetrik veriminin düşmesine, (3) silindir içine alınan dolgu sıcaklığının artmasına ve artan dolgu sıcaklığı nedeniyle çevrimdeki diğer sıcaklıkların artarak vuruşu meylini artırmasına sebep olmaktadır (Heywood, 1988).

Motor performansının ve veriminin direkt etkilendiği emme manifoldu tasarımında malzeme seçimi yapılırken, çalışma şartları azami önemde dikkate alınmalıdır. Genel olarak çalışma şartları incelendiğinde; (1) soğuk iklim şartlarında (ortalama -30°C) ki bir aracın emme manifoldu motorun çalışmasıyla kararlı hale (yaklaşık 60°C) gelerek yaklaşık 30 dakikada 80-100°C de sıcaklık değişimine maruz kalacağı için bu sıcaklık değişiminde deformasyona uğramadan, oluşacak gerilmeleri absorbe edebilecek özelliğine sahip olmalı, (2) soğuk iklim şartlarında motorun ilk

çalışmasını kolaylaştırmak amacıyla dolguyu ısıtabilecek tasarımda imal edilebilmeli, (3) motorun kararlı çalışma şartlarında ısınması nedeniyle şekilsel deformasyonu engellemek amacıyla uygun ısıl genişleme katsayısına ve dolgunun aşırı ısınmasını engelleyerek homojen bir karışım elde etmek amacıyla da yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalı, (4) konumu nedeniyle olağan dışı durumlarda aşırı ısıya maruz kalma ihtimali göz önüne alındığında, yapısal deformasyonları en aza indirmek amacıyla uygun genişleme katsayısına sahip olmalı, (5) yüksek iç yüzey pürüzlülüğü, sürtünmeyi artırarak dolgunun hızını düşmesine, basınç ve sıcaklık artışına neden olacağı için uygun yüzey pürüzlülük değeri için

uygun üretim yöntemi belirlenmeli, (6) enerji verimliliğini artırmak amacıyla maliyet ve sürdürülebilirlik de göz önüne alınarak en hafif malzemenin seçimine, (7) hassas yüzey pürüzlülüğü ve hassas geometrik yapısı nedeniyle üretim yöntemi göz önüne alınarak uygun malzeme seçimi yapılmasına, (8) dağıtıcılarda homojen akışı sağlamak ve yüzey sürtünmelerini minimuma indirmek amacıyla tasarımda keskin dağıtıcı ayrımlarından, keskin köşelerden kaçınılmalı, (9) minimum maliyet maksimum performans göz önüne alınarak yeterli hacim belirleme, (10) atmosfer havasıyla sürekli teması nedeniyle yüksek korozyon direncine sahip olması istenilmektedir.



Şekil 1. Normal kararlı şartlarda çalışan bir benzinli motorun tipik sıcaklık değerleri (Pulkraberk, 1997).



Şekil 2. Farklı tasarımlı emme manifold örnekleri (Röchling Automotive, 2021)

İnşaat, mekanik, elektronik, bilişim gibi günümüzdeki bütün mühendislik sistemlerinde performans ve ekonomikliği sağlamak amacıyla kullanılan metalleri, seramikleri, camları, polimerleri, elastomerleri ve kompozitleri içeren geniş bir malzeme envanteri bulunmaktadır. Bu

temel malzemeler içerisine alaşımlar ve kaplamalar gibi yeni geliştirilen malzemeler de ilave edildiğinde, ürün yelpazesi genişlemekle birlikte uygun malzeme seçimi de giderek kompleks hale gelmektedir (Ashby et al., 2004; Bovea and Vidal, 2004; Cebon and Ashby, 2005; Giudice et al.,

2005; Goldsberry, 2006; Jalham, 2006; Balakrishna et al., 2007; Karana et al., 2008; Ramalhete et al., 2010). Özellikle bir parçanın başlangıç ve çalışma şartlarına göre değişen malzeme özelliklerini (moleküler yapı, yoğunluk, termal davranış, mekanik özellikler, gerilme davranışlarını vb.) bir araya getirerek analiz edebilen bilgisayar destekli analiz sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler, birçok malzemenin birçok özelliğini depolayarak, bilgisayar ortamında analiz edilmesine imkân tanımakta, tasarımcıya geniş bir yelpazeden hızlı ve güvenilir sonuç sunarak en uygun malzeme seçimini sağlamaktadır (Askeland, 2009; Shackelford, 2009). Malzemenin birim maliyeti, başlangıç özellikleri, çalışma şartlarındaki özellikler, işlenebilirlik, sürdürülebilirlik, imalat ve montaj kolaylığı, garanti ve servis maliyetleri gibi birçok özellik birlikte değerlendirildiğinde bir parça için malzeme seçiminin ne kadar karmaşık ve zor olduğu ortaya çıkmaktadır. Literatürde malzeme seçimi için farklı malzeme seçim yöntemlerini kullanan birçok çalışma bulunmaktadır. CES Selector isimli bilgisayar destekli malzeme seçim programı literatürde kullanılan birçok programdan farklı olarak; malzemenin mekanik, fiziksel, kimyasal özelliklerin yanı sıra maliyet ve şekillendirilebilirlik özelliğini de göz önüne alarak seçim yapmaktadır. Literatürde bu programın kullanılarak malzeme seçiminin başarılı bir şekilde yapıldığı çalışmalar mevcuttur (Fındık vd., 2015; Sensoy vd., 2019).

Bu çalışmada Ashby ve Granta Design tarafından geliştirilen CES Selector yazılımı kullanılarak motor performansına ve yanma verimine direk etki eden emme manifoldu için malzeme seçimi yapılmıştır. Yapılan çalışma ile CES Selector programının hem çok geniş olan ürün yelpazesinden faydalanmak hem de elde edilen sonuçları günümüzde kullanılan emme manifold malzemeleriyle karşılaştırmak amaçlanmıştır.

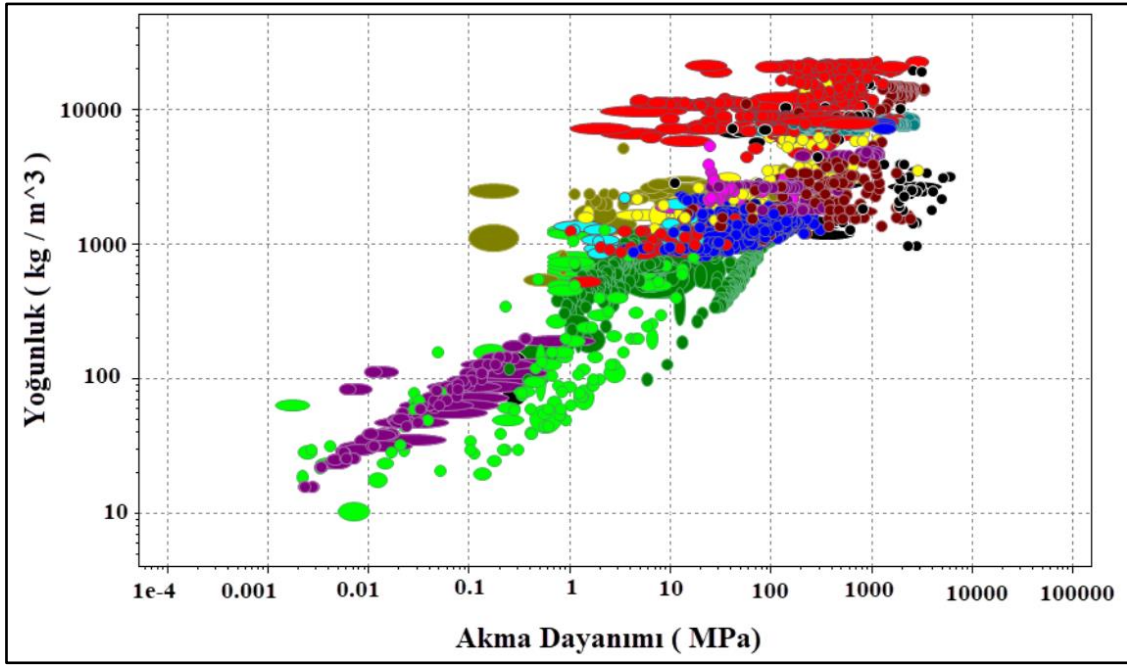
2. Materyal ve metod

Bilgisayar destekli malzeme seçim programı CES Selector yazılımının arayüzü oldukça sade ve kullanışlıdır. Hem malzeme yelpazesinin geniş olması hem de malzeme seçim özelliklerine maliyetin de eklenmiş olması, programın diğer programlara göre üstün özelliğidir. Ayrıca programda malzeme seçimi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan metotları; malzeme veri tabanından ilgili ürün için arama yaptırmak, istenen özellik karşılaştırma grafikleri üzerinde seçim yapmak ve belirlenen seçim kriterlerine uygun malzemelerin eleme

yöntemiyle belirlenmesi ve ağırlıklandırılmış özelliklere bağlı seçim yapmak vb. olarak sıralamak mümkündür. Ashby Diyagramları adı verilen ve iki özellik arasında çizilen grafiklerle mevcut iki özellik için malzeme gruplarının nerede yer aldığını görmek mümkün olmaktadır. Şekil 3'te akma dayanımına karşı yoğunluk grafiği örnek olarak verilmiştir. Grafiklerde malzeme grupları farklı renklerde görülmektedir. Bu grafiklerden istenen özelliklerdeki malzeme grupları belirlenebilir ve malzeme gruplarının belirlenen özelliklerdeki değerleri tespit edilebilir. Bu aşamada grafikler üzerinde istenirse malzeme gruplarından seçim yapılabilir ya da bu malzeme grubu üzerinde odaklanılarak daha hassas bir seçim ile işleme de devam edilebilir.

Bu çalışmada belirlenen sınır değerlerine bağlı seçim işlemi prosedürü kullanılacaktır. Bunun için ilk olarak Selection sekmesi, sonrasında malzeme veri tabanı belirlenir. Belirlenen malzeme tabanı verileri kullanılarak özelliklere bağlı olarak grafikler veya belirli sınır şartları girilerek malzeme seçimi işlemine devam edilir. Sonrasında, malzemenin gerekli sınır değerlerini yazılımda limit kısmından belirleyerek seçim işlemine devam edilir. Malzeme veri tabanı; fiyat, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, termal özellikler, işlenebilirlik gibi gerekli olabilecek birçok alt başlıklarından oluşmaktadır. Bu kısımda malzemenin kullanılacağı yer göz önüne alınarak istenilen bütün minimum ve maksimum sınır şartları değerleri belirlenerek seçim yapılır ve buna göre alternatif malzemeler sıralanır. Verilen sınır şartlarına göre alternatif malzemelerden ağırlıklandırılmış özelliklerine bağlı olarak karşılaştırma yapılarak malzeme seçimi yapılır.

Emme manifoldu malzemesi için gerekli özelliklerin değerlendirilmesi ve mevcut malzemelerin tamamının incelenmesi için alternatif malzeme gruplarının hepsini seçilmiştir. Seçim için uygun veri tabanı seçildikten sonra seçim işlemine malzemedan istenen diğer özelliklere ait minimum ve maksimum sınır değerler girilerek devam edilecektir. Malzeme için belirlenen ve seçim için kullanılan sınır şartı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Sınır değerlerin belirlenmesinde, günümüzde piyasada kullanılan malzemeler referans alınarak, en uygun özellikte malzeme seçimine imkân verecek şekilde tanımlama yapılmıştır. Böylece gerekli özellikler için yeni malzemeleri de kapsayacak şekilde alternatif malzemelerin karşılaştırılması hedeflenmiştir (Birtok-Băneasă et al., 2019; Çetin ve Sayer, 2019; Azo Metariats, 2021; Epsan, 2021).



Şekil 3. Akma dayanıma bağlı yoğunluk özelliklerinin karşılaştırılması

Tablo 1. Emme manifoldu malzemesi seçiminde kullanılan özellik ve sınır şartı değerleri

Nitelik (Özellik)	Sınır Değerler
Fiyat (TRY/kg)	≤ 20
Yoğunluk (kg/m^3)	≤ 4000
Akma Dayanımı (Elastik Sınır) (MPa)	≥ 100
Kırılma Tokluğu ($\text{MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$)	≥ 5
Termal Genleşme Katsayısı ($\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$)	≤ 25
Metal Döküm	Uygun

Malzeme özellikleri için istenirse değer aralığı belirlenebileceği gibi, Tablo 1’de görüldüğü gibi gerekli minimum ya da maksimum değerlerde yazılabilir.

3. Bulgular

Programla tanımlanan Tablo 1’deki kriterler doğrultusunda, program tarafından 43 adet malzemenin uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu 43 malzeme incelendiği zaman; genel olarak alüminyum ve magnezyum döküm alaşımlarından oluştuğu görülmektedir. Programa üretim yöntemi olarak döküm tanımlandığı için, sunulan malzeme listesinde kum kalıp, kokil kalıp döküm yöntemi ile üretilen alternatif formlar veya bu formların ısı işlemi ile değişkenlik gösterdiği farklı malzeme formları bulunmaktadır. Örneğin; A356 alaşımı için malzeme veri tabanında üretim yöntemine bağlı olarak altı farklı alternatif ürün ve özellikleri sunulmuştur. Tablo 2’de A356 alaşımına ait

malzeme özellikleri karşılaştırma olarak sunulmuştur.

Tablo 2’de verilen değerler incelendiğinde; tüm malzemelerin istenilen sınır şartlarına sahip ve birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu değerlerin, kokil kalıba döküldükten sonra T6 ısı işlemi uygulanan A356 alüminyum döküm alaşımının diğer alaşımlara nazaran akma dayanımı açısından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ancak firma üretim prosesi ve diğer özelliklere bağlı olarak diğer yöntemler ile üretilen malzemelerde seçimi konusunda emme manifoldu malzeme seçimi için uygun bir alternatif olacağı da unutulmamalıdır.

Belirlenen limit değerlerine bağlı olarak, aynı üretim prosesinde alaşım bazlı özelliklerin karşılaştırılması amacıyla alüminyum alaşım ve magnezyum alaşım alternatifleri incelenmiş, sırasıyla Tablo 3’de ve Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 2. A356 malzemelerin üretim yöntemine bağlı karşılaştırılması.

Özellik	Alüminyum A356.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum 356.0 Hassas Döküm T6	Alüminyum 356.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum 356.0 Kum Döküm F	Alüminyum 356.0 Kum Döküm T6	Alüminyum A356.0 Kum Döküm T6
Fiyat[₺/kg]	6.4-7.35	6.4-7.35	6.4-7.35	6.4-7.35	6.4-7.35	6.4-7.35
Yoğunluk [kg/m ³]	2660-2710	2660-2710	2660-2710	2660-2710	2660-2710	2660-2710
Akma Muk. [MPa]	241-263	105-116	164-182	118-130	146-162	197-213
Kopma Muk. [MPa.√m]	35-40	19-21	19-21	28-32.2	19-21	35-40
Isıl Gen.Kats. [μstrain/°C]	20.7-22.4	20.6-22.4	20.6-22.4	20.6-22.4	20.6-22.4	20.7-22.4
Metal Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel

Tablo 3. Emme manifoldu için alüminyum alaşımı malzeme özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Alüminyum A356.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum 319.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum 333.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum 336.0 Kokil Kalıp T65	Alüminyum 355.0 Kokil Kalıp T6	Alüminyum A357.0 Kokil Kalıp T6
Fiyat [₺/kg]	6.4-7.35	6.82-7.8	6.9-7.94	7.74-8.91	6.48-7.43	7.52-8.72
Yoğunluk [kg/m ³]	2660-2710	2770-2820	2740-2800	2690-2740	2680-2740	2650-2710
Akma Muk.[MPa]	241-263	157-173	197-217	281-311	165-182	244-263
Kopma Muk. [MPa.√m]	35-40	20.7-23.9	19.4-22.3	16.5-18.6	21.2-24.4	24.6-28.8
Isıl Gen. Kats. [μstrain/°C]	20.7-22.4	21.1-22.1	20.2-21.2	18.4-19.4	21.9-22.9	21.3-22.1
Metal Döküm	Mükemmel	Uygun	Mükemmel	Uygun	Mükemmel	Mükemmel

Tablo 4. Emme manifoldu için magnezyum alaşımı malzeme özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Magnezyum WE54A Döküm	Magnezyum Elektron 21	Magnezyum AZ91D Döküm	Magnezyum AZ81A Döküm	Magnezyum AM60B Döküm
Fiyat [₺/kg]	16.3-17.1	15.1-16.1	8.41-8.8	8.44-8.83	8.44-8.83
Yoğunluk [kg/m ³]	1850-1860	1810-1830	1800-1820	1810-1820	1770-1790
Akma Muk. [MPa]	200-210	145-178	142-168	145-155	130-143
Kopma Muk. [MPa.√m]	14.3-14.4	14.5-15.5	12-14	14-15	15-16
Isıl Gen. Kats. [μstrain/°C]	24.6-24.7	24.6-26	24.3-25.6	25-25.1	25-26.3
Metal Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel

4. Değerlendirme ve sonuçlar

Emme manifoldu üretiminde yaygın olarak alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra nadiren de olsa polyamid malzemelerin denendiği bilinmektedir (Hickman and Schumacher, 2005; Çetin ve Sayer, 2019). Emme manifoldunda alüminyum tercih edilmesinin nedeni; iyi bir ısı transferi sağlaması, kolay şekil verilebilir olması ve hafif olmasıdır (Chen and Jiang, 2008). Magnezyum ise düşük ağırlıklı ve yüksek dayanımlı malzeme üretimi için alternatifler arasında yer almaktadır. Magnezyum, alüminyumdan %35, çelikten ise %78 daha hafif bir metaldir. Bunun sonucunda magnezyum ve alaşımları hafifliğin önem arz ettiği kara ve hava

taşıtlarında kullanım bulduğu bilinmektedir (Kandemir ve Can, 2003).

Malzeme seçimi için bilgisayar destekli yazılımda kullanıldığında sürekli gelişen alternatif malzemelerin takibi ve halihazırdaki malzemeler hakkında bilgi sahibi olunması mümkün olup ve kullanıcının çok yoğun bilgisine ihtiyaç yoktur. Bu sebeple malzeme seçimi için bilgisayar destekli yazılım kullanılmasının faydalı olduğu düşünülmektedir.

CES Selector Programı kullanılarak malzeme seçiminin yapıldığı bu çalışmada, emme manifoldu için malzeme seçimi yapılmıştır. Çalışma şartları göz önünde bulundurularak belirlenen emme manifoldunun önemli özellikleri belirlenerek, ilgili özellik için sınır değerleri tanımlanmıştır. Daha

sonra bu değerler programda tanımlanarak, ilgili malzeme seçimi yapılmıştır. Malzeme seçim metodu olarak, ön eleme, özelliklerin değerlendirilmesi ve ağırlıklı özelliklere bağlı olarak karar verme, limit değerlerin değerlendirilmesi ve optimum özellik maliyet ve şekillendirilebilme kriterlerine bağlı seçim aşamaları kullanılmıştır.

Malzeme seçimi işleminde aynı alaşımın farklı üretim şartlarına bağlı olarak alternatiflerinin mevcut olduğu ve döküm yöntemi, kalıp malzemesi ve ısıtma işlemiyle ilgili olarak değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir. Malzeme seçimi sonucu olarak; özelliklerinin birbirine yakın olması nedeniyle alüminyum veya magnezyum alaşımı belirlenmiştir. Bu aşamada hassas bir seçim ve ağırlıklandırılmış malzeme seçimi metodunda olduğu gibi daha önemli olan özelliğe göre malzeme seçimi yapılmasının uygun olacağı anlaşılmıştır. Alüminyum alaşımları incelendiğinde akma dayanımı açısından en iyi malzemenin kokil kalıba dökülen T65 ısıtma işlemi sonucu A336 alüminyum alaşımı olduğu, ancak bu malzemenin kırılma tokluğunun nispeten düşük ve fiyat olarak alternatiflerinden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Tüm malzeme özellikleri ele alınarak alüminyum malzemeler arasındaki seçimde A356 alüminyum alaşımının avantajlı olduğu düşünülmektedir.

A356 alaşımı için üretim prosesine bağlı özellikler incelendiğinde akma dayanımı açısından kokil kalıba döküldükten sonra T6 ısıtma işlemi uygulanan alaşımının diğer alaşımlara nazaran daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Ancak firma üretim prosesi ve diğer özelliklere bağlı olarak diğer yöntemler ile üretilen malzemelerinde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Özellikle malzeme yüzeyinden beklenen düşük pürüzlülük, kokil döküm ile elde edilebilecektir.

Magnezyum alaşımı malzeme alternatifleri incelendiğinde, dayanım açısından en iyi alternatifin WE54A Magnezyum alaşımı olduğu, fiyat hariç diğer özelliklerinin de alternatiflerine nazaran avantajlı olduğu gözlenmektedir. Fiyatı diğer alternatiflerine nazaran yaklaşık iki kat daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Burada malzeme seçiminde kritik bir karar aşaması devreye girmektedir. Önemli olan soru, dayanımdaki bu artış malzeme fiyatının iki kata çıkmasına değecek oranda mıdır? Bu sorunun cevabına bağlı olarak tercih yapılması daha doğru olacaktır. Fiyata bağlı olarak en iyi alternatifinde AZ91D magnezyum alaşımı olduğunu söylemek mümkündür.

Emme manifoldu malzeme seçimi için hafiflik açısından AZ81A Magnezyum döküm alaşımı, üretim açısından A356 alüminyum alaşımının ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Tüm özelliklere bağlı olarak yapılan 20değerlendirmelerde emme manifoldu için en iyi malzeme olarak kokil kalıba dökülen, T6 ısıtma işlemi yapılmış A356 alüminyum alaşımı uygun görülmüştür.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında ve belirlenen sınır şartlarına bağlı olarak kalan alternatifler arasında karar aşamasında dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta fiyat ile yoğunluk ilişkisi olmalıdır. Tablolarda verilen fiyat değerleri kg başına birim maliyetlerdir. Dolayısıyla aynı ürünü üretmek için alüminyum tercih edildiğinde ortaya çıkan maliyet toplamda daha fazla olabilecektir. Dolayısıyla AZ81A Magnezyum döküm alaşımı her ne kadar A356 alüminyum döküm alaşımından daha fazla birim maliyete sahip gibi gözükse de üretim sonucunda ürün bazlı fiyatların yaklaşık aynı olacağı da dikkate alınmalıdır. Ancak ülkemiz ve dünyada Magnezyum şekilli parça dökümünde karşılaşılan zorluklar ve çok fazla dökümhane de üretimin bulunmamasından dolayı Emme manifoldu için en iyi malzeme alternatifinin kokil kalıba dökülen, T6 ısıtma işlemi yapılmış A356 alüminyum alaşımı olduğunu söylemek mümkündür. Seçimi yapılan malzeme mevcut literatür ve güncel teknoloji ile de uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Kaynaklar

- Amen, R. and Vomacka, P. (2001). Case-based reasoning as a tool for materials selection. *Materials and Design* 22, 353-358. [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(00\)00105-9](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(00)00105-9).
- Ashby, M. F., Bréchet, Y. J., Cebon, D. and Salvo, L. (2004). Selection strategies for materials and processes. *Materials and Design*, 25, (1), 51-67, [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(03\)00159-6](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00159-6).
- Ashby, M., Shercliff, H. and Cebon, D. (2007). *Materials engineering, science, processing and design*. Elsevier.
- Askeland, D. (2009). *The science and engineering of materials*. (5th ed ed.). London: Thomson.
- Azo Material, 2021. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863#:~:text=Mechanical%20Properties%20of%20Aluminium&text=It%20can%20also%20be%20cast,for%20some%20heat%2Dtreatable%20alloys.>

- Balakrishna, A., Rao, D., Srinivas, J. and Satish, P. (2007). Computer aided material selection processes in concurrent engineering using neural networks. *Journal of the Institution of Engineers (India): Mechanical Engineering Division* 88, 20-3.
- Birtok-Băneasă, C., Rațiu, S., Puțan, V. and Zgripcea, L. (2019). Experimental studies regarding the influence of the intake manifold material on the thermodynamics processes in the internal combustion engines. *Materials Science and Engineering*, 477, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/477/1/012006>.
- Bovea, M. and Vidal, R. (2004). Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. *Materials Desing*, 25, 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.09.018>
- Cebon, D. and Ashby, M. (2005). Data systems for optimal material selection. *International Symposium on Materials Databases*, 3-15. Tokyo, Japan.
- Chandekar, A. and Debnath, B. (1 September 2020). Effect of intake manifold design on the mixing of air and bio-CNG in a port-injected dual fuel diesel engine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2295-2309, <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09591-1>.
- Chen, X. and Jiang, G. (2008). Manufacturing of aluminum alloy air intake manifold by tilted casting. *Special Casting and Nonferrous Alloys*, 9, (28), 728-729, doi:10.3870/tzzz.2008.09.025.
- Çetin, A. ve Sayer, S. (2019). Emme manifoldu üretiminde gelişen teknolojik uygulamalar. *Mühendis ve Makina*, 60, (696), 251-261.
- Epsan, 2021. (http://epsan.com.tr/wp-content/uploads/2019/10/epsan_teknik_kataloglar.pdf).
- Ferguson, C. R., and Kirkpatrick, A. T. (2001). *Internal combustion engines: applied thermosciences*. New York: John Wiley & Sons.
- Fındık, F., Çolak, M. ve Aslanlar, S. (2015). Materials selection for car bumper with a conventional method as well as CES selector software. 1st International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2015), 199-208
- Fındık, F., Okumuş, S. C. ve Çolak, M. (2018). Malzeme seçimi ve uygulamaları. Seçkin Yayınevi.
- Giudice, F., La, R. G. and Risitano, A. (2005). Materials selection in the life cycle design process: a method to integrate mechanical and environmental performances in optimal choice. *Materials&Method*, 26, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.04.006>
- Goldsberry, C. (2006). Design Focus: Computer modeling and how it helps drive material selection. Retrieved from *Plastics Today*. <https://www.plasticstoday.com/design-focus-computer-modeling-and-how-it-helps-drive-material-selection>.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill.
- Hickman, G. F. and Schumacher, D. (2005). Polyamide intake manifold shell bonding. SAE Intenational SAE World Congress, (Detroit, Michigan), <https://doi.org/10.4271/2005-01-1518>.
- International Energy Agency. (2020, 11 26). *Extended world energy balances (Edition 2020)*. <https://doi.org/10.1787/88fd1acf-en>.
- Jain, A., Porpatham, E. and Thipse, S. S. (2021). Numerical and simulation approach for design of variable valve actuation mechanism on single-cylinder diesel engine. *Advances in IC Engines and Combustion Technology*, 821-839. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5996-9_63.
- Jalham, I. (2006). Computer-aided quality function deployment method for material selection. *Int J Comput Appl Technol*, 26, 190-196. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2006.010764>.
- Kandemir, K. ve Can, A. Ç. (2003). Otomotiv endüstrisinde magnezyum alaşımlarının kullanım potansiyeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, (9), 37-45.
- Karana, E., Hekkert, P. and Kandachar, P. (2008). Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers. *Materials and Design*, 1081-1089. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.06.002>.
- Pulkraber, W. W. (2016). İçten yanmalı motorlar mühendislik temelleri, İzmir: Güven.
- Ramalhete, P., Senos, A. and Aguiar, C. (2010). Digital tools for material selection in product design. *Materials and Design*, 2275-22, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.013>.
- Röchling Automotive, 2021. (<https://www.roechling.com/automotive/products-solutions/propulsion/air-intake-manifold-systems>)
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C. (2008). İçten yanmalı motorlar. İstanbul: Birsen Yayınevi.

- Sapuan, S. (2001). A knowledge-based system for materials selection in mechanical engineering design. *Materials Design*, 687-695, doi:10.1016/S0261-3069(00)00108-4.
- Sapuan, S., Jacob, M., Mustapha, F. and Ismail, N. (2002). A prototype knowledge-based system for material selection of ceramic matrix composites of automotive engine components. *Materials and Design*, 2, 701-708, doi:10.1016/S0261-3069(02)00074-2.
- Sensoy Abdullah Tahir, C. M. (2019). Optimal material selection for total hip implant: a finite element case study. *Arabia Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04088-y>.
- Shackelford, F. (2009). *Introduction to materials science for engineers*. London: Pearson.
- Simav, O. ve Ustabaş, A. (2017). Otomotiv endüstrisindeki muhtemel dönüşümün ekonomik boyutu: Türkiye örneği. *International Conference On Eurasian Economies 2017*, 310-319, İstanbul.
- UNFCCC. (2020, 11 30). Retrieved from what is the Kyoto Protocol. https://unfccc.int/kyoto_protocol
- Vijaya Kumar, K., Shailesh, P., Srinivasa Raghavan, K., Ranga Babu, J. and Ravi Kumar, P. (2020). Performance and emission analysis of diesel engine with design modifications on piston crown. *International Journal of Ambient Energy*, 41, 1336-1341, <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1517664>

Isolation and characterization of secondary metabolites from apolar fraction of *Scabiosa sicula* and evaluation of their antioxidant activities

Scabiosa sicula'nın apolar fraksiyonundan ikincil metabolitlerin izolasyonu ve karakterizasyonu ve antioksidant aktivitelerinin değerlendirilmesi

Hilal KILINÇ^{*1,a}

¹ Geological Engineering Department, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 01.03.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 20.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 06.06.2021

Abstract

In this study, the identification and characterization of *Scabiosa sicula* dichloromethane extract constituents were discussed for the first time. Moreover, this study is also providing an overview of the phytochemistry of Mediterranean medicinal plants. The phytochemical investigation of *S. sicula* dichloromethane extract was performed by HPLC and resulted in isolation of six compounds and five of them were identified as phenolic compounds and one as triterpene. The structures of the isolated compounds determined as luteolin-6-C-glucoside, luteolin-7-O-glucoside, caffeic acid, ursolic acid, 4-O-caffeoylquinic acid and 3,5-O-dicaffeoylquinic acid using spectroscopic analysis, including NMR and HR-MS techniques. Moreover, TEAC and DPPH assays were performed to evaluate the antioxidant activity of *S. sicula*'s dichloromethane extract. TEAC value was defined as the concentration of Trolox solution with the same amount of antioxidant potential found in the 1 mg/mL solution of the tested extract resulted to be 1.21 ± 0.01 mg/mL. DPPH activity was calculated as (4.42 µg/mL) while the corresponding methanol extract antiradical activity was 3.34 ± 0.01 µg/mL. The contribution to literature with this study is to increase the depth of knowledge about *S. sicula* on secondary metabolites isolated from apolar fraction and the results of this study will help reveal the medical potential of these species.

Keywords: Caprifoliaceae, *Scabiosa sicula*, Secondary metabolites

Öz

Bu çalışmada, *Scabiosa sicula* türünün diklorometan ekstresi bileşenlerinin tanımlanması ve karakterizasyonu ilk kez tartışılmıştır. Ayrıca, bu çalışma Akdeniz şifalı bitkilerinin fitokimyası hakkında genel bir bakış sunmaktadır. *S. sicula* diklorometan ekstresinin fitokimyasal incelenmesi HPLC ile yapılmış ve izole edilen altı bileşikten beş tanesinin fenolik bir tanesinde triterpen yapısında olduğu NMR ve HR-MS teknikleri kullanılarak luteolin-6-C-glukozit, luteolin-7-O-glukozit, kafeik asit, ursolik asit, 4-O-kafeoilkinik asit ve 3,5-O-dikafeoilkinik asit olarak belirlenmiştir. *S. sicula*'nın diklorometan ekstresinin antioksidant aktivitesi TEAC ve DPPH yöntemleri ile incelenmiştir. TEAC değeri, test edilen ekstraktın 1 mg/mL solüsyonunda bulunan aynı miktarda antioksidan potansiyeline sahip Trolox solüsyonunun konsantrasyonuna bağlı olarak 1.21 ± 0.01 mg/mL tanımlandı. DPPH aktivitesi (4.42 µg / mL) olarak hesaplanırken ona karşılık gelen metanol ekstresinin antiradikal aktivitesi 3.34 ± 0.01 µg/mL olarak ölçülmüştür. *Scabiosa sicula* diklorometan ekstresinin ikincil metabolitlerinin tanımlandığı bu çalışmanın literatüre sağladığı katkı, bu türün tıbbi potansiyelinin ortaya çıkarılmasına yardım edecektir.

Anahtar kelimeler: Caprifoliaceae, *Scabiosa sicula*, İkincil metabolitler

*a Hilal KILINÇ; hilal.altunkeyik@deu.edu.tr, Tel:0232 3017340, orcid.org/0000-0003-3772-2691

1. Introduction

People from past to present lived a life dependent on plants, one of the natural product sources. Especially, plants have played essential roles in the traditional medicine such as *Scabiosa atropurpurea* aerial parts are used as for measles infusion and diuretic (Bonet and Valles, 2007). Scabiosae flos are used to clearing blood heat in liver and against gastric disorder, *S. succisa* are used for the treatment of asthma, bronchitis and influenza (Corradi et al., 2016; Pinto et al., 2018, Zhang et al., 2015). *S. columbaria* is used as a medicine to treat diphtheria (Rigat et al., 2007) In additionally, some of *Scabiosa* species are used to skin diseases in Europe (Zheng et al., 2004). *Scabiosa* species are known to exhibit antioxidant, anti-acetylcholinesterase, antibacterial and antimicrobial activities. (Elhawaray et al., 2011; Hlila et al., 2015; Kose et al., 2015). This genus species has mainly revealed the presence of saponins, flavonoids and iridoids (Besbes et al., 2012; Pinto et al., 2018). *Scabiosa sicula* L., a genus of the Caprifoliaceae family is represented by 80 annual species distributed throughout the world, 30 species are endemic of Turkey (Panayır and Baykal, 1997; Reveal and Chase, 2011; Besbes et al., 2012). *Scabiosa sicula* L., Mant., which has a synonym name as *Scabiosa lyrata*, and is widely distributed in Mediterranean Basin, especially Antalya, Burdur, Çanakkale, Denizli, İzmir, Kocaeli, Konya, Siirt, Sivas and Uşak in Turkey (Davis, 1970). In addition, they are medicinal plants and they have been used as pharmaceutical, food and cosmetic industry. As a result of studies on this genus, new metabolites were isolated and some of them have shown a promising therapeutic agent (Wang et al., 2013; Pinto et al., 2018). Literature data showed that there is no phytochemical report about the *S. sicula* dichloromethane extract. In this content, this study aims to raise the depth of information about *S. sicula* apolar fraction. Additionally, Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) and radical scavenging activity assays were carried out to determine the antioxidant activity of *S. sicula* apolar extract.

2. Materials and methods

2.1. General

All experiments were carried out using a Thermo scientific liquid chromatography system constituted of a quaternary Accela 600 pump and an Accela autosampler, connected to a linear Trap-

Orbitap hybrid mass spectrometer (LTQ-Orbitrap XL, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) with electrospray ionization (ESI). Separation was performed on a Kinetex EVO C18 5 μm (150 \times 2.10mm) column (Phenomenex Aschaffenburg, Germany). The mobile phase consisted of solvent A (H₂O + 0.1 % formic acid) and solvent B (CH₃CN + 0.1% formic acid). A linear gradient program at a flow rate of 0.200 mL/min was used: 0-35 min, from 5 to 95% (B); then 5% (B) for 5 min. The mass spectrometer operated in negative ion mode. ESI source parameters were as follows: capillary voltage -48 V; tube lens voltage -176.47; capillary temperature 280 °C; Sheath and Auxiliary Gas flow (N₂), 15 and 5, respectively, Sweep gas 0 Spray voltage 5. MS spectra were acquired by full range acquisition covering *m/z* 250–1600 at a resolution of 30000. For fragmentation study, a data dependent scan was performed, selecting precursor ions corresponding to most intensive peaks in LC-MS analysis with a normalization collision energy at 35%. Xcalibur software version 2.1 was used for instrument control, data acquisition and data analysis. The molecular formulae were assigned with an accuracy inferior to 0.5 ppm for all the compounds.

Waters Sep-Pak silica cartridges Vac 20cc (5g) and WATERS HPLC system were used for separations. HPLC separations were carried out on a WATERS system equipped with a R-401 A refractive index detector, a Symmetry Prep TM-C18 (78 \times 300 mm, 7 μm). Silica column separations were performed Waters Sep-Pak cartridges Vac 20cc (5g) silica cartridge for solid phase extraction (made in Ireland).

Separation was performed on a Symmetry Prep TM-C18 column (78 \times 300 mm, 7 μm) with MeOH-H₂O (43:57), MeOH-H₂O (50:50) and MeOH-H₂O (55:45). TLC was performed on silica gel F₂₅₄. Solvents used in this work, chloroform, methanol and water were purchased from Merck, Germany. TLC plates were developed by spraying cerium (IV) sulphate (100 °C for 6 min).

NMR experiments were recorded in methanol-d₄ (99.95%, Sigma-Aldrich) on a Bruker DRX-600 spectrometer (Bruker BioSpin GmbH, Rheinstetten, Germany) equipped with a Bruker 5 mm TCI CryoProbe at 300 K. Topspin software 3.2 version was used for data analysis.

2.2. Plant material

Scabiosa sicula L. was collected May 2016, in Ulucak, Kemalpaşa, İzmir, Turkey (GPS coordinates latitude: 40.6355, longitude: 14.8537).

A voucher herbarium specimen has been deposited at the herbarium, Botanical Garden of Ege University, Izmir, Turkey (EGE-HERB 5481). Erect branched annual with pubescent stems 10-30 cm tall. Lower leaves oblong, dentate to lyrate; upper leaves pinnatisect with linear segments. Hills, open woodland, 200-1350 m (Davis, 1970).



Figure 1. Picture of *Scabiosa sicula*

2.3. Extraction and isolation

S. sicula (455 g, whole plant) was dried under shade at room temperature for two weeks and finely ground. It was reduced to coarse powder and the powdered sample extracted at room temperature using solvents of MeOH (2×2.5 L during three days/each day six hours). The remaining methanol after extraction was evaporated by rotavapor and the extract was dried. The light- brown residue (40.91 g) was dissolved in water and then partitioned successively with *n*-hexane (2×150 mL) and dichloromethane (2×150 mL). All extracts were maintained 4 °C before further processes. Dichloromethane extract (2.475 g) was analyzed by separation method using SepPak C18 silica gel column. Some quantity of sample (250 mg to 2.5 mL) was injected into a Sep-Pak silica cartridges Vac 20cc (5g) column which prior to its use had been activated using ethyl acetate then methanol. It was eluted with 350 mL the mixture of chloroform: methanol (55:45) and collected, affording 42 fractions (8 mL). The purified fractions as monitored by TLC and then combined to their similarity.

Purification of fractions 3-19 (46 mg) by HPLC were performed on a Symmetry Prep TM-C18 column (78×300 mm, 7µm) with MeOH-H₂O (43:57), at 2.4 mL/min to give compounds **1** (4.2 mg, *t_R* = 11.8 min) and **2** (7.4 mg, *t_R* = 12.7 min). Purification of fractions 20-29 (24 mg) by HPLC were performed on a Symmetry Prep TM-C18 column (78×300 mm, 7µm) with MeOH-H₂O (50:50), at 2.4 mL/min to yield compound **3** (3.2 mg, *t_R* = 8.4 min). Purification of fractions 30-42 (36 mg) by HPLC were performed on a Symmetry Prep TM-C18 column (78×300 mm, 7µm) with

MeOH-H₂O (55:45), at 2.4 mL/min to give compounds **4** (2.6 mg, *t_R* = 5.4 min), **5** (6.3 mg, *t_R* = 9.8 min) and **6** (4.7 mg, *t_R* = 11.3 min).

2.4. Antioxidant activity (TEAC) assay

The antioxidant capacity of the apolar extract was measured according to Santos et al. (2017). Briefly, extract was prepared in diluted methanol solutions at four different concentrations range between 250 to 1000 µg/mL. The process was started by adding 1.5 mL of diluted ABTS to 15 µL of each sample. The reduction in the absorbance percentage at 734 nm was calculated for each concentration relative to methanol (blank absorbance). Trolox was used as a positive control and the antioxidant activity was presented as mg of quercetin equivalents per mL extract (mg/mL). All the experiments were repeated three times.

2.5. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH[•]) Radical scavenging activity

DPPH[•] activity was performed by spectrophotometric method based on the reduction of DPPH according to the Cerulli et al. (2017). In this method, DPPH solution (1.5 mL, 0.025 g/L in MeOH) and methanol solution containing different amounts of extract (37.5 µL) were added to each well of tubes and mixed. Vitamin C was used as positive control and this activity was expressed against to DPPH[•] (an equal volume). The samples were kept in the dark (25°C). After 10 minutes, the absorbances of samples were read at 517 nm wavelength. Experiments were carried out in triplicate. The calculation of activity was performed our previous study (Kılınç et al., 2020).

3. Results and discussion

3.1. Phytochemical results

Indeed, several phytochemical studies carried out on *Scabiosa* species are examined, secondary metabolites have been found that this genus species is rich in flavonoids and terpenoids. The flavonoids were isolated previously from many *Scabiosa* species such as *S. ochroleuca* and *S. bipinnata* (Zemtsova et al., 1968), *S. caucasica* (Garaev et al., 2008), *S. tenuis* and *S. argentea* (Perdetzoglou et al., 1994). Triterpenoids have been found in the species *S. tschiliensis* (Zheng et al., 2004), *S. rotata* (Baykal et al., 1998) and *S. stellata* (Lehbili et al., 2018). By detailed phytochemical analysis, the chemical constituents of *S. sicula* apolar fraction were investigated for the first time. As a result of phytochemical study, six compounds were isolated

from the apolar fraction of *S. sicula*, and five of them were identified as phenolic compounds (**1-3,5,6**) and one as triterpene derivative (**4**). The structures of the isolated compounds determined as luteolin-6-*C*-glucoside (**1**), luteolin-7-*O*-glucoside (**2**), caffeic acid (**3**), ursolic acid (**4**), 4-*O*-caffeoylquinic acid (**5**) and 3,5-*O*-dicaffeoylquinic acid (**6**) by using $^1\text{H-NMR}$, 2D-NMR and HR-MS spectral analyses, and also by comparison with literature surveys (Figure 2).

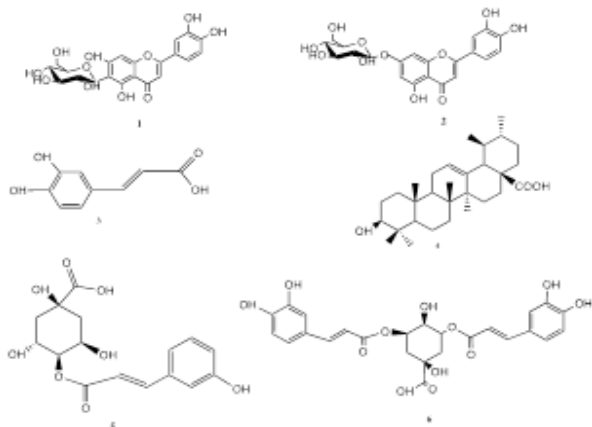


Figure 2. Structure of Isolated Compounds

Luteolin-6-*C*-glucoside (1): The molecular mass of compound **1** was calculated as m/z 447.0935 according to its molecular formula $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}$ and found m/z 447.3333 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M-H}]^-$ (Figure 3). $^1\text{H NMR}$ (methanol- d_4 , 600 MHz) δ 4.58 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-1''), 6.64 (1H, s, H-3), 6.44 (1H, s, H-8), 6.86 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-5'), 7.38 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2'), 7.41 (1H, dd, $J = 1.9$ Hz, 8.2 Hz, H-6'); (Figure 4).

The phenolic compound was herein reported, it was determined for the first time ethanolic extract profile of *S. stellata*. To confirm the definition it is characterization was carefully and compared [Rahmouni et al. \(2018a\)](#) with the previous report data and accordingly the compound was identified as luteolin-6-*C*-glucoside (isorientin).

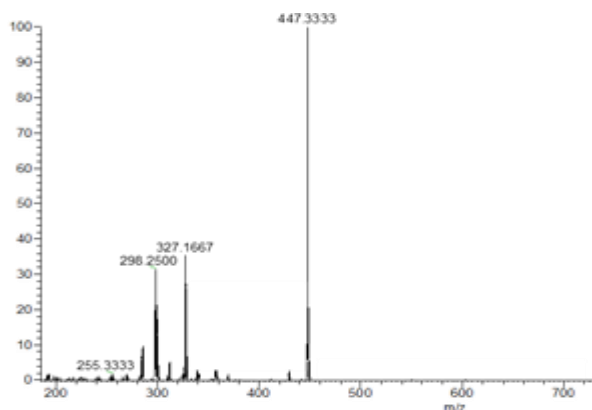


Figure 3. HRMS Spectrum of compound **1**

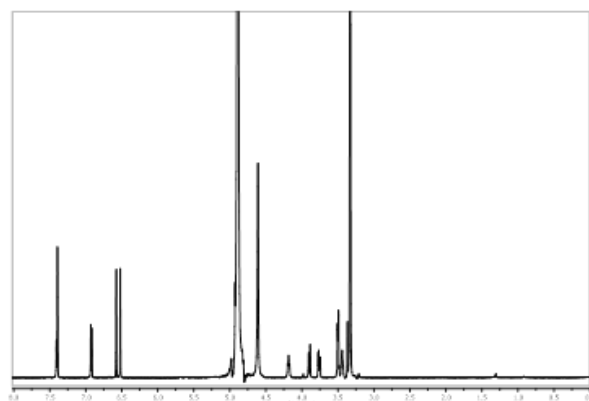


Figure 4. $^1\text{H NMR}$ Spectrum of compound **1**

Luteolin-7-*O*-glucoside (2): The molecular mass of compound **2** was calculated as m/z 447.0935 according to its molecular formula $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}$ and found m/z 447.0919 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M-H}]^-$ (Figure 5). The MS/MS spectrum of compound **2** $[\text{M-H}]^-$ ion at m/z 285.04 was produced by the neutral loss 162 Da, corresponding to one hexose unit. $^1\text{H NMR}$ (methanol- d_4 , 600 MHz) δ 5.07 (1H, d, $J = 8$ Hz, H-1''), 6.50 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-6), 6.61 (1H, s, H-3), 6.80 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-8), 6.90 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 7.40 (1H, dd, $J = 8.0, 2.1$ Hz, H-2'), 7.43 (1H, dd, $J = 8.0, 2.1$ Hz, H-6'); (Figure 6). In the literature, [Hilal et al. \(2015\)](#) demonstrated that the aerial part BuOH fraction of *S. arenaria* isolated of luteolin 7-*O*-glucoside which are reported first time for *S. arenaria*. Moreover, luteolin 7-*O*-glucoside was isolated from *S. atropurpurea* L. ([Elhawaray et al., 2011](#)), *S. caucasica* ([Garaev et al., 2008](#)), *S. ochroleuca* L. and *S. bipinnata* ([Zemtsova et al., 1968](#)), *S. tenuis* and *S. argentea* L. ([Perdetzoglou et al., 1994](#)).

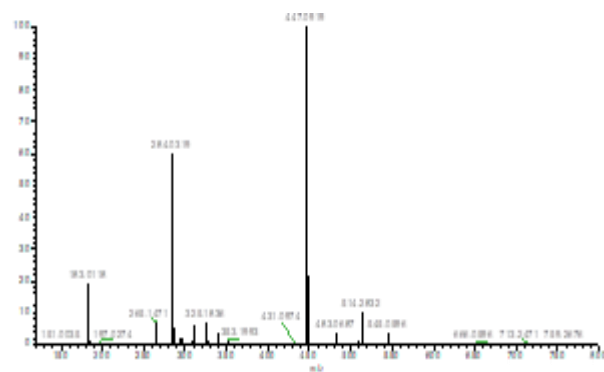


Figure 5. HRMS Spectrum of compound **2**

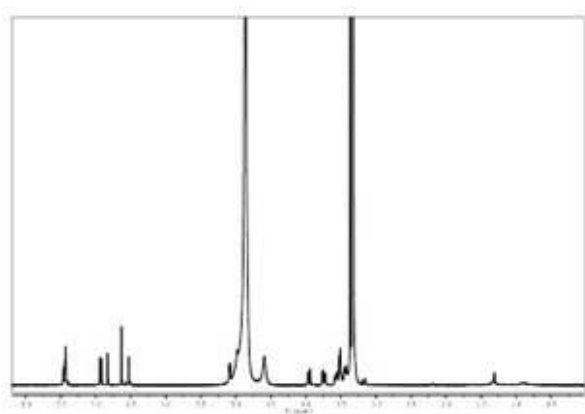


Figure 6. ^1H NMR Spectrum of compound **2**

When the ^1H -NMR and mass spectra of the two compounds are compared to the laboratory standard of luteolin 6-C-glucoside both compounds structure refer to the same molecule. Flavonoids in plants are mainly present as glycosides with a sugar moiety linked through an OH group (O-glycosides) or through carbon-carbon bonds (C-glycosides). Flavonoid glycosides have many isomers with the same molecular weight but different aglycone and sugar components are attached aglycone ring at different positions. The only difference between compound **1** and **2** is that the anomeric proton belonging to the glucose is bound to the aglycone from different carbon. The compound **1** anomeric proton signal was shifted at δ 4.58 of the lowfield along with carbon at δ 73.4 ppm (C-1'').

Caffeic acid (3): The molecular mass of compound **3** was calculated as m/z 179.0346 according to its molecular formula $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ and found m/z 179.0351 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M}-\text{H}]^-$ (Figure 7). ^1H NMR (methanol- d_4 , 600 MHz) δ 7.46 (1H, d, $J = 16.1$ Hz, H-7), 7.01 (1H, d, $J = 1.7$ Hz, H-2), 6.91 (1H, dd, $J = 1.9, 8.2$ Hz, H-6), 6.74 (1H, d, $J = 8.15$ Hz, H-5), 6.22 (1H, d, $J = 15.8$ Hz, H-8); (Figure 8). Caffeic acid structure compared with the literature data given in Jeong et al. (2011), it was identified as caffeic acid which was very common phenolic compound.

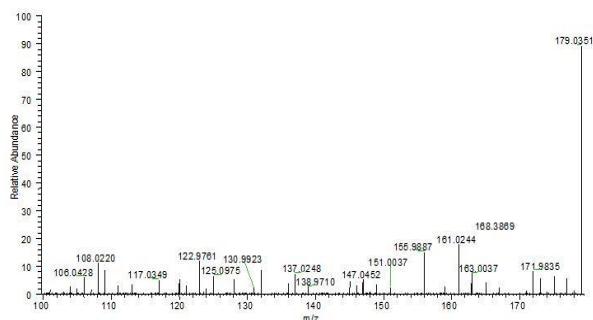


Figure 7. HRMS Spectrum of compound **3**

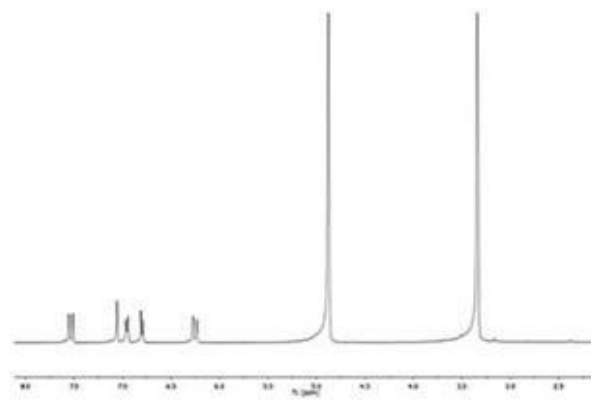


Figure 8. ^1H NMR Spectrum of compound **3**

Ursolic acid (4): The molecular mass of compound **4** was calculated as m/z 455.2741 according to its molecular formula $\text{C}_{30}\text{H}_{48}\text{O}_3$ and found m/z 455.3497 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M}-\text{H}]^-$ (Figure 9). ^1H NMR (methanol- d_4 , 600 MHz) δ 0.68 (1H, d, H-5), 0.73 (3H, s, H-25), 0.76 (s, H-24), 0.82 (3H, d, H-30), 0.87 (3H, s, H-26), 0.90 (3H, d, H-29), 0.93 (3H, m, H-23), 0.98 (1H, m, H-20), 1.04 (3H, s, H-27), 2.18 (1H, d, H-18), 3.18 (1H, t, $J = 16.4$ Hz, H-3), 5.21 (1H, s, H-12); (Figure 10). According to the NMR data of compound **4** showed signals for seven methyl groups at δ 0.73, 0.76, 0.82, 0.87, 0.90, 0.93 and 1.04 ppm correspond H-25, H-24, H-30, H-26, H-29, H-23 and H-27 respectively. The signal at δ 2.18 was attributed to H-18 while H-3 signal was observed at δ 3.18. The hydroxymethyl group (H-3) at δ 3.18 ppm corresponds to the carbon signal at δ 78.6 (C-3) and carbonyl group (C-28) at δ 180.6 ppm. Correlations of H-12 at δ 5.21 ppm with C-12 at δ 125.1 and at δ 5.21 ppm were observed as a large triplet attributed to H-12 made the location of olefinic methyl groups. When the previous studies are examined, ursolic acid was first isolated from *Scabiosa stellata* hexane extract (Rahmouni et al., 2018b). Based on the referred data and by comparison with the reported literature (Gnoatto et al., 2008), the structure of compound **4** was confirmed to be 3β -hydroxyurs-12-en-28-oic acid or ursolic acid.

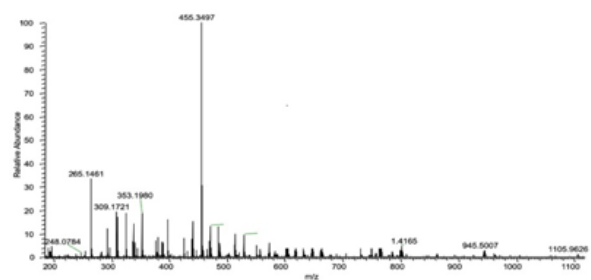


Figure 9. HRMS Spectrum of compound **4**

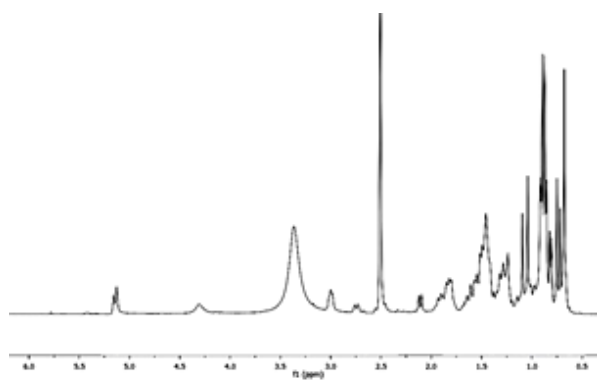


Figure 10. ^1H NMR Spectrum of compound **4**

4-*O*-caffeoylquinic acid (5): The molecular mass of compound **5** was calculated as m/z 353.0880 according to its molecular formula $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_9$ and found m/z 353.2347 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M}-\text{H}]^-$ (Figure 11). ^1H NMR (methanol- d_4 , 600 MHz) δ 7.63 (1H, d, $J = 15.9$ Hz, H-7'), 6.37 (1H, d, $J = 15.9$ Hz, H-8'), 7.06 (1H, H-2'), 6.97 (1H, H-6'), 6.78 (1H, H-5') and quinic acid signals at δ 4.29 (1H, brs, H-3), 4.80 (1H, dd, $J = 9.0$ Hz, 2.3 Hz, H-4), 4.27 (1H, ddd, $J = 9.0$ Hz, 9.0 Hz, 4.5 Hz, H-5), 1.98–2.23 (4H, m, H-2,6); (Figure 12). The ^{13}C NMR spectrum for the 4-*O*-caffeoylquinic acid presents 16 carbon atoms, with 7 carbons for the quinic and 9 carbons for caffeoyl moieties. The shift of H-4 signal of quinic acid from δ 4.60 ppm to 4.80 ppm and coupling constant of H-4 (dd) at 9.0 Hz and 2.3 Hz were proved to substitution took place at position 4 of quinic acid compared with literature data. Besides chemical shift of H-4 signal, small coupling constant of H-3 and coupling constants of H-5 (ddd) at 9.0 Hz, 9.0 Hz, and 4.5 Hz were also confirm the substitution at this position (Chuppeng et al., 2017).

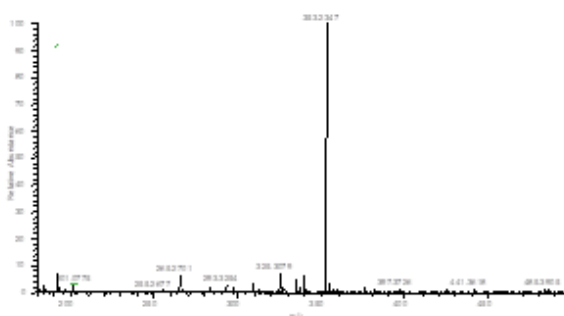


Figure 11. HRMS Spectrum of compound **5**

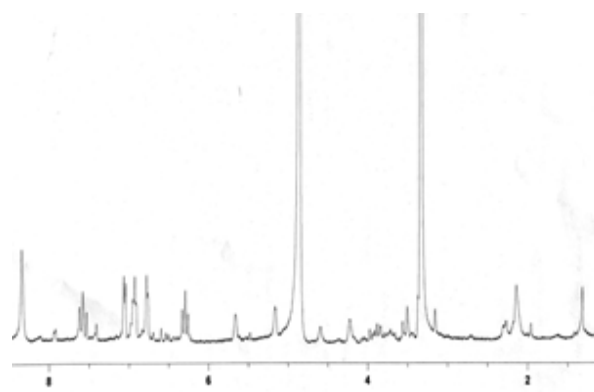


Figure 12. ^1H NMR Spectrum of compound **5**

3,5-*O*-dicaffeoylquinic acid (6): The molecular mass of compound **6** was calculated as m/z 515.1191 according to its molecular formula $\text{C}_{25}\text{H}_{24}\text{O}_{12}$ and found m/z 515.1722 by HR-MS in negative ion mode $[\text{M}-\text{H}]^-$ (Figure 13). The ^1H -NMR(methanol- d_4 , 600 MHz) spectrum of compound **6** showed two sets of caffeoyl th7.07 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-2''), 6.85 (1H, dd, $J = 8.3$ Hz, 2.0 Hz, H-6''), 6.78 (1H, d, $J = 8.3$, H-5''), 6.97 (1H, dd, $J = 8.3$ Hz, 2.0 Hz, H-6''), 6.78 (1H, H-5'), 6.28 (1H, d, $J = 15.8$ Hz, H-8', 8''), 6.36 (1H, d, $J = 15.8$ Hz, H-8'') and 5.42 (2H, m, H-3,5), 3.97 (1H, d, $J = 4.1$ Hz, H-4), 2.31 (1H, brs, H-6 α), 2.22 (2H, m, H-2), 2.16 (1H, m, H-6 β); (Figure 14). For the first time, 3,5- *O*-dicaffeoylquinic acid (DCQA), was identified from genus *Scabiosa* (Ma et al., 2016).

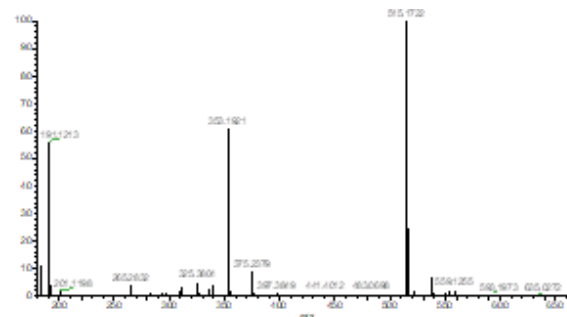


Figure 13. HRMS Spectrum of compound **6**

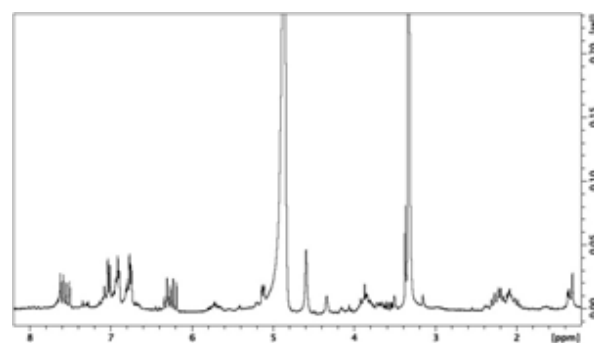


Figure 14. ^1H NMR Spectrum of compound **6**

In the structure of compound **6**, different from compound **5**, there are two trans-caffeoyl groups and one quinic acid. The acylation positions of both compounds were determined by using the chemical shift and coupling constants of the oxygenated methine protons of the quinic acid. The H-5 signal of compound **5** was shifted to downfield and proved the acylation at this position for compound **6**.

3.2. Activity results

The antioxidant properties of *S. sicula* dichloromethane extract was evaluated using different assays including TEAC and free radical scavenging (DPPH) tests. TEAC value was defined as the concentration of Trolox solution with the same amount of antioxidant potential found in the 1 mg/mL solution of the tested extract resulted to be 1.21 ± 0.01 mg/mL. The TEAC value of extract was compared to quercetin 0.663 mM (do Amaral et al; 2012). The calculated EC₅₀ value $\mu\text{g/mL}$ indicates the concentration required to scavenge 50% of DPPH of the free radical scavenging activity of the apolar extract expressed as $\mu\text{g/mL}$ of sample (Cerulli et al., 2018). In this analysis, vitamin C was used the reference and its antiradical activity was calculated as (4.42 $\mu\text{g/mL}$) while the corresponding methanol extract antiradical activity was 3.34 ± 0.01 $\mu\text{g/mL}$.

The antioxidant activity in secondary metabolite structures was found to depend on the number of active groups (OH) involved in the structure. In addition, it has been determined that the presence of active groups in the structure of the compounds increases the antioxidant activity of the compounds. Depending on the location of active groups in the structure and which active group is involved in the structure, it plays an important role in the structure-antioxidant activity relationship (Bendary et al., 2013; Valgimigli et al., 2008).

All of the pure compounds isolated from dichloromethane extract were also isolated from the methanol extract of *S. sicula* (Kılınç et al., 2020). In this respect, it has been determined that the secondary metabolites content of the dichloromethane extract similar to some of the secondary metabolite content of the methanolic extract. When the comparison was done between our previous study and this study, *S. sicula* methanol extract is particularly rich in triterpene compounds and eight new triterpene saponin compounds have been presented in the literature as new compounds. The α -glucosidase inhibitory activity of the methanol extract showed a high

value supporting the rich triterpene saponin content of the extract. On the other hand, only one known triterpene structure was isolated from dichloromethane fraction and the other compounds were phenolic structures. Therefore, this feature approved the antioxidant activities due to rich phenolic compounds it contains. The most important point is in this study, the identification and characterization of *Scabiosa sicula* dichloromethane extract constituents were discussed for the first time.

4. Conclusion

There is no phytochemical investigation on *S. sicula* dichloromethane extract, so the present study was the first phytochemical research study on dichloromethane extract of this species. In summary, six compounds were isolated from *S. sicula* apolar fraction and their structures were determined by spectroscopic techniques comparing with literature. Five of isolated compounds (1-3, 5, 6) were characterized as phenolic compounds and previously isolated from *S. comosa*, *S. tschilliensis*, *S. sicula* and *S. stellata* (Ma et al., 2016, Rahmouni et al., 2018a, Kılınç et al., 2020) whereas compound **4** which is terpenoid was isolated from *S. stellata* and *S. sicula* (Rahmouni et al., 2018b, Kılınç et al., 2020). The results of this study show that secondary metabolites that make up *S. sicula* extract also contribute to the formation of a natural antioxidant source. With this study, it has been understood that some secondary metabolites that are used in traditional medicine are used properly and in addition to these usage areas, they can also be used in cosmetic, food supplement and new drug studies. It is also able to give an idea for further studies in the future. To summarize, *S. sicula* is a good source of new pharmaceutical products (Hlila et al., 2015).

Acknowledgement

The author would like to thank TUBITAK 2219 Grant number: 1059B191700874.

References

- Baykal, T., Panayir, T., Tasdemir, D., Sticher, O. And Calis, I. (1998). Triterpene saponins from *Scabiosa rotata*. *Phytochemistry*, 48, 867–873. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00982-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00982-5)
- Bendary, E., Francis, R.R., Ali, H.M.G., Sarwat, M.I. and El Hady S. (2013). Antioxidant and structure–activity relationships (SARs) of some phenolic and anilines compounds. *Annals of*

- Agricultural Science*, 58, 173–181.
<https://doi.org/10.1016/j.aos.2013.07.002>
- Besbes, M., Omri A., Cheraif, I., Daami, M., Jannet, H.B., Mastouri, M., Aouni, M. and Selmi, B. (2012). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Scabiosa arenaria* Forssk. growing wild in Tunisia. *Chemistry & Biodiversity*, 9, 829-839.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201100191>
- Bonet, M. and Valles, J. (2007). Ethnobotany of Montseny biosphere reserve (Catalonia, Iberian Peninsula): Plants used in veterinary medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 110, 130-147.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.016>
- Cerulli, A., Lauro, G., Masullo, M., Cantone, V., Olas, B., Kontek, B., Nazzaro, F., Bifulco, G. and Piacente, S. (2017). Cyclic diarylheptanoids from *Corylus avellana* green leafy covers: determination of their absolute configurations and evaluation of their antioxidant and antimicrobial activities. *Journal of Natural Products*, 80, 1703–1713.
<https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b00703>
- Cerulli, A., Masullo, M., Montoro, P., Hosek, J., Pizza, C., Piacente, S. (2018). Metabolite profiling of “green” extracts of *Corylus avellana* leaves by ¹H NMR spectroscopy and multivariate statistical analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*; 160, 168–178.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.07.046>
- Chuppeng, W., Shanshan, L., Lin, L., Chuying, C. and Shuying, F. (2017). Caffeoylquinic acids from the aerial parts of *Chrysanthemum coronarium* L. *Plants*, 6, 10.
<https://doi.org/10.3390/plants6010010>
- Corradi, E., De Mieri, M., Gafner, F., Hamburger, M. and Potterat, O. (2016). A new secoiridoid glucoside and a metabolite profile of *Scabiosa lucida*. *Natural Product Communications*, 11, 887–890.
<https://doi.org/10.1177/1934578X1601100705>
- Davis, P.H. (1970). *Flora of Turkey*: Edinburg, University Press.
- Do A.F.P., Napolitano, A., Masullo, M., dos Santos, L.C., Festa, M., Vilegas, W., Pizza, C. and Piacente, S. (2012). HPLC-ESIMSⁿ profiling, isolation, structural elucidation, and evaluation of the antioxidant potential of phenolics from *Paepalanthus geniculatus*. *Journal of Natural Products*, 75, 547–556.
<https://doi.org/10.1021/np200604k>
- Elhawary, S.S., Eltantawy, M.E., Sleem, A.A., Abdallah, H.M. and Mohamed, N.M. (2011). Investigation of phenolic content and biological activities of *Scabiosa atropurpurea* L. *World Applied Sciences Journal*, 15, 311–317.
- Garaev, E. A., Movsumov, I. S. and Isaev, M. I. (2008). Flavonoids and oleanolic acid from *Scabiosa caucasica*. *Chemistry of Natural Compounds*, 44, 4. <https://doi.org/10.1007/s10600-008-9108-x>
- Gnoatto, S.C.B., Dassonville-Klimpt A., Da Nascimento, S., Gale'ra, P., Boumediene, K., Gosmann, G., Sonnet, P. and Moslemi S. (2008). Evaluation of ursolic acid isolated from *Ilex paraguariensis* and derivatives on aromatase inhibition. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43, 1865-1877.
<https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2007.11.021>
- Hlila, M.B., Mosbah, H., Majouli, K., Msaada, K., Ben J.H., Aouni, M. and Selmi, B. (2015). Alpha-Glucosidase inhibition by Tunisian *Scabiosa arenaria* Forssk. extracts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 77, 383-389.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.03.035>
- Jeong C., Jeong H., Choi G., Kim D., Lee U. and Heo H. (2011). Neuroprotective and anti-oxidant effects of caffeic acid isolated from *Erigeron annuus* leaf. *Chinese Medicine*, 6, 25.
<https://doi.org/10.1186/1749-8546-6-25>
- Kılınç, H., Masullo, M., D'Urso, G., Karayıldırım T., Alankus, O. and Piacente S. (2020). Phytochemical investigation of *Scabiosa sicula* guided by a preliminary HPLC-ESIMSⁿ profiling. *Phytochemistry*, 174.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112350>
- Lehbili, M., Magid, A.A., Kabouche, A., Voutquenne-Nazabadioko, L., Morjani, H., Harakat, D. And Kabouche, Z. (2018). Triterpenoid saponins from *Scabiosa stellata* collected in North-eastern Algeria. *Phytochemistry*, 150, 40–49.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.03.005>
- Kose, L.S., Moteetee, A. and Van Vuuren, S. (2015). Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the Maseru district of Lesotho. *Journal of Natural Products*, 170, 184-200.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.04.047>
- Ma, J.N., Bolraa, S., Ji, M., He, Q.Q. and Ma, C.M. (2016). Quantification and antioxidant and anti-HCV activities of the constituents from the inflorescences of *Scabiosa comosa* and *S. tschilliensis*. *Natural Product Research*, 30, 590-594.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1027701>
- Panayır, T. and Baykal, T. (1997). Morphological and anatomical studies on *Scabiosa rotata* bieb. (Dipsacaceae). *Journal of Faculty of Pharmacy*

- of Ankara University, 26(1), 22-35.
https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000311
- Perdetzoglou, D., Kaltsa, S., Tzakou, O. and Harvala, C. (1994). Comparative phytochemical and morphological study of two species of the *Scabiosa* L. genus. *Feddes Repertorium*, 105, 157 – 165.
https://doi.org/10.1002/fedr.19941050305
- Pinto, D.C.G.A., Rahmouni, N., Beghidja, N. and Silva, A.M.S. (2018). *Scabiosa* Genus: A rich source of bioactive metabolites. *Medicines*, 5, 110.
https://doi.org/10.3390/medicines5040110
- Rahmouni, N., Pinto, D.C.G.A., Beghidja, N., Benayache, S. and Silva, A.M.S. (2018a). *Scabiosa stellata* L. Phenolic content clarifies its antioxidant activity. *Molecules*; 23,6, 1285.
https://doi.org/10.3390/molecules23061285
- Rahmouni N., Pinto, D.C.G.A., Santos S.A.O., Beghidja, N. and Silva A.M.S. (2018b). Lipophilic composition of *Scabiosa stellata* L.: an underexploited plant from Batna (Algeria). *Chemical Papers*, 72, 753-762.
https://doi.org/10.1007/s11696-017-0308-3
- Reveal, J.L. and Chase, M.W. (2011). Apg III: bibliographical information and synonymy of magnoliidae. *Phytotaxa*, 19, 71–134.
https://doi.org/10.11646/phytotaxa.19.1.4
- Rigat, M., Bonet, M. A., Garcia, S., Garnatje, T. and Valles, J. (2007). Studies on pharmaceutical ethnobotany in the high river Ter valley (Pyrenees, Catalonia, Iberian Peninsula). *Journal of Ethnopharmacology*, 113, 267-277.
https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.06.004
- Santos, C.C.D., Masullo, M., Cerulli, A., Mari, A., Estevam, C.D., Pizza, C. and Piacente, S. (2017). Isolation of antioxidant phenolics from *Schinopsis brasiliensis* based on a preliminary LC-MS profiling. *Phytochemistry*, 140, 45–51.
https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.008
- Valgimigli, L., Amorati, R., Fumo M.G., Dilabio, G.A., Pedulli, G.F., Ingold, K.U. and Pratt, D. (2008). The unusual reaction of semiquinone radicals with molecular oxygen. *The Journal of Organic Chemistry*, 73, 1830–1841.
https://doi.org/10.1021/jo7024543
- Wang, J., Liu, K., Xu, D., Wang, Q., Bi, K., Song, Y., Li, J. and Zhang, L. (2013). Rapid micropropagation system in vitro and antioxidant activity of *Scabiosa tschiliensis* Grunng. *Plant Growth Regulation*, 69, 305–310.
https://doi.org/10.1007/s10725-012-9765-4
- Zemtsova, G.N., Bandyukova, V.A. and Shinkarenko, A.L. (1968). Quercetin diglucoside from the yellow *Scabiosa*. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2, 12,180–678.
https://doi.org/10.1007/BF00763332
- Zhang, L., Cui, Z.H., Mu, Y.X., Wei, K.H., Li, Z.H., Zhu, H., Yang, D.W., Wang, Y.L., Long, P., Zhang, C.H. and Li, M.H. (2015). Ethnopharmacological investigation and rapid authentication of Mongolian patent medicines Digeda. *Chinese Herbal Medicine*, 7, 223-237.
https://doi.org/10.1016/S1674-6384(15)60044-2
- Zheng, Q., Koike, K., Han, L.K., Okuda, H. and Nikaido, T. (2004). New biologically active triterpenoid saponins from *Scabiosa tschiliensis*. *Journal of Natural Products*, 67, 604-613.
https://doi.org/10.1021/np0304722

Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği

Change of carbon footprint due to fuel consumption: Çanakkale case study

Melike YALILI KILIÇ^{*1,a}, Tarık DÖNMEZ^{1,b}, Sümeyye ADALI^{1,c}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 27.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 12.06.2021

Öz

Etkileri gün geçtikçe artarak devam eden küresel ısınmayla mücadele noktasında sera gazı emisyonlarının azaltılması büyük önem arz etmektedir. Kyoto Protokolünde ele alınan bu sorunun çözümünde karbon salınımlarının mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesi tavsiye edilmiştir. Bu protokolle, karbon emisyonlarını doğru bir şekilde hesaplayabilmek amacıyla ülkelere emisyon salınım kotaları getirilmiştir. Kota değerlerine uyum noktasında sera gazı envanteri oluşturulması ve emisyonların karbon ayak izlerinin hesaplanması gerekmektedir. Karbon ayak izi, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın bir ölçüsüdür. Bu çalışmada, Çanakkale’de karayolu araçlarından kaynaklanan 2015-2018 yılları arasındaki karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımının kullanıldığı hesaplamalarda Tier 1 yaklaşımında 2015 yılında 701.435 Gg bulunan karbon ayak izi miktarı, 2018 yılında %7’nin üzerinde bir artışla 752.536 Gg’a; Tier 2 yaklaşımında ise 2015 yılında 686.85 Gg olan karbon ayak izi miktarı, 2018 yılında 736.89 Gg’a yükselmiştir.

Anahtar kelimeler: Çanakkale, IPCC metodolojisi, Karbon ayak izi, Sera gazları, Yakıt türleri.

Abstract

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

Keywords: Çanakkale, IPCC methodology, Carbon footprint, Greenhouse gases, Fuel types

^{*a} Melike YALILI KILIÇ; myalili@uludag.edu.tr, Tel: (0224) 294 21 17, orcid.org/0000-0001-7050-6742

^b orcid.org/0000-0002-7313-5876

^c orcid.org/0000-0002-5077-7358

1. Giriş

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte insanların ihtiyaçları da artmakta ve çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle sanayi devrimi ile üretimin artması, doğal kaynakların tüketilmesine ve çevre kirliliğinin daha fazla hissedilmesine neden olmuştur. Kirlenme etkilerinden biri de atmosferik doğal dengedeki olumsuz değişimlerdir. İnsan faaliyetleri neticesinde meydana gelen karbondioksit, metan ve diazot oksit gibi sera gazları dünyadaki sıcaklığın yükselmesine neden olmakta ve küresel ısınma olarak tanımlanan bir problem ortaya çıkmaktadır (Açıkgöz, 2010). Küresel ısınmaya bağlı iklim değişiklikleri, dünya üzerindeki yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir (Aliusta vd., 2016).

İklim değişikliğinin yol açacağı felaketlerin farkına varılmasıyla beraber, sorunun çözümüne yönelik uluslararası platformda önemli gelişmeler yaşanmıştır. 1992'de Birleşmiş Milletler önderliğinde yapılan Rio Zirvesinde ülkelerin sera gazı salınımlarını azaltmak amacıyla önlemler alması gerektiği gündeme getirilmiş ve zirve sonrasında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) imzalanmıştır (Uysal Şahin, 2016). Bu sözleşmeye ek olarak 1997 yılında kabul edilen Kyoto Protokolünde, gelişmiş ülkelerin sera gazı salınımlarını 1990 yılına göre %5.2 oranında azaltmaları öngörülmüştür. Protokolde ana hedef, altı sera gazının (karbondioksit, metan, diazot oksit, sülfür heksaflorit, hidroflorokarbonlar ve Perflorokarbonlar) 2008-2012 yılları arası beş yıllık ortalama emisyon değerlerinin azaltılmasıdır (Özmen, 2009). 2019 yılına gelindiğinde protokolün ikinci taahhüt dönemi olan Doha Değişikliği'nde sera gazı emisyonlarının 2020 yılına kadar 1990 yılına göre %18 azaltılması kararlaştırılmıştır. Bu doğrultuda protokolde adı geçen ülkeler, müzakereler sonucunda farklı oranlarda sera gazı emisyon azaltımı yükümlülüklerini kabul etmişlerdir. Kyoto Protokolü resmi olarak 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, protokole günümüzde 191 ülke ve AB taraftır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2020). Protokolde sera gazlarının azaltılması amacıyla alınabilecek önlemler arasında;

- Enerji verimliliği,
- Yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi,

- Sürdürülebilir tarımın geliştirilmesi,
- Metan emisyonlarının geri kazanımı,
- Sera gazı emisyonlarının azaltımı,
- Yüksek miktarda CO₂ tutulumunu sağlayan orman, bitki örtüsü vb. korunması ve yaygınlaştırılması yer almaktadır (Özmen, 2009).

Kyoto protokolünden sonra 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Antlaşmasında iklim değişikliğiyle mücadelenin önemi vurgulanmış, iklim eylem planlarının yerel toplulukların ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulması gerektiği belirtilmiştir (Arı ve Aydın, 2019).

Çevre kirliliğinin önemli bir bölümünü oluşturan hava kirliliğinde, farklı etmenler bir arada bulunmasına rağmen en önemli etmen yanma olaylarıdır (Kelen, 2014). Yanma olayları orman ve bitki örtüsü yangınları, volkanlar gibi doğal kaynaklı; evsel ısınma, endüstriyel faaliyetler ve motorlu taşıt kullanımı ile antropojenik kaynaklı olarak meydana gelmektedir (Sümer, 2014). Antropojenik kaynakların çoğu fosil tabanlı olup, özellikle motorlu taşıtlarda kullanılan fosil yakıtların eksik yanması sonucu kükürt ve kurşun bileşenleri, partikül maddeler, aldehit, keton, azot oksitler ve yanmamış hidrokarbonlar gibi farklı kirletici unsurlar meydana gelmektedir (Alkaya ve Yıldırım, 2000; Kelen, 2014). Bu kirletici unsurlar insan ve çevre üzerinde toksik etki oluşturmaktadır. Bu durum taşıtlardan kaynaklanan emisyonların kontrolünü zorunlu kılmaktadır (Kelen, 2014).

Hava kirliliğinin korunması noktasında mevcut sorunlarının çözümüne yönelik uygulamalarda "Kyoto Protokolü" ile büyük başarı elde edilmiştir. Protokol ile belirlenen hava kirletici sınır değerlerin aşılması, sera gazı emisyonlarına sebep olan emisyonların karbon ayak izinin hesaplanması, sera gazı envanterlerinin hazırlanması ve bu sınırların altında kalacak çalışmaların ne kadar gerekli olduğu üzerinde durulmuştur (Türkay, 2018).

Kyoto Protokolü'ndeki sera gazlarının simgeleri, adları ve karbondioksit eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyelleri (Global Warming Potential, GWP) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sera gazlarının karbondioksit eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyeli (Bekiroğlu, 2016)

Sera gazı	CO ₂ eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyeli
CO ₂ (Karbendioksit)	1
CH ₄ (Metan)	21
N ₂ O (diazot oksit)	310
HFCs (Hidroflorokarbonlar)	140-11700
PFCs (Perflorokarbonlar)	6500-9200
SF ₆ (Sülfür Heksaflorür)	23900

CO₂ eşdeğerleri göz önüne alındığında, SF₆'ün en yüksek CO₂ eşdeğerine sahip olduğu, bu nedenle yayılımının azaltımı noktasında olduğu kaynağın kullanımına özellikle dikkat edilmesi gereken bir gaz olduğu görülmektedir. CO₂ en zararsız sera gazı gibi gözükmesine rağmen, miktar olarak bakıldığında diğer sera gazlarına oranla yüksek seviyede olduğundan büyük bir tehlike potansiyeli taşımaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). CO₂ hariç, diğer sera gazlarının aynı miktar CO₂'e kıyasla ne kadar fazla ısı tutabilme kapasitesine sahip olduğu CO₂ eşdeğeri ile tanımlanır. Üretilen sera gazı miktarının birim CO₂ cinsinden ölçüsü ise karbon ayak izidir. Karbon ayak izinin belirlenmesi; birim CO₂ eşdeğeri cinsinden toplam sera gazı emisyonlarının ifade edilmesi ile yapılmaktadır (Atabey, 2013).

Literatür incelendiğinde pek çok farklı alanda karbon ayak izi ile ilgili çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları, ulaştırma ve karayollarında (Bıyık, 2018; Türkay, 2018; Ayan, 2019; Atabey, 2013), tekstilde (Doğan, 2019), geri kazanım tesislerinde (Demirbaş, 2018; Erdoğan, 2015; Arıcı, 2018), üniversitelerde (Gökçek vd., 2019; Kumaş vd., 2019; Binboğa ve Ünal, 2018; Özçelik, 2017; Turanlı, 2015), tarımsal üretimde (Şahin ve Onurbaş, 2016), atıksu arıtma tesislerinde (Güller, 2018) gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi çalışmaları, Eskişehir (Türkay, 2018), Isparta (Bıyık ve Civelekoğlu, 2020), Muğla (Ayan, 2019) ve Konya (Çelik, 2020) şehirlerinde 2018-2020 yıllarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, Çanakkale ilinin 2015-2018 yılları arasında karayolu ulaşımı kaynaklı karbon ayak izi, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen ve Tier metoduyla belirlenen yöntemlerden olan Tier 1 ve Tier 2 metodları kullanılarak hesaplanmıştır.

2. Türkiye ve Dünya'da karbon ayak izi

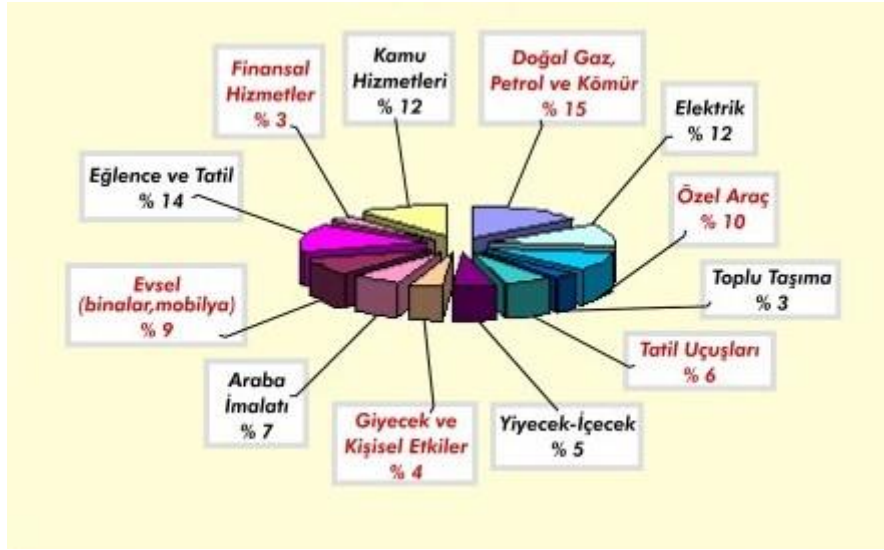
Sera gazları doğal olarak atmosferde belirli oranlarda yer almakta olup, atmosferin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. Atmosferin doğal bileşimi olan bu gazlar sayesinde güneşin yaydığı ısı dünyada belli oranda tutularak canlılar için uygun yaşam koşulları sağlanmaktadır (Doğan ve Tüzer, 2011). Sera gazları içerisinde yer alan CO₂ havanın hacimce %0.03'ünü oluşturmakla birlikte doğadaki karbon döngüsünün en önemli bileşeni olup, yeşil bitkiler tarafından fotosentetik olarak indirgenerek besin üretiminde rol oynamakta; bitki, mikroorganizma ve diğer canlılar tarafından doğal olarak atmosfere geri salınmaktadır (Demir vd., 2015). Fakat sanayi devriminden itibaren birçok alanda enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanımı, şehirleşme ve orman tahribatı sonucu atmosferde CO₂ miktarında önemli derecede artış yaşanmış (Mısır vd., 2011); 1000-1750 yılları arasında atmosferdeki miktarı 280 ppm olan CO₂ konsantrasyonu 2000 yılında 368 ppm değerine ulaşmıştır (Doğan ve Tüzer, 2011).

Sanayileşmenin başlamasından günümüze kadar atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu yaklaşık %40, CH₄ oranı 2-2.5 kat, N₂O oranı ise %15 seviyelerinde artış göstermiştir. Sanayileşmenin öncesinde organik maddelerin yapısal değişiklikleri ve bitkilerin solunumu sonucunda meydana gelen CO₂ miktarı, insan kaynaklı üretilen CO₂ miktarından çok daha fazla olmasına rağmen, sanayileşmenin artmasıyla birlikte CO₂ miktarı gün geçtikçe artış göstermiş ve bu durum beraberinde birçok sorunu meydana getirmiştir (Pekin, 2006).

Karbon ayak izi, insan faaliyetleri neticesinde üretilen sera gazlarının birim CO₂ cinsinden ölçüsüdür. Birincil karbon ayak izi ulaşım ve evsel enerji tüketimi dahil fosil yakıtların yanmasından meydana gelen doğrudan CO₂ emisyonlarının; ikincil karbon ayak izi ise, ürünlerin ham madde eldesinden nihai bertarafına kadar geçen sürede oluşan dolaylı CO₂ emisyonlarının ölçüsüdür.

İkincil karbon ayak izinin toplam karbon ayak izi içerisindeki payı %54 civarındadır (Atabey, 2013).

Şekil 1’de kişi başı karbon ayak izi oluşum oranları yer almaktadır.



Şekil 1. Kişi başı karbon ayak izi oluşum oranları (Anonim, 2020a)

Sera gazlarından olan CH₄, H₂O, CO₂, ozon (O₃) ve N₂O genellikle doğal süreçler içerisinde oluşmakta iken; HCFC, CFC ve tamamen florür bileşiği olan SF₆ gibi gazlar ise antropojenik aktiviteler sonucu oluşmaktadır (IPCC, 1996). Belirtilen gazların haricinde; karbonmonoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), metan olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC), azot oksitler (NO_x) ve yer seviyesindeki O₃ kirletici gazlar olarak tanımlanabilen, direkt olarak küresel ısınmaya neden olmayan, fakat dolaylı olarak küresel ısınmayı etkileyen sera gazları olarak bilinmektedir (Uzunçakmak, 2014).

Dünya karbon atlasında 1960-2018 yılları arasında kapsayacak şekilde ülkelerin karbon ayak izi verileri kullanılarak G20 ülkeleri arasında yapılan değerlendirmede, 1990 yılında ABD, Rusya ve Çin karbon ayak izinde en yüksek değerlere sahip ilk üç ülke olarak belirtilirken; Endonezya, Türkiye ve Arjantin son üç sırada yer almıştır. Ancak 2018 yılında Çin, ABD ve Hindistan en yüksek değerlere sahip ilk üç ülke konumunda olup; İtalya, Fransa ve Arjantin ise son üç sırada yer almaktadır. Türkiye’de 2018 yılındaki karbon ayak izi değeri 1990 yılındaki değere göre yaklaşık 2.5 kat artış göstermiştir (Anonim, 2020b).

Literatürde ulaştırmaya dayalı sera gazı emisyonları hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bıyık (2018) tarafından yapılan çalışmada, Tier 1 ve Tier 2 metodu kullanılarak 2010-2016 yılları arasında Isparta ilindeki karayolu taşıtlarının akaryakıt kullanımları ele alınarak CO₂ emisyonları hesaplanmıştır. 2010 yılında Tier 1

yaklaşım yöntemi ile hesaplanan 351.90 Gg olan karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi miktarı %34 oranında artış göstererek 2016 yılında 471.84 Gg’a yükselmiştir. Aynı konuda yapılan diğer çalışmalar ise; Tier 1 metodu kullanılarak Türkay (2018) ve Ayan (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkay (2018) tarafından Eskişehir ilinde 2012 ve 2017 yıllarında yapılan hesaplamalara göre, kara ulaşımı kaynaklı eşdeğer CO₂ emisyonu 2012 yılı için 821.509 Gg, 2017 yılı için 1453.954 Gg olarak belirlenmiştir. Muğla ilinde 2013-2018 yılları arasında kapsayan dönemde Ayan (2019) tarafından yapılan çalışmada karayollarında tüketilen yakıtların eşdeğer CO₂ miktarı hesaplanmış olup, 2013 yılında 1023.845 Gg olan eşdeğer CO₂ emisyonu, 2018 yılında 1443.720 Gg değerine yükselmiştir. Konya ilinde 2019 yılında Tier 2 metodu kullanılarak yapılan çalışmada, il geneli için ortalama 3918.85 Gg CO₂ emisyonunun karayolu ulaşımından, 61.21 Gg CO₂ emisyonunun demiryolu ulaşımından, 17.20 Gg CO₂ emisyonunun ise havayolu ulaşımından kaynaklandığı bildirilmektedir (Çelik, 2020).

3. Materyal ve metot

Bu çalışmada, Çanakkale ilinde karayolu ulaşımı kaynaklı fosil yakıt tüketiminin karbon salınımına etkisi değerlendirilmiştir. Öncelikle Tier 1 yöntemine göre Çanakkale’de kullanılan yakıt miktarları incelenerek, yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi hesaplanmıştır. Yakıt türlerinin karayolu ulaşımı dışında kullanılma durumu ihmal edilmiştir. Mevcut veriler T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Petrol

ve LPG Piyasası Sektör Raporlarından alınmıştır. Hesaplamalar IPCC'nin sunduğu Tier I ve Tier 2 metodu kullanılarak 2015-2018 yıllarını kapsayacak şekilde yapılmıştır.

IPCC, Birleşmiş Milletlere bağlı iki kurum olan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün ortak girişimiyle kurulmuştur. IPCC kapsamında, insan faaliyetlerinin iklim değişikliğine etkisini değerlendirmek üzere bilimsel kuruluşlar, enstitüler ve bilim insanlarının katkılarıyla iklim değişikliği değerlendirme raporları hazırlanmaktadır. 1990 yılında ilk raporu yayınlanmaya başlayan panelde son olarak 2013-2014 yıllarında 5. rapor yayınlanmıştır. IPCC raporları başlıca 4 bölümden oluşmaktadır:

- Değerlendirme raporları
- Özel raporlar
- Yöntem metodları
- BM dışı dillere çeviriler (Atabey, 2013; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Ülkelerin sera gazı emisyon hedeflerini gerçekleştirmek, ulusal envanterlerini geliştirmek, yayınlamak ve sera gazı emisyon envanterlerinde kıyaslamalı metodolojiler kullanmasını sağlamak amacıyla IPCC kılavuzu oluşturulmuştur. Üç kitaptan oluşan kılavuzun birincisinde ulusal envanter oluşturmak amacıyla verilerin nasıl toplanıp-değerlendirileceği, çalışma sonuçlarının bildirilme şeklini içeren raporlama bilgileri yer almaktadır. İkinci kitap, raporlama çalışmalarında kullanılacak tabloları içeren ve yapılacak hesaplamalar hakkında açıklamalar içeren bir çalışma kitabı niteliğindedir. Üçüncü kitap ise, uygulanabilecek metodları açıklayan, elde edilemeyen veriler yerine uygun olarak kullanılacak ortalama değerler içeren bir referans kitaptır (Pekin, 2006). IPCC'de sera gazı envanter hesaplamaları enerji, endüstriyel işlemler, solvent ve diğer ürünlerin kullanımı, tarım, atıklar, orman ve yeryüzü coğrafyasının kullanımı, genel

rehberlik ve raporlama ana başlıkları adı altında incelenmiştir (Babaoğlu ve Özgünoğlu, 2017).

Ulaştırma sektörü kaynaklı emisyonlar yakıt yanmasıyla ilgilidir. Sera gazları içerisinde CO₂ gazı doğrudan yakıtın yakılmasıyla bağlantılı bir gaz olduğundan dolayı diğer gazlardan farklı olarak daha kesin hesaplanabilmektedir. CO₂ emisyonları, yakıtların satış veya tüketim değerleri kullanılarak birkaç düzeltme yapılarak bulunabilmektedir (Atabey, 2013). CO₂ gazından farklı olarak, CH₄, N₂O, NO_x, CO ve NMVOC gazlarının hesabında daha detaylı bilgi istenmektedir. Yanma koşulları ve teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi çeşitli faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu aşamada "Tier" kavramları öne çıkmaktadır (Pekin, 2006).

IPCC kılavuzuna göre sera gazı emisyonlarından kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplanmasında farklı Tier yaklaşımları bulunmaktadır: Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 (Keskin vd., 2017).

Tier 1 Yaklaşımı: Yakıt tüketim verileri baz alınarak, yakıt türlerinin belirli emisyon faktörleriyle hesaplamaları yapılmaktadır. Yakıtın ne tür bir teknoloji ile yakıldığı önemsenmemektedir. Elde edilen sonuç CO₂ değeri cinsinden ifade edilmektedir.

CO₂ emisyonlarının hesabını yapabilmek amacıyla ilk olarak yakıt tüketim miktarları belirlenir. İkinci olarak, yakıtların tüketim miktarlarının IPCC Kılavuzu'nda bulunan dönüşüm faktörleriyle çarpılması ile yakıt türlerinin enerji muhtevası tespit edilmektedir. İlk adımda hesaplanmış olan yakıt kullanım miktarları eğer kütle türünden (kg, ton) ise, net kalori değerlerine uygun olarak belirlenen dönüşüm faktörleriyle (TJ/kt veya TJ/ton) çarpılarak TJ birimine çevrilir. Tablo 2'de yakıt türlerine ait dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Tablo 2. Yakıt türlerine ait dönüşüm faktörleri (IPCC, 2006)

Yakıt türü	Dönüşüm faktörü (TJ/Gg) (Eşdeğer CO ₂ hesabı)	Dönüşüm faktörü (Tj/kt) (Toplam CO ₂ hesabı)
Benzin	44.3	44.8
Dizel (Motorin)	43	43.33
LPG	47.3	47.31

Üçüncü adımda ise her bir yakıt türüne uygun olarak belirlenen CO₂ emisyon faktörleri kullanılarak yakıtların içerdiği toplam CO₂ miktarı tayin edilir. Tablo 3'de yakıt türlerinin CO₂ emisyon faktörleri yer almaktadır.

Tablo 3. Yakıt türlerinin CO₂ emisyon faktörleri (IPCC, 2006)

Yakıt türü	Emisyon faktörü (kg CO ₂ /TJ)	Emisyon faktörü (t C/Tj)
Benzin	69300	18.9
Dizel (Motorin)	74100	20.2
LPG	63100	17.2

Birincil Yakıtlar: Doğada buldukları şekliyle kullanılabilen kömür, doğalgaz ve ham petrol gibi yakıtlardır.

İkincil Yakıtlar: Birincil yakıtların işlenmesiyle elde edilen benzin, yağlayıcılar v.b. ürünler ikincil yakıtları oluşturmaktadır.

Yaklaşım türüne göre (birincil, ikincil) yakıt tüketim değerlerini aşağıdaki formülasyonları uygulayarak tespit etmek mümkündür.

Birincil Yakıt Tüketimi = Im + Pr - Ex - SC - IB

İkincil Yakıt Tüketimi = Im - SC - IB - Ex

(Im: İthal edilen yakıt miktarı, Pr: Üretilen yakıt miktarı, Ex: İhraç edilen yakıt miktarı,

SC: Stoklarda meydana gelen değişim, IB: Uluslararası kullanıma satılan yakıt miktarı)

Tier 2 Yaklaşımı: Bu yöntemde akaryakıt tüketimi yerine taşıtın yaptığı yol miktarı hesaba katılmaktadır. Tier 1 yöntemine göre daha ayrıntılı bir hesap yöntemi olan bu yöntemde, daha fazla veri gereksinimine ihtiyaç duyulmasına rağmen özellikle CO₂ dışındaki gazların emisyonlarında daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Tier 2 yaklaşımının Tier 1 yaklaşımından en önemli farkı, akaryakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmesidir (Bıyık, 2018). Tier 2 yaklaşımında kullanılan yakıtlar gruplara ayrılarak uygun emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır (Pekin, 2006).

Tier 2 yaklaşımında hesaplama 5 adımdan oluşmaktadır. 1. adımda taşıt türlerine göre ayırım yapılarak taşıtlar, kullandıkları akaryakıt türü ve emisyon kontrol teknolojisine göre sınıflandırılır. 2. adımda taşıt türü, kullanılan akaryakıt türü, emisyon kontrol teknolojisi ve hesabı yapılacak emisyon türüne göre emisyon faktörü belirlenir. 3. adımda taşıt aktivitesi belirlenir. 4. adımda taşıt sayısı, yaptığı yol ve emisyon faktörü çarpılıp o gaza ait emisyon miktarı hesaplanır. 5. adımda belirlenen kriterlere göre sınıflandırılan taşıtlardan kaynaklanan aynı gaza ait diğer veriler toplanarak

o gaza ait toplam emisyon miktarı bulunur. Eşitlik 1'de Tier 2 emisyon hesap modeli verilmiştir (IPCC, 2006; Bıyık, 2018).

$$\sum \text{Emisyon} = \sum [\text{Aktivite}_{abc} \times \text{EF}_{abc}] \quad (1)$$

(Emisyon miktarı: (g), Aktivite, tüketilen enerji miktarı veya verilen mobil kaynağın kat ettiği yol uzunluğu: (km), EF (Emisyon faktörü): (g/km), a: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG vb.), b: Araç tipi (özel otomobil, hafif dizel, ağır dizel vb.), c: Emisyon kontrol teknolojisi (kontROLSÜZ, 15.04, Euro I, Euro III vb.)

Tier 3 Yaklaşımı: Yakıt istatistikleri ve yakma teknolojisine göre belirlenmiş teknolojiye bağlı emisyon faktörlerinin, daha fazla detaylı verilerin olduğu yakma tesislerinin ısı güçlerinin, beslenme tipi vb. bilgilerin kullanılarak yapıldığı hesaplamalardır (Atabey, 2013). Tier 3 yaklaşımında yakıtların tüketim değerleri yanında araçların aldıkları yol uzunluğu veya ton-km biriminde taşınan yük değerleri göz önüne alınarak, bunlara uygun emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapılır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997; Pekin, 2006). Eşitlik 2'de Tier 3 emisyon hesap modeli verilmiştir (IPCC, 2006).

$$\sum \text{Emisyon} = \sum [\text{Mesafe}_{abcd} \times \text{EF}_{abcd}] + \sum C_{abcd} \quad (2)$$

(Emisyon miktarı: (kg), EF (emisyon faktörü): (kg/km), Mesafe, belirli bir mobil kaynak aktivitesi için termal olarak stabilize edilmiş motor çalıştırma aşamasında kat edilen mesafe (VKT): (km), C: ısınma aşaması sırasında emisyonlar (soğuk çalıştırma) (kg), a: yakıt tipi, b: araç tipi, c: emisyon kontrol teknolojisi, d: çalışma koşulları (kentsel veya kırsal yol türü, iklim veya diğer çevresel faktörler))

Tablo 4'te Tier 1 yöntemine göre eşdeğer CO₂ emisyon miktarını belirlemede kullanılan birim ve formülasyonlar yer almaktadır.

Tablo 4. Tier 1 yöntemine göre eşdeğer CO₂ emisyon miktarını belirlemede kullanılan birim ve formülasyonlar (Bıyık ve Civelekoğlu, 2020)

Sembol	Birim	Formülasyon
A	Yakıt Tüketimi (ton)	
B	Dönüşüm Faktörü (TJ/Gg)	
C	Enerji Tüketimi (TJ)	$A*B*10^{-3}$
D	Emisyon Faktörü (kg/TJ)	
E	Emisyon İçeriği (kg)	$C*D$
F	Emisyon İçeriği (Gg)	$E*10^{-6}$
G	Küresel Isınma Potansiyeli (t)	
H	CO ₂ emisyonu (Gg CO ₂)	$G*F$

4. Bulgular ve tartışma

Çalışma kapsamında 2015 ve 2018 yılları arasında Çanakkale ilinde karayolu ulaşımı kaynaklı oluşan sera gazı emisyonları IPCC Tier 1 ve Tier 2 yöntemi ile hesaplanmıştır. 2015 ve 2018 yılları arasında nüfusta yaşanan artış ile birlikte gerek özel araç, gerekse toplu taşıma araçlarının sayısının

artmasından dolayı, Çanakkale ilinde tüketilen yakıt miktarında da artış gözlenmiştir. Diğer yandan Çanakkale ili, turizm açısından zengin kaynaklara sahiptir. Bu nedenle nüfus yoğunluğu özellikle yaz mevsiminde artış göstermektedir. Tablo 5'te 2015-2018 döneminde Çanakkale ili karayollarında tüketilen yakıt miktarları verilmiştir.

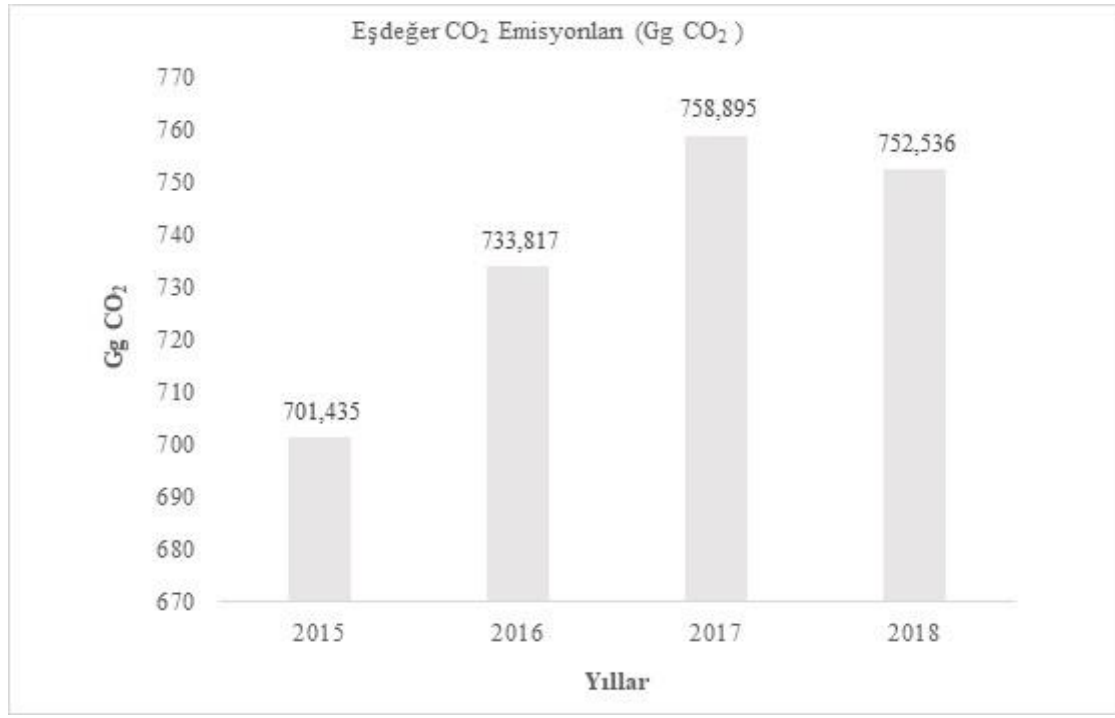
Tablo 5. 2015-2018 döneminde Çanakkale İli Karayollarında Tüketilen Yakıt Miktarları (EPDK, 2020a, 2020b)

Yıllar	Benzin Türleri	Motorin Türleri	LPG (Otogaz)
2018	26519.57 ton	185699.29 ton	22019.266 ton
2017	25703.22 ton	188844.75 ton	21602.325 ton
2016	24413.87 ton	181791.66 ton	22206.395 ton
2015	22414 ton	174663 ton	21228 ton

Tablo 5 incelendiğinde, tüketilen benzin miktarının her geçen yıl artış gösterdiği görülmektedir. Yıllar arasında karşılaştırma yapıldığında motorin tüketim miktarının 2017 yılında; LPG tüketim miktarının ise 2016 yılında en yüksek değere ulaştığı gözlenmiştir.

Şekil 2'de Tier 1 yöntemine göre hesaplanan yakıt türlerine ait eşdeğer CO₂ emisyon miktarları

görülmektedir. Eşdeğer CO₂ emisyon miktarı en yüksek değerine 2017 yılında 758.895 gigagram ile (Gg), en düşük değerine ise 2015 yılında 701.435 Gg ile ulaşmıştır. 2017 yılında pik yapan emisyon değerlerinin, 2017 yılı içerisinde kullanılan motorin miktarının diğer yıllara oranla daha yüksek olması nedeniyle (Tablo 5) olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. Tier 1 yöntemine göre hesaplanan yakıt türlerine ait eşdeğer CO₂ emisyon miktarları

Tier 2 hesaplamaları kapsamında Tablo 6'da Çanakkale ili trafiğe kayıtlı araç sayıları yer almaktadır.

Tablo 6. Çanakkale ili trafiğe kayıtlı araç sayıları (TÜİK, 2020)

Yıllar	Otomobil			Kamyon Dizel	Kamyonet Dizel	Minibüs Dizel	Otobüs Dizel	Motosiklet Benzin	Traktör Dizel
	Dizel	Benzin	LPG						
2015	24020	20980	30634	5319	27704	2219	1945	52765	30928
2016	27928	22276	32583	5598	29910	2379	1987	54691	32119
2017	31683	23180	34368	5866	31936	2524	1939	56860	33253
2018	33769	22849	34778	5952	33220	2603	1911	58949	33909

Araç sayıları elde edildikten sonra, her araç grubunun 100 km'deki yakıt tüketim miktarları belirlenir. Bunun için IPCC Kılavuzunda yer alan araç gruplarından seçim yapılır (IPCC/UNEP/OECD/IEA; 1997-2006). Bu şekilde

emisyon standartları belirlenmiş olur. IPCC Kılavuzunda araç gruplarının ülkemiz için uygunluğu belirlenmiş olan yakıt tüketim değerleri Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. Araç gruplarının 100 km'deki yakıt tüketimleri (litre/100 km)

Yıllar	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG					
2015	8.5	7.3	11.2	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2016	8.5	7.3	11.2	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2017	8.5	7.3	11.2	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2018	8.5	7.3	11.2	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00

Araçların 100 km'deki yakıt tüketimleri belirlendikten sonra, araç gruplarının bir yılda gittiği mesafenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerleri elde etmek için kesin bir kaynak bulunmamakla birlikte, ülkemizdeki toplam yakıt tüketim değerleriyle bir yakıt dengesi oluşturacak

şekilde, araç sayısı ve 100 km'deki ortalama yakıt tüketim miktarları yardımıyla, araçların yıllık menzilleri ortalama değer cinsinden elde edilebilmektedir. Bu yaklaşıma göre hesaplanan araçların ortalama yıllık menzilleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Araç gruplarının ortalama yıllık menzilleri (km)

Yıllar	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG					
2015	3492	4276	5085	43247	16853	26127	43248	3697
2016	3530	4425	5162	45735	17845	26396	44491	3766
2017	3405	4654	5048	50114	18659	28172	50141	3817
2018	3444	5090	5242	42791	16871	27077	48826	3960

Elde edilen veriler kapsamında örnek olarak 2015 yılında benzinli otomobillerinden açığa çıkan CO₂ emisyonu hesaplanmıştır.

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] × 10⁻³ × Dönüşüm Faktörü [TJ/kt]

Karbon İçeriği [t C] = Karbon Emisyon Faktörü [t C/TJ] × Enerji Tüketimi [TJ]

Karbon İçeriği [Gg C] = Karbon İçeriği [t C] × 10⁻³

Karbon Emisyonu [Gg C] = Karbon İçeriği [Gg C] × Karbon Oksitlenme Oranı

CO₂ Emisyonu [Gg CO₂] = Karbon Emisyonu [Gg C] × (44/12)

Otomobil benzin yakıt tüketimi 2015 = 6227.284 t × 10⁻³ = 6.23

Dönüşüm Faktörü = 44.80 TJ/ kt

Enerji Tüketimi = 6.23 × 44.80 = 279.10 TJ

Benzinin Karbon Emisyon Faktörü = 18.9 t C/TJ

Karbon İçeriği = 279.10 × 18.9 = 5274.99 t C

Karbon İçeriği = 5274.99 × 10⁻³ = 5.28 Gg C

Benzinin Karbon Oksitlenme Oranı = 0.99

Gerçek Karbon Emisyonu = 5.28 × 0.99 = 5.23 GgC

CO₂ Emisyonu = 5.23 × 44/12 = 19.15 Gg CO₂

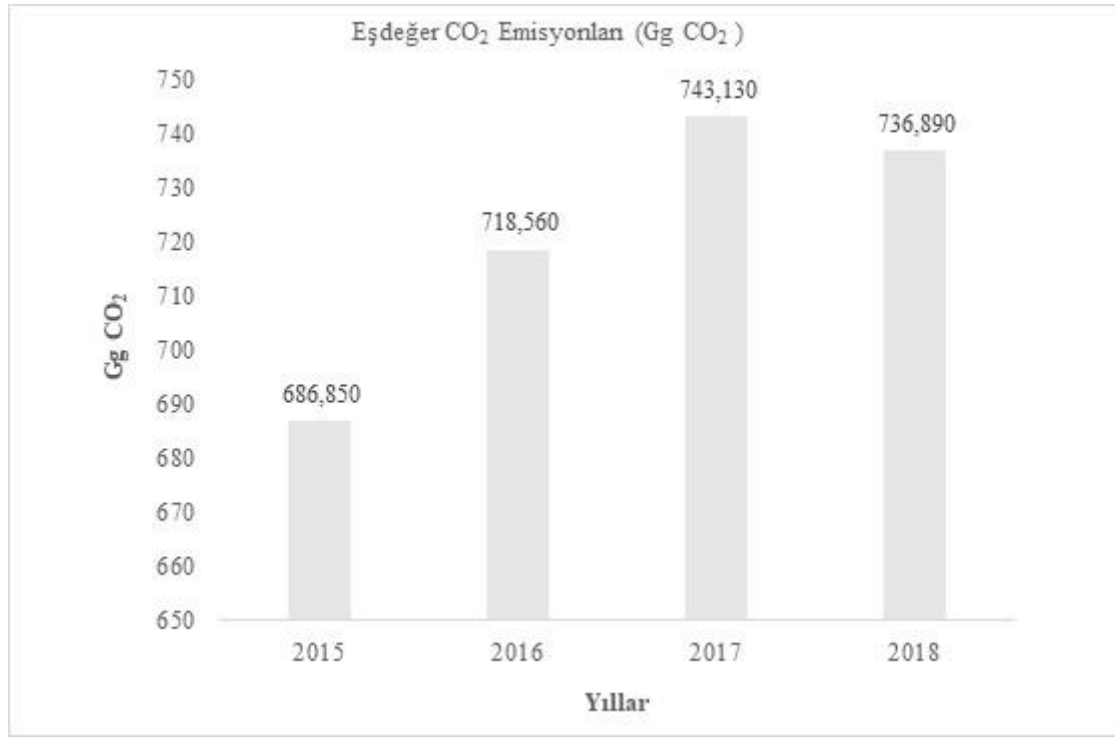
Tablo 9'da karayollarında oluşan CO₂ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 9. Karayollarında oluşan CO₂ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı

Yıllar	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG					
2015	19.15	24.78	51.80	218.53	161.72	20.08	81.34	24.44
2016	20.56	28.69	56.11	243.37	184.91	21.92	84.20	25.36
2017	20.75	34.31	57.89	279.28	206.52	24.78	92.46	26.74
2018	20.59	40.03	60.86	242.26	194.13	24.46	88.96	28.89

Çanakkale ilinde 2015-2018 döneminde karayollarında bulunan araçlara ait CO₂ salınım miktarları incelendiğinde, en yüksek salınımın kamyon tipi araçlardan, en düşük salınımın ise

benzinli otomobillerden yayıldığı görülmektedir. Şekil 3'te Tier 2 yöntemine göre hesaplanan eşdeğer CO₂ emisyon miktarları yer almaktadır.



Şekil 3. Tier 2 yöntemine göre hesaplanan eşdeğer CO₂ emisyon miktarları

Şekil 3 incelendiğinde, Tier 2 yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucu 2015 yılı eşdeğer CO₂ emisyonu miktarı 2015 yılında 686.85 Gg'la en düşük, 2017 yılında 743.13 Gg'la en yüksek değerine ulaşmıştır. Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında, elde

edilen sonuçların birbirleriyle orantılı olarak değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 4). Bununla birlikte Tier 2 yöntemi daha ayrıntılı bir veri analizini gerektirdiği için Tier 2 yöntemi kullanılarak ulaşılan sonucun gerçeğe daha yakın olduğu bildirilmektedir (Bıyık, 2018).



Şekil 4. Tier 1 ve Tier 2 hesaplarının yıl bazında karşılaştırılması

Bu çalışmaya benzer olarak, Isparta'da Tier 1 ve Tier 2 yaklaşım yöntemi kullanılarak yapılan

çalışmada, Tier 1 yöntemiyle 2010 yılında 351.90 Gg olarak hesaplanan karayolu ulaşımı kaynaklı

CO₂ emisyon değeri, 2016 yılında %34'lük bir artış göstererek 471.84 Gg'a ulaşmış; Tier 2 yöntemiyle yapılan hesaplamalarda ise 2010 yılında 1605 Gg olan emisyon değeri 2016 yılında %43'lük artış göstererek 2292 Gg'a yükselmiştir (Bıyık, 2018). Atabey (2013) tarafından Diyarbakır ilinde 2010-2012 yılları arasında farklı sektörlerde oluşan karbon ayak izini belirlemek için yapılan çalışmada, karayolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı Tier 1 yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucu 2010 yılı için 492.97 kt (kiloton), 2011 yılı için 526,3 kt, 2012 yılı için 570.2 kt olarak belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Enerjinin üretimi ve kullanımı başta olmak üzere birçok farklı kaynaktan atmosfere yayılan sera gazları, küresel ısınmada önemli bir etkiye sahiptir. Ulaşım sektörü de sera gazı yayılımının artışında büyük bir paya sahip olup; benzin, motorin, LPG gibi yakıtların günümüzde hala yoğun olarak kullanılıyor olması nedeniyle karbon emisyonlarının artışı devam ettirmektedir.

Bu çalışmada, Çanakkale ili için 2015-2018 döneminde karayolu ulaşımında kullanılan benzin, motorin ve LPG tipi yakıtların oluşturduğu karbon emisyonu incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, yakıtlar arasında en büyük tüketim payının motorinde, en yüksek karbon emisyonunun motorin tüketiminin zirveye ulaştığı 2017 yılında oluştuğu belirlenmiştir.

Atmofere salınan sera gazlarının artışı, iklim değişikliğinin en önemli nedeni olarak gösterilmektedir. Günümüzde etkilerini hissetmeye başladığımız iklim değişikliği ileriki dönemde etkilerinin artışına bağlı olarak çevre ve insan sağlığı üzerinde çok daha büyük bir tehdit oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Sera gazı yayılımının kontrol altına alınması günümüzde yaşam kalitesinin artması ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakma noktasında önemli bir adım olacaktır.

Yakıt tüketiminin düşürülmesi ve taşıtların çevreye verdiği zararların azaltılması amacıyla günümüzde içten yanmalı motorlara sahip araçlarda bulunan elektrik motorlarının kendi enerjisini üretebilmesini sağlayan hibrit teknolojisine sahip araçlar piyasada yerini almaya başlamıştır. Hibrit araç kullanımının yaygınlaşmasının taşıt kaynaklı karbon salınımının azaltılması noktasında büyük bir adım olacağı öngörülmektedir.

Taşıt kaynaklı karbon salınımının azaltılması amacıyla alınabilecek önlemler arasında;

- Çevreci motor teknolojilerinin geliştirilmesi ve özendirilmesi,
- Karayolları yakınlarında ağaçlandırma çalışmalarının yoğunlaştırılması,
- Seyahat alışkanlıklarının doğru planlanması,
- Hidrojen ve elektrik enerjisi gibi temiz yakıt türlerinin kullanımının yaygınlaştırılması,
- Özel araç kullanımı yerine toplu taşıma araçlarının tercih edilmesi yer almaktadır.

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması için alınacak önlemlerle gelecek nesillere daha temiz ve yaşanılabilir bir çevre bırakılması söz konusu olabilecektir.

Kaynaklar

- Açıkgöz, Ş.Ş. (2010). *Avrupa Birliği açısından küresel ısınma ve iklim değişikliğine genel bir bakış*. Ankara Üniversitesi Avrupa Toplulukları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 46. Dönem AB Temel Eğitim Kursu, Ankara.
- Aliusta, H., Yılmaz, B. ve Kırloğlu, H. (2016). Küresel ısınmayı önleme sürecinde uygulanan piyasa temelli iktisadi araçlar: karbon ticareti ve karbon vergisi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 12(12), 382-401.
- Alkaya, B. ve Yıldırım, M.A. (2000). Taşıt kaynaklı kirleticilerin azaltılma yöntemleri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 9(34), 15-20.
- Anonim. (2020a). Karbon ayak izi nedir? Erişim adresi <http://www.karbonayakizi.com/whatiscarbonfootprint.html>
- Anonim. (2020b). Global carbon atlas. Erişim adresi <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2emissions>
- Arı, İ. ve Aydın, L. (2019). Türkiye'de yerel iklim değişikliği eylem planlarının hazırlanması ve etkin uygulanması için öneriler. *İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Ek Sayı, Aralık, 395-414.
- Arıcı, R. (2018). *Kağıt-karton geri dönüşüm ürünlerinin karbon ayak izlerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Atabey, T. (2013). *Karbon ayak izinin hesaplanması: Diyarbakır örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ayan, N. (2019). *Muğla ilinde yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi*. Yüksek Lisans Tezi,

- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Babaoğlu, N. ve Özgünoğlu, K. (2017). Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 24-30.
- Bekiroğlu, O. (2016). Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. Erişim Tarihi: 06.05.2016. <http://www.emo.org.tr>.
- Bıyık, Y. (2018). *Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bıyık, Y. ve Civelekoğlu, G. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87.
- Binboğa, G. ve Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin karbon ayak izinin hesaplanmasına yönelik bir araştırma. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 21, 187-202.
- Çelik, HA. (2020). *Konya ilinde ulaşımdan kaynaklı karbon ayak izi ve çevresel fayda maliyet analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Demir, B., Kutlu, B. ve Otay, T. (2015). Okyanuslarda karbon döngüsünde bakterilerin rolü. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 3(1), 65-76.
- Demirbaş, F. (2018). *Geri kazanım tesisinde karbon ayak izinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Doğan, S. ve Tüzer, M. (2011). Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21-34.
- Doğan, AN. (2019). *Kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon faaliyetlerinin karbon ayak izi hesabı*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2020a). *Petrol piyasası sektör raporları*. Erişim adresi <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2020b). *Sivilaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporları*. Erişim adresi <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-108/lpyillik-sektor-raporlari>
- Erdoğan, M. (2015). *Çevresel tesislerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gökçek, BÖ., Bozdağ, A. ve Demirbaş, H. (2019). Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneğinde karbon ayak izinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 721-730.
- Güller, S. (2018). *Muğla evsel atıksu arıtma tesisi karbon ayak izinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1996). *An introduction to simple climate models used in the IPCC second assesment report*. IPCC Technical Paper, Geneva, Switzerland, 8-10.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA. (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1 pp 4-44, 62-98, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic CoOperation and Development, International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Chapter 3. Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.
- Kelen, F. (2014). Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87.
- Keskin, SS. Erdil, M. ve Sennaroğlu, B. (2017). Bir tekstil fabrikasının kumaş üretiminde enerji ve karbon ayak izlerinin belirlenmesi. *VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 1-3 Kasım 2017-Antalya.
- Kumaş, K., Akyüz, A., Zaman, M. ve Güngör, A. (2019). Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak sağlık yüksekokulu örneği. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 108-117. <https://doi.org/10.31202/ecjse.459478>
- Mısır, N., Mısır, M. ve Ülker, C. (2011). Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 26-28 Ekim 2011- Kahramanmaraş.
- Özçelik, G. (2017). *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu kampüsü'nün enerji ve karbon ayak izi açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

- Özmen, MT. (2009). Sera gazı-küresel ısınma ve kyoto protokolü. *İMO Dergisi*, 453(1), 42-46.
- Pekin, MA. (2006). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sümer, G.Ç. (2014). Hava kirliliği kontrolü: Türkiye’de hava kirliliğini önlemeye yönelik yasal düzenlemelerin ve örgütlenmelerin incelenmesi. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 7(13), 37-56. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.232135>
- Şahin, G. ve Avcıoğlu, AO. (2016). Tarımsal üretimde sera gazları ve karbon ayak izi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(3), 157-162.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2019). IPCC özel raporları. Erişim adresi <https://cygm.csb.gov.tr/ipcc-ozel-raporlari-haber-248919>
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020). Kyoto Protokolü. Erişim adresi <http://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363>
- T.C. Dışişleri Bakanlığı (2020). Kyoto Protokolü. Erişim adresi <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>
- Turanlı, MA. (2015). *Estimation of carbon footprint: a case study for Middle East Technical University*. Master's Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2020. Motorlu Kara Taşıtları. Erişim adresi <http://www.oyder-tr.org/rapor-detayi?hedef=2176>
- Türkay, M. (2018). *Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun (Karbon ayak izinin) hesaplanması: Eskişehir ili örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Uysal Şahin, Ö. (2016). Kyoto protokolü ve Kopenhag mutabakatının karşılaştırmalı analizi. *Journal of Awareness (JoA)*, 1(1), 5-16.
- Uzunçakmak, M. (2014). *Ulaşım modlarından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması*. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

Türkiye'deki COVID-19 yayılımının SIR temelli modellenmesinde RSS yöntemi ile parametre kestirimi

Unknown SIR parameters' estimation of COVID-19 spread in Turkey by using RSS method

Nurbanu GÜZEY*^{1,a}

¹ Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 25050 Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 24.06.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.06.2021

Öz

Global COVID-19 salgınına sona erdirmek, sosyal izolasyon, çok sayıda test ve insanların birbirleriyle olan iletişimini izleme gibi ülke çapında geçerli birden çok stratejinin uygulanmasını gerektirir. Bu kapsamda, dünya üzerinde birçok ülke kendine özgü kısıtlamalar getirdi. Kısıtlamalar getirilirken hastane kapasiteleri, sosyal hayat ve ekonomi gibi birçok parametre dikkate alındı. İtalya, Brezilya ve hatta Amerika Birleşik Devletleri gibi bazı ülkeler, salgının seyrini kestiremeyip daha sıkı önlemler almayınca salgın binlerce can kaybına sebep oldu ve halen de olmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de görülen vaka sayılarıyla ve alınan tedbirler doğrultusunda salgının başlangıcından itibaren 91 gün boyunca nasıl bir seyir izlediğinin modellenmesi yapılmıştır. Modelleme yapılırken, epidemiyolojide yaygın olarak kullanılan SIR (Susceptible-Infected-Recovered, Korunmasız-Enfekte-Bulaşıcı Olmayan) modeli kullanılmıştır. Modellemede, parametre kestirimi için RSS (Residual Sum of Squares, Kalan Kareler) yönteminden faydalanılmıştır. Okulların tatil edilmesi, sokağa çıkma yasakları ve alınan tedbirlerin kısmen kaldırılması gibi önemli tarih aralıkları ayrı ayrı dikkate alınarak yapılan parametre kestirimleri ile T.C. Sağlık Bakanlığınca verilen salgın verilerine uygun bir modelleme yapılmıştır. Ayrıca, salgın başlangıcında önlem alınmasaydı ya da en son alınan tedbirler devam ettirilirse salgının seyrinin nasıl gerçekleşebileceğini öngören sonuçlar verilmiştir. Bu model, yetkililere salgını yönetmek için bir ön değerlendirme imkânı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: COVID-19, RSS, SIR yayılım modeli

Abstract

Ending the global COVID-19 outbreak requires multiple country-wide strategies, such as social isolation, multiple tests, and monitoring people's interactions with each other. Many countries in the world have brought their own restrictions. Many parameters such as hospital capacities, social life and economy were taken into consideration while introducing the restrictions. Some countries, such as Italy, Brazil, and even the United States, have failed to predict the course of the outbreak and did not take more stringent measures, therefore; the outbreak has caused thousands of lives and is still happening. In this study, by considering the number of COVID-19 cases and the measures taken by the government, a model was developed to track the course of the epidemic for 91 days. For modeling, the SIR (Susceptible-Infected-Recovered) model, which is widely used in epidemiology was used. To estimate the parameters in the SIR model, RSS (Residual Sum of Squares) method was utilized. By taking into account the important time intervals, such as closure of the schools, country wide lockdowns and bending the restrictions, the model parameters were estimated for these intervals using the epidemic data given by the Ministry of Health. In addition, simulation results are provided to predict how the course of the epidemic would take place if precautions were not taken at the beginning of the outbreak or if the most recent measures were continued. This model offers authorities a preliminary assessment opportunity to manage the outbreak.

Keywords: COVID-19, RSS, SIR spread model

*a Nurbanu GÜZEY, nurbanu.guzey@erzurum.edu.tr, Tel: (0552) 238 25 23, orcid.org/0000-0002-6587-2489

1. Giriş

Ciddi ve potansiyel olarak ölümcül bir solunum sendromuna neden olan yeni tip Coronavirus (SARS-CoV-2), yani COVID-19, Aralık 2019'da, Çin'in Hubei Eyaleti, Wuhan şehrinde ortaya çıktı. O zamandan sonra bütün dünyayı etkileyen virüs, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 11 Mart 2020 tarihinde küresel bir pandemi olarak ilan edildi (WHO, 2020; Wu vd., 2020; Kraemer vd., 2020). Dünya Sağlık Örgütü kendi resmi web sitesinde ülkelere pandemi ile nasıl mücadele edebileceklerini anlatan önerilerde bulunmuştur (WHO, 2020). Bu tarihten sonra bulaşıcı hastalık bütün dünya için ciddi bir sağlık tehdidi olmuştur. İtalya, İspanya ve ABD gibi birçok ülke salgından ciddi şekilde etkilendi. Henüz virüsü durduracak ilaç veya aşı bulunamadığından, şimdilik sosyal mesafe, karantina ve maske takmak gibi önlemler salgının yayılmasında ve kontrol altına alınmasında kullanılan stratejilerdir.

Bu bağlamda, salgının yayılımı, ölüm ve iyileşme sayıları gibi parametrelerin kestirimi için matematiksel modellere ihtiyaç vardır. Farklı ülkeler salgının yayılmasını önlemek için farklı ve önemli tedbirler aldılar, ancak nüfus yoğunluğu, virüsün bilinmeyen farklı etkileri, bulaşma mekanizması ve henüz bir ilaç bulunamaması özellikle Hindistan gibi nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ülkelerde bu denli bulaşıcı ve öldürücü bir hastalıkla baş etmeyi çok zorlaştırmaktadır (Dandekar vd., 2020; Ranjan vd., 2020; Pulla vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, COVID-19 pandemisinin yayılım modelinin alınan önlemler doğrultusunda nasıl davrandığını belirleyip, daha sonra alınacak önlemlerin pandeminin seyrini nasıl devam ettireceğinin kestirimini yapmaktır. Epidemiyolojik literatüre bakılırsa, salgın hastalıkların modellenmesi ilk olarak Bernoulli tarafından 1760 yıllarında yapılmıştır. Daha sonra, bu hastalıkların bulaşmasını ve kontrolünü etkileyen yayılma mekanizmalarını ortaya çıkarmak amacıyla bulaşıcı hastalıkları incelemek için çeşitli matematiksel modeller kullanılmıştır (Brauer vd., 2001). Kermack ve McKendrick (Kermack vd., 1927) tarafından 1927 yılında Mumbai'deki veba salgınına modellemek için geliştirilen SIR modeli, epidemik yayılımın modellenmesinde kullanılan en yaygın metotlardan biridir. Epidemik analizde, bölmeli modelleme grubuna (Brauer, 2017) giren SIR modelinde toplum üç gruba ayrılır. Gruplar arası geçişler ve salgının seyri, bu gruplardaki değişimi belirten adi diferansiyel denklemlerle ifade edilir. Denklem

modelindeki katsayılar ise toplum koşullarına bağlı olarak değişen bulaşıcılık oranı ve iyileşme oranlarına bağlıdır.

SIR modeli daha da geliştirilerek doğum ve ölüm oranları da sisteme katılmıştır (Kermack vd., 1932). Sonraki çalışmalarda SIR modelini daha gerçekçi yapmak için farklı bölmeler eklenmiştir; korunmasız grubunu virüse maruz kalmış ancak semptom göstermeyenlerden ayırmak için SEIR (Chowell vd., 2020) modeli, karantinaya alınmış kişi sayısını hesaba katan SEIQR (Vyasarayani vd., 2020) modeli ve doğuştan bağışıklığa sahip olanların varsayıldığı MSEIR (Almeida vd., 2019) modeli gibi.

Nesteruk, (2020), Güney Kore'deki COVID-19 salgınına SIR modeline uygun olarak modellenmiştir ancak bu çalışmada Güney Kore'deki farklı zamanlardaki kısıtlamalar dikkate alınmamıştır. Eroglu (2020)'de ise, SIR modeli kullanılarak bir salgın modelleme ve destek sistemi simülatörü geliştirilmiştir, lakin SIR modelinde kullanılan diferansiyel denklemler çözülürken bulaşıcılık ve iyileşme oranlarının bilindiği varsayılmıştır.

Ayrıca (Alenazi vd., 2020; Ndiaye vd., 2020) gibi çalışmalarında ise salgının modellenmesinde makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Fakat bu gibi yapay zekâ tekniklerinin doğru sonuç verebilmesi için çok miktarda örnek gerekmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'de salgının başlangıcından itibaren 91 gün boyunca Sağlık Bakanlığınca sunulan verilerden (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020), enfekte olan hasta sayısı, ölen ve iyileşen kişi sayıları ile SIR modeli kullanılarak salgının nasıl seyrettiğinin modeli çıkarılmıştır. Ancak bakanlık tarafınca sağlanan verilerde hasta veya iyileşenlerin yaş oranları, karantinaya alınan kişi sayısı ya da virüse maruz kalıp belirti göstermeyen kişi sayıları belirtilmediği için ve hızlı bir sonuç alınabilmesi bakımından en basit bölmeli model olan SIR modeli tercih edilmiştir. Model çıkarılırken salgın süresi boyunca alınan, okulların tatil edilmesi, sokağa çıkma yasaklarının başlaması gibi tedbirler de göz önünde bulundurularak salgının farklı dönemleri (Wikipedia, 2020) için, farklı bulaşıcılık oranı ve iyileşme oranları bulunmuştur. Ayrıca, eğer salgın başlangıcında önlem alınmasaydı ya da en son alınan tedbirler devam ettirilirse salgının nasıl bir seyir izleyebileceği gösterilmiştir. Böylece, hangi tedbirlerin salgının seyrini ne derece etkilediği model sayesinde elde edilerek yetkili makamlara

alınabilecek tedbirler için bir ön değerlendirme imkanı sunacaktır.

İlaveten, bütün dünyayı derinden etkileyen bu salgının, yetkili kurumlarca sağlanacak detaylı verilerin kullanılarak daha ayrıntılı bir modelinin çıkarılması da, daha sonra gerçekleştirilecek böyle bir salgın durumunda daha doğru öngörüler sunacaktır. Bir sonraki bölümde, modellemede kullanılan SIR modeli ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu bölümde, salgının modellenmesi ve alınacak tedbirler doğrultusunda yayılımının nasıl olacağını kestirmek için kullanılacak olan SIR modeli anlatılmıştır. Yöntem toplumu üç grupta inceler;

- S (susceptible, korunmasız): sağlıklı ancak hastalığa korunmasız olanlar (yani virüs bulaşma riski olanlar). Pandeminin başlangıcında, S virüse bağışıklık olmadığı için tüm toplumdur.
- I (infected, virüs bulaşmış bireyler): dolayısıyla, başka insanlara da bulaştırma riski olan bireyler.
- R (recovered, bulaşıcılığı olmayan): virüs bulaşmış, sonrasında iyileşmiş ya da ölmüş kişiler. Bu bireyler artık bulaştırıcı değildir.



Şekil 1. SIR Modeli (Kermack, 1927).

Bu gruplardaki kişi sayısı, virüs popülasyon içerisinde yayıldıkça zamanla değişir; virüs bireylere bulaştıkça S azalır I artar. İnsanlar iyileştikçe veya öldükçe, enfekte grup I'dan sadece artık bulaşıcı olmayan R grubuna giderler. İyileşmiş kişilerin bağışıklık kazanıp tekrar enfekte olmayacakları varsayımı yapılmıştır. Ayrıca modelde toplam nüfus sabit ve homojen kabul edilmiştir. Başka hastalıklardan kaynaklanan ölümler ihmal edilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi modelde geçişler tek yönlü ve sağ taraftadır. Yöntem, gruplar arasındaki geçişleri adi diferansiyel denklemler (ODE) kullanılarak belirler. Bir salgının başlangıç koşulları ve gelişimi aşağıdaki gibidir:

- 1) Hastalık salgını başlamadan önce S, hiç kimsenin bağışıklığı olmadığı için tüm nüfusa eşittir, I ve R grubundaki kişi sayısı başka hastalıklar dikkate alınmadığı için 0'dır.
- 2) Salgının başlangıcında sadece 1 bireyin enfekte olduğu varsayılır ve ilk birey enfekte olur olmaz, S, 1 azalır ve I, 1 artar.
- 3) Bu ilk bulaşıcı birey, korunmasız olan diğer kişilere (iyileşmeden veya ölmeden önce) hastalığı bulaştırır.
- 4) Dinamik, yakın zamanda virüs kapmış bireyler, diğer korunmasız insanları enfekte ederek salgın devam eder.
- 5) Kişiler hastalıktan iyileştikçe veya öldükçe R grubundaki kişi sayısı da zamanla artar.

Salgının dinamiklerini modellerken, her bir gruptaki değişim oranlarını tanımlamak için üç farklı denkleme ihtiyaç vardır:

$$\dot{S}(t) = -\frac{\beta I(t)S(t)}{N} \quad (1)$$

$$\dot{I}(t) = \frac{\beta I(t)S(t)}{N} - \gamma I(t) \quad (2)$$

$$\dot{R}(t) = \gamma I(t) \quad (3)$$

Burada $\dot{S}(t)$ virüse karşı korunmasız olan S grubundaki kişi sayısının zamana göre değişimini, $\dot{I}(t)$ enfekte olmuş I grubundaki kişi sayısının zamana göre değişimini ve $\dot{R}(t)$ artık bulaşıcılığı olmayan R grubundaki kişi sayısının zamana göre değişimini göstermektedir. Ayrıca β , S ve I arasındaki geçişi kontrol eden enfeksiyon oranını, γ , I ve R arasındaki geçişi kontrol eden çıkarma veya iyileşme oranını temsil etmektedir. N bütün gruplardaki kişilerin toplamıdır.

Denklem (1), S grubundaki korunmasız kişi sayısının, yeni enfekte olan kişi sayısı oranında düştüğünü belirtir. Denklem (2)'de, I grubundaki kişi sayısı, yeni enfekte olmuş kişilerle birlikte artmakta ancak iyileşen ya da ölen kişilerle birlikte azalmaktadır. Denklem (3) ise, bulaşıcılığı olmayan R grubunun enfekte olduktan sonra iyileşen veya ölen bireylerin sayısı ile arttığını belirtmektedir. Zaman verisi sonsuza yaklaştığında $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = N$ olur. SIR metodunda verilen birinci dereceden adi diferansiyel denklemleri ayrık zamanda çözmek için Euler yöntemi kullanılabilir. Böylece denklemler;

$$S_{n+1} = S_n - \frac{\beta S_n I_n \Delta t}{N} \quad (4)$$

$$I_{n+1} = I_n \left(1 + \left(\frac{\beta S_n}{N} - \gamma \right) \Delta t \right) \quad (5)$$

$$R_{n+1} = R_n + \gamma I_n \Delta t \quad (6)$$

halini alır. Burada $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ zamanda küçük bir değişimi ifade eder, bu çalışmada değişim, Δt , 1 gün olarak kabul edilmiştir. S_{n+1} , I_{n+1} , R_{n+1} korunmasız, enfekte olmuş ve artık bulaşıcılığı olmayan kişi sayısıdır. Ancak bu denklemlerin çözümü için enfeksiyon oranı β ve iyileşme oranı γ bilinmelidir.

Bu tarz kestirimlerde, kalan kareler toplamı (RSS) ya da ortalama karekök (RMS) gibi eldeki verilerle modelin arasındaki farkı en aza indiren parametreleri bulan yöntemler kullanılabilir. Aşağıdaki eşitlikte, kalan kareler toplamı (RSS) yöntemi kullanılarak, enfekte olmuş kişi sayıları üzerinden enfeksiyon oranı β ve iyileşme oranı γ kestirilmiştir.

$$RSS(\beta, \gamma) = \sum_n (I_n^d - I_n)^2 \quad (7)$$

Burada I_n^d , n anında, sağlık birimlerince verilen enfekte olmuş kişi sayısını, I_n ise (7)'de verilen, modelle kestirilen, enfekte olmuş kişi sayısını belirtmektedir. β ve γ değerlerine belirli aralıkta ve mümkün olduğunca kısa iterasyon aralığında değerler verilerek parametre uzayı taranır ve (7)'yi minimum yapacak β ve γ değerleri belirlenir. Belirlenen β ve γ değerleri kullanılarak, ilerleyen zamanlarda, her gurutaki (S, I, R) kişi sayılarının nasıl değişiklik göstereceği kestirilebilir.

Bir sonraki bölümde SIR modeli kullanılarak Türkiye'de salgının 91 gün boyunca nasıl değişim gösterdiği simülasyon sonuçlarıyla verilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Bu bölümde, önceki bölümde verilen SIR modeli ile Türkiye'deki veriler kullanılarak, belirsiz parametrelerin, β , γ , değerleri belirli aralıklarda tespit edilmiştir. Bu aralıklar belirlenirken, pandeminin başlangıcından itibaren bazı tarihlerde alınan tedbirler dikkate alınmıştır. O tedbirler şu şekildedir (Wikipedia, 2020);

- 11 Mart, Türkiye'deki ilk COVID-19 vakasıdır (1. gün).
- 16 Mart, okulların kapalı olduğu ve Türk hükümeti tarafından hafif COVID-19 önlemlerinin ilan edildiği gündür (6. gün).

- 11 Nisan, hafta sonlarındaki sokağa çıkma yasaklarının başladığı gündür (31. gün).
- 23 Nisan, hafta sonları dahil dört günlük sokağa çıkma yasakları gibi daha sıkı tedbirlerin alındığı gündür (43. gün).
- 1 Haziran, hafta sonu sokağa çıkma yasakları, şehirlerarası seyahat yasakları gibi diğer bazı tedbirlerin hükümet tarafından rahatlatıldığı gündür (81. gün).

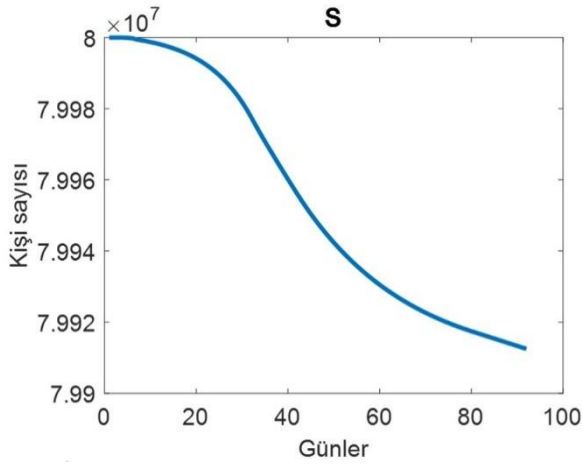
Bu çalışma 9 Haziran 2020 tarihinde T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından sağlanan verilere dayanılarak hazırlanmıştır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020). Bu tarihe kadar Türkiye'de ilk COVID-19 vakasının görüldüğü günden itibaren 91 gün geçmiştir. Yukarıda verilen tarihler, pandemi sürecinin aralıkları olarak kabul edilip, her bir aralık için enfeksiyon oranı, β ve iyileşme oranı γ , RSS yöntemi ile belirlenmiştir. β ve γ değerleri için parametre uzayı belirlenirken, salgın devam ettiği ve model tek yönlü olduğundan $\beta > 0$ ve $\gamma > 0$ dir.

MATLAB programı kullanılarak yapılan parametre kestirimlerinde iki aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Birinci aşamada, parametre uzayı, (0-100) ve adım aralığı, (0.5), geniş tutulmuştur. RSS yöntemiyle, 200x200=40000 deneme sonunda, en küçük RSS değerini veren β, γ değerleri tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise, birinci aşamada tespit edilen β, γ değerlerinin civarında, adım aralığı 0.01 e indirilerek, tekrar en küçük RSS değerini veren β, γ değerleri tespit edilmiştir. Her bir aralık için belirlenen değerler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı dönemlerde alınan tedbirler doğrultusunda bulunan, β ve γ değerleri

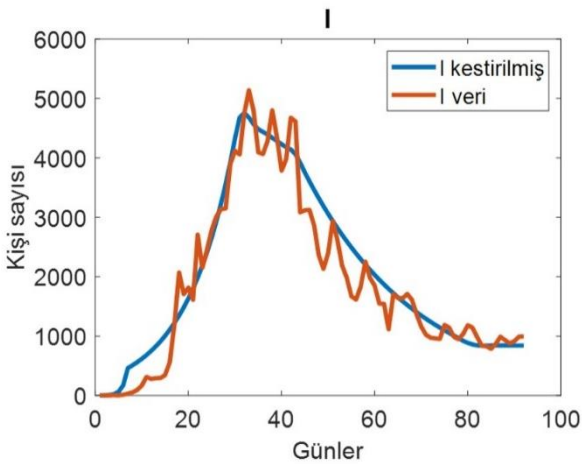
Tarih Aralığı	β	γ
11 Mart-16 Mart	1.23	0.20
16 Mart- 11 Nisan	0.44	0.55
11 Nisan- 23 Nisan	0.49	0.50
23 Nisan- 1 Haziran	0.47	0.51
1 Haziran sonrası	0.49	0.49

Bulunan enfeksiyon oranı β , ve iyileşme oranı γ değerlerine göre oluşturulan model kullanılarak henüz enfekte olmamış, korunmasız kişi sayısı S, enfekte olmuş kişi sayısı I, ve artık bulaşıcılığı olmayan kişi sayısı R, sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



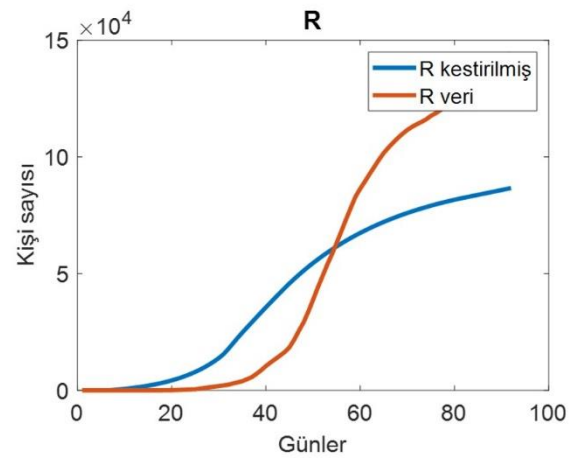
Şekil 2. Bulunan modele göre henüz virüs bulaşmamış kişi sayısı. (Değerler günlük verilerdir)

Şekil 2'de henüz enfekte olmamış kişi sayısı modelden ve RSS yöntemi kullanılarak bulunan enfekte olan ve artık bulaşıcılığı olmayan kişi sayısının toplam popülasyondan çıkarılmasıyla bulunmuştur.



Şekil 3. Gerçek verilere ve modele göre enfekte olmuş kişi sayısı.

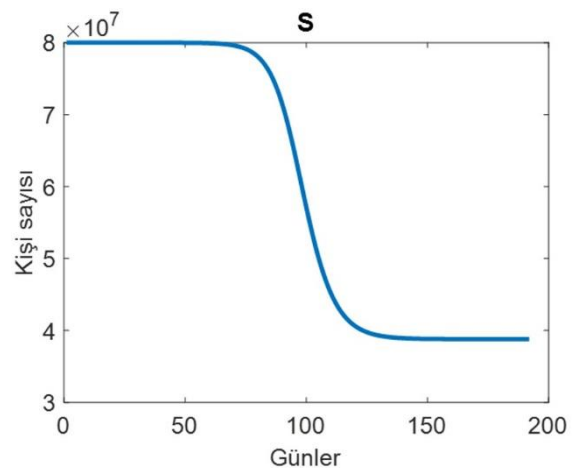
Bu çalışmada β ve γ değerleri, Sağlık Bakanlığınca paylaşılan enfekte olmuş kişi sayısı ile modelden kestirilen kişi sayısı arasındaki farkı minimum yapacak şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan β ve γ değerleri kullanılarak kestirilen günlük enfekte olmuş kişi sayısı ile bakanlık tarafından paylaşılan kişi sayısının karşılaştırılması Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, model gerçek verilere iyi bir şekilde uymaktadır.



Şekil 4. Gerçek verilere ve modele göre, kümülatif bulaşıcı olmayan kişi sayısı.

Şekil 4'te ise artık bulaşıcılığı olmayan yani iyileşmiş ya da ölmüş kişi sayısının model ve bakanlıkça verilen değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Şekil 4'te belli bir noktadan sonra kestirilen bulaşıcı olmayan kişi sayısı verilerden bir sapma göstermiştir. Bu sapmada, β ve γ oranlarının temas sayısını ve karantina gibi parametreleri dikkate almadan, enfekte olan kişi sayıları baz alınarak kestirilmesinin de etkisi vardır.

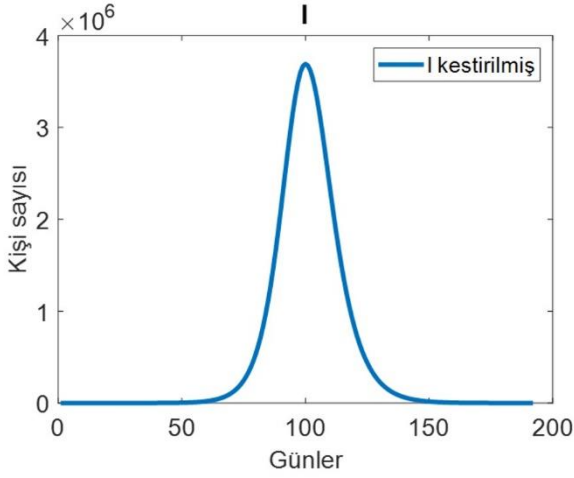
Türkiye Cumhuriyeti hükümetince alınan tedbirlerin salgının yayılmasında nasıl bir etki ettiğini göstermek için, tedbirlerin alınmadığı varsayılarak ilk 6 gün için bulunan $\beta=1.23$ ve $\gamma=0.20$ değerleri diğer günler için de kullanılarak yapılan kestirimler Şekil 5-Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Eğer salgın için hiç tedbir alınmasaydı virüs bulaşmamış kişi sayısı.

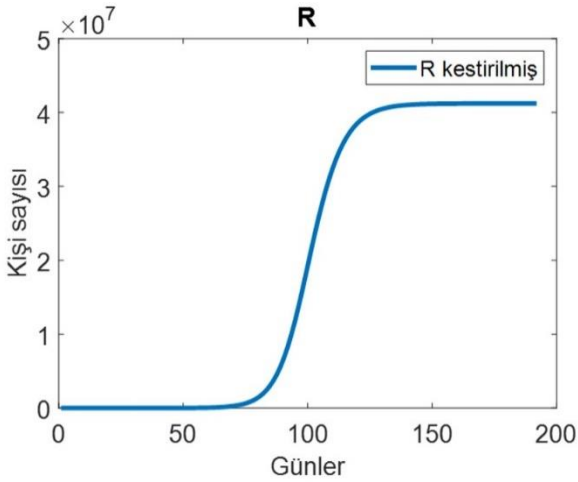
Şekil 5'ten görüleceği üzere, eğer hiçbir önlem alınmasaydı, pandeminin başlamasından itibaren 100. günde popülasyonun yarısı enfekte olmuş

olacaktı. 100. günden sonra da yeni enfekteler, iyileşmeler ve ölümler devam edeceğinden enfekte olmuş kişi sayısı sabit seviyelerde devam edecekti.



Şekil 6. Eger salgın için hiç tedbir alınmasaydı, bulunan modele göre enfekte sayısı.

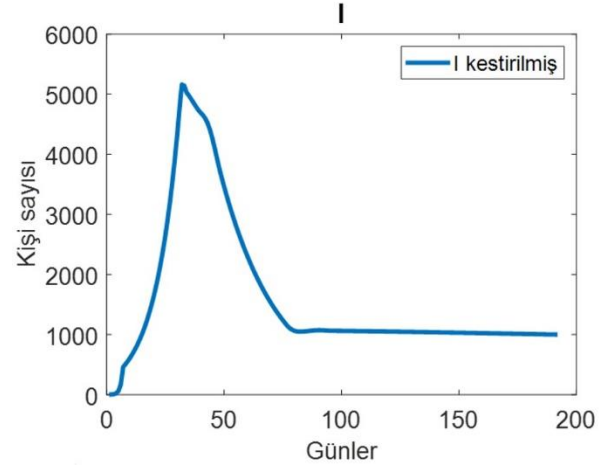
Şekil 6'da görüldüğü gibi salgının başlamasından itibaren herhangi bir önlem alınmasaydı, enfekte olan kişi sayısı belirli bir düzeye kadar (50. güne kadar) yavaşça artacak, 50. günden itibaren çok hızlı bir şekilde artıp 100. günden itibaren hızlı bir düşüşe geçecekti. Düşüşün sebebi, hastaların sağlık durumuna, hastane kapasitelerine bağlı olarak ya iyileşmesi ya da ölmesidir.



Şekil 7. Eger salgın için hiç tedbir alınmasaydı, bulunan modele göre artık bulaşıcılığı olmayan kişi sayısı.

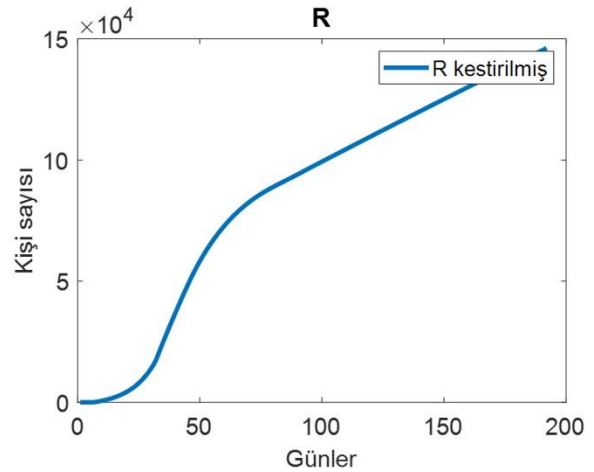
Şekil 7'de, salgın için herhangi bir önlem alınmaması durumunda, Şekil 6'da da belirtildiği gibi 100. gün dolaylarında enfekte olan kişi sayısı maksimum değerine ulaştıktan sonra, bulaşıcılığı olmayan kişi sayısı hızlıca artarak 120. günden sonra sabit bir değerde seyredecekti.

1 Haziran tarihinde uygulanan tedbirler ile devam edildiği takdirde, modele göre sonraki günlerde salgının seyri Şekil 8-Şekil 9'daki gibi seyredeceği öngörülmektedir.



Şekil 8. 1 Haziran 2020 tarihindeki tedbirlerle devam edildiği takdirde enfekte olan kişi sayısı.

1 Haziran 2020 tarihinden itibaren uygulanan tedbirler devam ederse, günlük enfekte olan kişi sayısı 91. günden itibaren neredeyse sabit bir şekilde, günlük 1000 kişi dolaylarında devam etmesi Şekil 8'de gösterildiği gibi öngörülmektedir.



Şekil 9. 1 Haziran 2020 tarihindeki tedbirlerle devam edildiği takdirde bulaşıcılığı olmayan kişi sayısı.

Şekil 9'da ise, enfekte olan kişi sayısının Şekil 8'de gösterildiği gibi 50. gün dolaylarında maksimum seviyeye ulaşmasından sonra, artık bulaşıcılığı olmayan kişi sayısının lineer bir şekilde artış göstereceği belirtilmiştir.

Bir sonraki bölümde, bu çalışmanın sonucunda elde edilen kazanımlar ve ileride yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'deki COVID-19 yayılımı SIR modeline uydurulmuştur ve modeldeki belirsiz parametreler, dört farklı aralıkta, RSS yöntemi kullanılarak kestirilmiştir. Bu parametreler, belirli aralıklarda sabit olarak kabul edilmiştir. Model dinamiğindeki belirsiz parametrelere belirli aralıkta değerler verilerek elde edilen model çıktılarının, gerçek değerlerle olan farkının RSS değeri hesaplanmış ve en küçük RSS değerini veren parametreler belirlenmiştir.

SIR, pandemi modellemede kullanılan en temel ve basit yöntemlerden biridir. T.C. Sağlık Bakanlığı'ndan alınan verilerin detaylı olmamasından ötürü, günlük kontak sayıları, yaş grupları, temaslardan hastalık bulaşma oranları gibi parametreler dikkate alınmayarak toplum homojen kabul edilmiştir. Bununla birlikte Türkiye'de pandeminin başlamasından itibaren 3 aylık bir süre zarfında, yetkililerce alınan tedbirler göz önünde bulundurularak salgının nasıl ilerlediği konusunda hızlı bir öngörü vermesi sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda, bakanlıktan detaylı verilerin alınma imkânı olması durumunda, kontak sayısı, karantinaya alınmış kişi sayısı, ölmüş ve iyileşmiş kişilerin ayrı ayrı değerlendirildiği SEIR, SEIQR gibi yöntemlerden faydalanılarak daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca, model parametrelerini belirli aralıklarda sabit tutmak yerine dinamik olarak hesaplanarak daha doğru kestirimler gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

Alanazi, S.A., Kamruzzaman, M.M., Alruwaili, M., Alshammari, N., Alqahtani, S.A. and Karime, A. (2020). Measuring and preventing COVID-19 using the SIR model and machine learning. *Smart Health Care Journal of Healthcare Engineering* 8, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/8857346>

Almeida R., Brito da Cruz A., Martins N. and Monteiro M. (2019). An epidemiological MSEIR model described by the Caputo fractional derivative. *International Journal of Dynamics and Control. International Journal of Dynamics and Control*, 7, 776-784. <https://doi.org/10.1007/s40435-018-0492-1>.

Brauer, F. and Castillo-Chavez, C. (2001). *Mathematical models in population biology and epidemiology*. New York: Springer.

Brauer, F. (2017). Mathematical epidemiology: Past, present, and future. *Infectious Disease Modelling*, 2, 113–127.

Chowell, G. (2017). Fitting dynamic models to epidemic outbreaks with quantified uncertainty: A primer for parameter uncertainty, identifiability, and forecasts. *Infectious Disease Modelling*, 2, 379–398.

Dandekar, R., and Barbastathis, G. (2020). Quantifying the effect of quarantine control in COVID-19 infectious spread using machine learning. *medRxiv*. 1-13. <https://doi.org/10.1101/2020.04.03.20052084>.

Eroglu, E., Bozkurt, E., Esenpinar, A.A. and Tek, S. (2020). Mathematical analysis of Covid-19 phenomenon. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 5, 59-64. <https://doi.org/10.30931/jetas.739270>

Health Organization, Coronavirus disease (COVID-19) outbreak, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>.

Kermack, W. O. and McKendrick A G. A. (1927). Contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. The Royal Society*, (ss, 700–721)

Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1932). Contributions to the mathematical theory of epidemics, II-the problem of endemicity. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. The Royal Society*, 138, (5), 5–83.

Kraemer, M. U., Yang, C. H., Gutierrez, B., Wu, C. H., Klein, B., Pigott, D. M. and Brownstein, J. S. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 368 (6490), 493-497.

Ndiaye B., Tendeng, L. and Seck, D. (2020). Analysis of the COVID-19 pandemic by SIR model and machine learning technics for forecasting. *arXiv.org > q-bio > arXiv:2004.01574v1*

Nesteruk, I. (2020). Estimations of the coronavirus epidemic dynamics in South Korea with the use of SIR model. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15489.40807>

Pulla, P. (2020). COVID-19: India imposes lockdown for 21 days and cases rise. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1251>.

- Ranjan, R. (2020). Predictions for COVID-19 outbreak in India using Epidemiological models. *medRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20051466>.
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Koronavirüs (COVID_19) salgını <https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/tr/haberler/turkiye-deki-gunluk-COVID-19-vaka-sayilari.html>
- Vyasarayani, C.P. and Chatterjee, A. (2020). Complete dimensional collapse in the continuum limit of a delayed SEIQR network model with separable distributed infectivity. *Nonlinear Dynamics* 101, 1653–1665. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05785-2>
- WHO (2020). Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance>.
- Wikipedia, Türkiye'de COVID-19 pandemisi, https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_COVID-19_pandemisi_zaman_%C3%A7izelgesi
- Wu, J. T., Leung, K., and Leung, G. M. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*, 395 (10225), 689–697.

A bioinformatics approach for exploring and identification of potential target genes of miR-130a-3p in doxorubicin-associated cardiotoxicity

Doksorubisin ile ilişkili kardiyotoksisitede miR-130a-3p'nin potansiyel hedef genlerinin araştırılması ve tanımlanması için biyoinformatik bir yaklaşım

Hamid CEYLAN^{*1,a}

¹ Atatürk University, Science Faculty, Department of Molecular Biology and Genetics, 25240, Erzurum, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 18.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 27.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.06.2021

Abstract

Doxorubicin (DOX) is considered one of the most effective chemotherapy drug and is used to treat many types of cancer. On the other hand, the effectiveness of this drug is restricted due to its adverse effects such as cardiotoxicity. However, the exact mechanism of DOX-induced cardiotoxicity has not been fully understood. To better understand the molecular mechanism of DOX-induced cardiotoxicity, this study focused on identifying a heart-specific miRNA and its target genes in the heart. Publicly available data was downloaded from the Gene Expression Omnibus (GEO) database, and differentially expressed genes (DEGs) were extracted by using the online bioinformatics tool iPathwayGuide. Using eight different prediction tools, target genes of miR-130a-3p were identified. Gene ontology (GO) and Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) pathway enrichment analyses were performed for DEGs intersected with miR-130a-3p targets. Among the HF and non-HF groups, a total of 29 DEGs targeted by miR-130a-3p were identified. We found that *SLC8A1*, which is among the intersecting genes, might be a crucial gene that is shaped in impaired myocardial function and cardiotoxicity. In conclusion, the findings of the study provided new insights into the potential targets for DOX-induced cardiotoxicity diagnosis, treatment, and/or attenuation.

Keywords: Bioinformatics analysis, Cardiotoxicity, Differentially expressed genes, Doxorubicin, microRNA

Öz

Doksorubisin (DOX), en etkili kemoterapi ilaçlarından biri olarak kabul edilmekte ve birçok kanser türünü tedavi etmek için kullanılmaktadır. Öte yandan, bu ilacın etkinliği, kardiyotoksisite gibi olumsuz yan etkileri nedeniyle sınırlıdır. Bununla birlikte, DOX kaynaklı kardiyotoksisitenin kesin mekanizması tam olarak anlaşılmamıştır. Bu çalışmada, İlaça bağlı kardiyotoksisitenin moleküler mekanizmasını daha iyi anlamak için kalbe özgü bir miRNA'yı ve kalpteki hedef genlerini belirlemeye odaklanılmıştır. Herkese açık veriler, Gene Expression Omnibus (GEO) veri tabanından indirildi ve farklı şekilde ifade edilen genler (DEG'ler), çevrimiçi biyoinformatik aracı iPathwayGuide kullanılarak belirlendi. Sekiz farklı tahmin aracı kullanılarak miR-130a-3p'nin hedef genleri belirlendi. miR-130a-3p hedefleriyle kesişen DEG'ler için gen ontolojisi (GO) ve Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) yolu zenginleştirme analizi yapıldı. Kalp yetmezliği (HF) olan ve HF olmayan gruplar arasında, aynı zamanda miR-130a-3p'nin de hedefi olan toplam 29 DEG tespit edildi. Kesişen genler arasında yer alan SLC8A1'in bozulmuş miyokardiyal fonksiyon ve kardiyotoksisitede şekillenen çok önemli bir gen olabileceğini buldu. Çalışmanın bulguları, DOX kaynaklı kardiyotoksisitenin teşhisi, tedavisi ve /veya azaltılması için potansiyel hedeflere yeni bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Biyoinformatik analiz, Kardiyotoksisite, Farklı şekilde ifade edilen genler, Doksorubisin, mikroRNA

*a Hamid CEYLAN; hamid.ceylan@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 44 51; orcid.org/0000-0003-3781-4406

1. Introduction

Doxorubicin (DOX), an anthracycline family member anti-cancer drug, is a widely used highly effective chemotherapeutic agent to treat a variety of cancers such as lymphomas (Luminari et al., 2011), lung cancer (Melguizo et al., 2015), breast cancer (Gennari et al., 2008), and many other tumor types. Unfortunately, in addition to its definite therapeutic effect, the clinical use of DOX is limited by significant adverse reactions. Cardiotoxicity is one of the most important dose-dependent progressive and irreversible risks of DOX chemotherapy (L. Zhao & Zhang, 2017). Cardiotoxicity, defined as "toxicity affecting the heart" by the National Cancer Institute (NCI), can occur even years after DOX administration and is among the leading cause of treatment-associated death in cancer survivors (Hooning et al., 2007; McGowan et al., 2017; Volkova & Russell, 2011). Although multiple factors have been suggested, the precise biological mechanisms underlying DOX associated cardiotoxicity remain cloudy because it multi-step and biological process, but most studies indicate that ion homeostasis (Chaudhari et al., 2016), mitochondrial disruption (Wallace, 2007), and free radicals (Songbo et al., 2019) are involved. As a consequence, there are no therapeutic strategies with confirmed effectiveness for doxorubicin-induced cardiotoxicity (Chang et al., 2019).

MicroRNAs (miRNAs) are a class of endogenous small (18–23 nucleotides in length) noncoding RNAs. They regulate gene expression mainly by matching the 3' untranslated region (3'-UTR) of target genes, either completely or partially (Deiuliis, 2016; Gomez et al., 2016). miRNAs, exert crucial functions in a wide array of physiological or pathological processes such as epigenetic regulation (Q. Yao et al., 2019), cellular proliferation (Hayashita et al., 2005), metabolism (Ye et al., 2018), homeostasis (Fernandez-Hernando & Suarez, 2018), differentiation (S. Yao, 2016), organogenesis, and development (Asli et al., 2008). Therefore, dysregulation of miRNAs induces various clinically important human diseases such as cancer, autoimmune disease, and cardiovascular diseases (Colpaert & Calore, 2019; Esquela-Kerscher & Slack, 2006). Recent studies demonstrated that miRNAs highly enriched in the heart have an important role in the mammalian cardiovascular system and heart function regulation (Jing et al., 2018; Y. Zhao et al., 2007). Alterations of miRNAs expression under the toxic effects of chemotherapy drugs could be effective in the early diagnosis and preventing or limiting of

chemotherapy-induced toxicity. This suggests that identification of the potential roles and interaction networks of tissue-specific miRNAs in the heart may help to shed light on the cardiotoxicity mechanisms and may provide means to manage or prevent the side effects. Recent studies have reported that miR-129-1-3p plays a key role in anthracycline-induced cardiotoxicity through regulating calcium homeostasis (Q. Li et al., 2020). Additional *in vitro* and *in vivo* studies have implicated miR-330-5p (Han et al., 2020) and miR-451 (J. Li et al., 2019) in calcium handling/DOX-induced cardiotoxicity axis. Previous studies have reported that miRNAs such as miR-34a (Hu et al., 2018), miR-146a (Horie et al., 2010), miR-208a (Callis et al., 2009), and miR-130a contribute to anthracycline toxicity. However, miR-130a has attracted considerable attention because of its validated heart-specific expression. Studies demonstrated that miR-130a expression is higher in embryonic hearts compared to adult tissue, suggesting that this miRNA is an actively modulated factor during different stages in the development of the heart (Kim et al., 2009). Moreover, recent studies also reported that the expression of miR-130a increases sharply upon DOX treatment (Huang et al., 2019; Pakravan et al., 2018). When evaluated from this perspective, an extensive understanding of the specific network of miR-130a in DOX-induced cardiotoxicity is meaningful for future treatment strategies. Therefore, miR-130a was chosen as a qualified candidate in this study to increase the sensitivity of our approach due to its heart and lung restricted expression (Lagos-Quintana et al., 2002).

In the present study, to explore the molecular mechanism of DOX-induced cardiotoxicity, the differentially expressed genes (DEGs) following doxorubicin treatment between HF (heart failure) vs non-HF samples targeted by heart-specific miRNA (hsa-miR130a-3p) were predicted and analyzed by functional and pathway enrichment analysis using microarray dataset GSE40447.

2. Materials and methods

2.1. Microarray data; GEO database mining and dataset acquisition

Cardiotoxicity-related microarray gene expression dataset [GSE40447] (McCaffrey et al., 2013) generated from the Affymetrix platform (Affymetrix Human Genome U133 Plus 2.0 Arrays; Affymetrix, Santa Clara, Ca.) was downloaded from the Gene Expression Omnibus

(GEO) database (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/). Overall, 15 samples (5 women doxorubicin-induced cardiotoxicity and 10 women with chemotherapy

history but no cardiotoxicity) were enrolled in this study. The workflow of the whole study is schematized in Fig. 1.

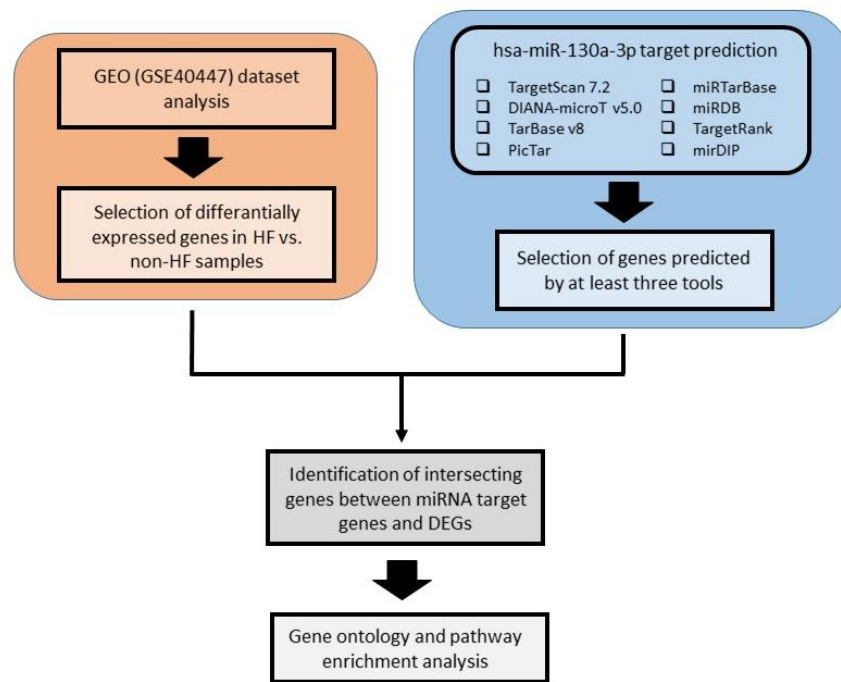


Figure 1. A flowchart depicting the outline of the study.

2.2. Data preprocessing and differentially expressed genes analysis

The differentially expressed genes (DEGs) associated with cardiotoxicity were obtained from GSE40447. DEGs were selected using criteria adjusted $p < 0.05$ and $|\text{LogFC}| > 0.5$ (up and down). iPathwayGuide (Advaita Corporation, Plymouth, MI, USA) online bioinformatics tool (Draghici et al., 2007) was used for both DEG analysis and generate summary volcano plots of all DEGs for doxorubicin chemotherapy between HF vs non-HF samples.

2.3. miRNA target prediction

To further explore the molecular mechanisms by which hsa-miR-130a-3p involved in DOX-induced cardiotoxicity, putative miRNA:gene interactions were identified using eight in silico miRNA target prediction algorithms; TargetScan 7.2 (Agarwal et al., 2015), DIANA-microT v5.0 (Maragkakis et al., 2009), miRDB (Y. Chen & Wang, 2020), TargetRank (Nielsen et al., 2007), DIANA TarBase v8 (Karagkouni et al., 2018), mirDIP (Tokar et al., 2018), and miRTarBase (Hsu et al., 2011). To narrow down the number of false positives, a putative gene was only considered a

target if found in at least three of the eight algorithms. In this direction, a set of target mRNAs were selected between databases using The Multiple List Comparator (<http://www.molbiotools.com/listcompare.html>) and the InteractiVenn Venn diagram generator tool (Heberle et al., 2015).

2.4. Gene ontology and KEGG pathway enrichment analyses of the DEGs

To determine the intersection of miRNA-130a-3p target genes and DEGs, The Multiple List Comparator (<http://www.molbiotools.com/listcompare.html>) was used. Then functional enrichment analyses were conducted separately for up and down-regulated genes. To interpret the biological themes, intersecting genes were classified into GO categories using the PANTHER classification system (Thomas et al., 2003). Using the Enrichr platform (E. Y. Chen et al., 2013), Kyoto Encyclopedia of Gene and Genomes (KEGG) pathway enrichment analysis was performed.

3. Results

3.1. Identification of DEGs

A total of 15 samples (5 doxorubicin-induced cardiotoxicity and 10 chemotherapy history but no cardiotoxicity) of the gene expression profile GSE40447 were found to be qualified for the present study. When these data were analyzed by iPathwayGuide, 601 differentially expressed genes (276 up-regulated and 325 down-regulated) were identified from a total of 17698 genes in HF compared to the non-HF group. The distribution of identified DEGs is shown in a volcano plot (Fig. 2).

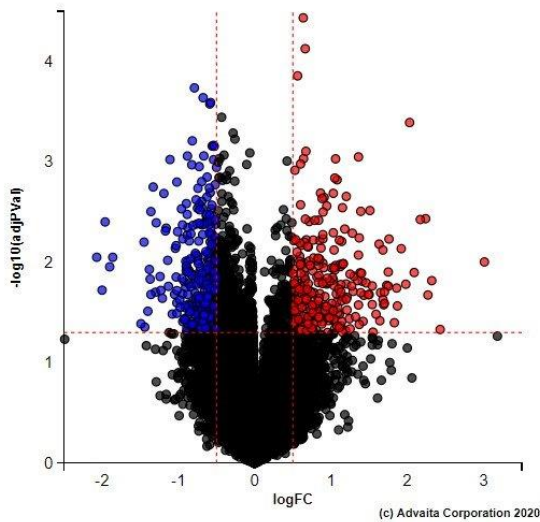


Figure 2. Volcano plot of DEGs in response to doxorubicin. The red dots represent up-regulated DEGs and blue dots represent down-regulated DEGs. Non-significant genes are shown as black dots. DEGs; differentially expressed genes.

3.2. Downstream targets of hsa-miR-130a-3p

The computational analysis of hsa-miR-130a-3p target genes based on the eight web-based prediction platforms identified a total of 7,018 genes. Of these, 995 genes were predicted by at least three of the algorithms. In this manner, target genes were selected more accurately and reduced false positives. To narrow down the number of the predicted target gene, intersection analysis was performed between DEGs in the GSE40447 dataset and target genes. Finally, in total 29 genes (Table 1, Fig. 3) were identified as candidate target genes for further GO and pathway enrichment analysis.

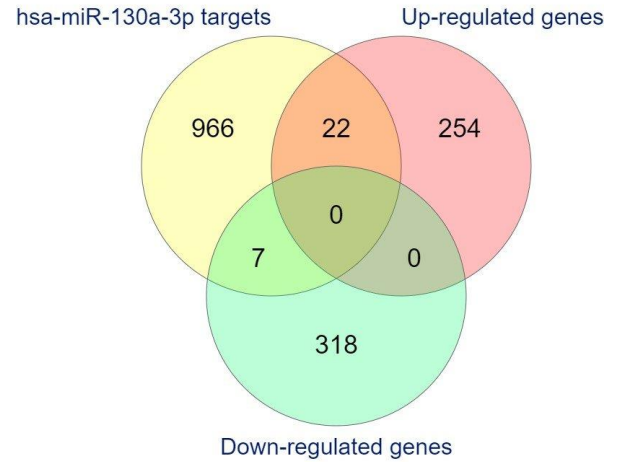


Figure 3. Venn diagram of the intersection genes between DEGs and miR-130a-3p target genes.

Table 1. List of the intersection genes between DEGs and miR-130a-3p target genes.

Up-regulated DEGs targeted by miR-130a-3p			Down-regulated DEGs targeted by miR-130a-3p
<i>CFL2</i>	<i>PMEPA1</i>	<i>NBEA</i>	<i>RTN1</i>
<i>PIGA</i>	<i>ZNF614</i>	<i>PGAP1</i>	<i>SLC10A3</i>
<i>RAB30</i>	<i>ZNF711</i>	<i>ZNF567</i>	<i>SLC24A3</i>
<i>TRIM2</i>	<i>LARP4</i>	<i>RALGPS2</i>	<i>SLC8A1</i>
<i>KBTBD8</i>	<i>LCORL</i>	<i>SCN3A</i>	<i>VPS37B</i>
<i>USP6</i>	<i>LIX1</i>	<i>UGT8</i>	<i>CC2D1B</i>
<i>EPB41L5</i>	<i>MIER3</i>	<i>TAF4B</i>	<i>MAPRE3</i>
	<i>GTPBP10</i>		

3.3. Gene Ontology (GO) term enrichment analysis

The online PANTHER Gene List Analysis tool was used to GO term enrichment analysis and investigation of the functional characteristics of the 29 common DEGs. As shown in Fig. 4 and Fig. 5,

the DEGs were assigned and significantly enriched in three categories; biological processes (BP), cellular component (CC), and molecular functions (MF). For BP, enrichment analysis, the results showed that the up-regulated genes took part in the cellular process (GO:0009987), metabolic process (GO:0008152), biological regulation

(GO:0065007), cellular component organization or biogenesis (GO:0071840), localization (GO:0051179), multicellular organismal process (GO:0032501) and signaling (GO:0023052). The down-regulated DIGs were involved in the cellular process (GO:0009987), localization (GO:0051179), biological regulation (GO:0065007), metabolic process (GO:0008152), and cellular component organization or biogenesis (GO:0071840). In the GO category CC, both up

and down-regulated DEGs were involved in the cell part (GO:0044464), cell (GO:0005623), organelle (GO:0043226), protein-containing complex (GO:0032991), membrane (GO:0016020), organelle part (GO:0044422), and membrane part (GO:0044425). Also, related to molecular function, these target genes appeared to mainly participate in binding (GO:0005488), transcription regulator activity (GO:0140110), and transporter activity (GO:0005215).

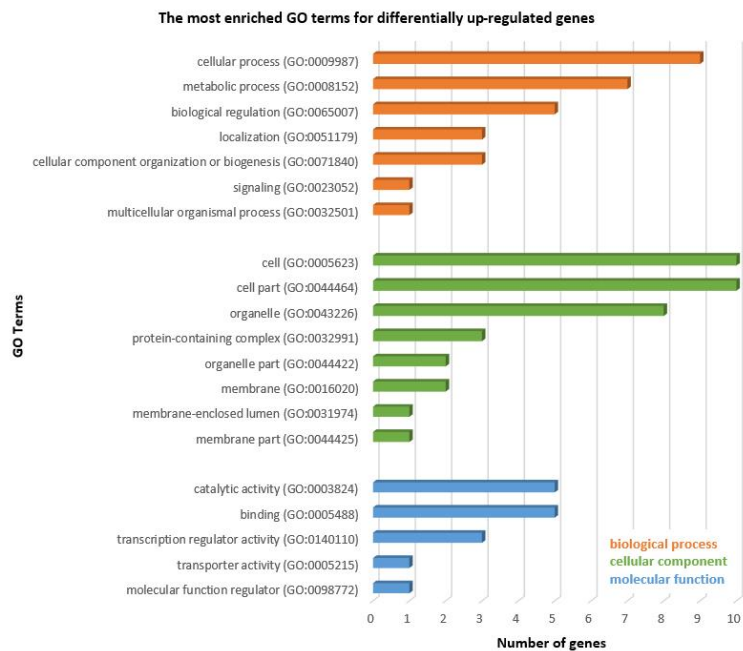


Figure 4. Gene ontology (GO) term enrichment analysis of biological processes (BP), cellular component (CC), and molecular function (MF) for up-regulated differentially expressed genes (DEGs).

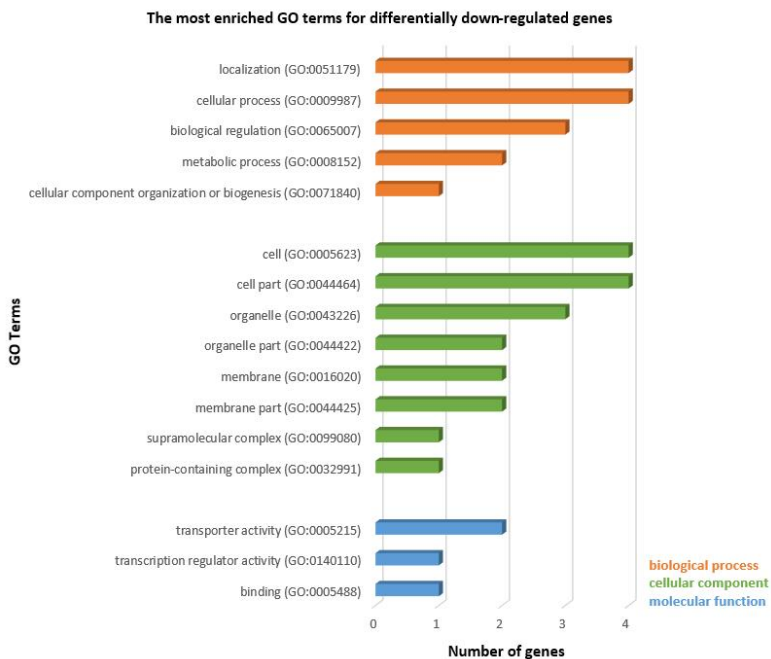


Figure 5. Gene ontology (GO) term enrichment analysis of biological processes (BP), cellular component (CC), and molecular function (MF) for down-regulated differentially expressed genes (DEGs).

3.4. KEGG pathway analysis

Using the Enrichr platform KEGG pathway analysis was performed separately, for up and down-regulated genes. A total of 12 and 13 enriched were identified pathways for up-regulated and down-regulated genes, respectively. Pathway analysis showed that the up-regulated DEGs were significantly enriched in Glycosylphosphatidylinositol (GPI)-anchor biosynthesis and Basal transcription factors (Table

2), while the down-regulated DEGs were significantly enriched in Endocrine and other factor-regulated calcium reabsorption, Mineral absorption, Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC), Cardiac muscle contraction, Hypertrophic cardiomyopathy (HCM), Protein digestion and absorption, Dilated cardiomyopathy (DCM), Apelin signaling pathway and Adrenergic signaling in cardiomyocytes (Table 3).

Table 2. KEGG pathway enrichment analysis of up-regulated DEGs. KEGG; Kyoto Encyclopedia Analysis of Genes and Genomes.

Index	Name	Gene(s)	p-value	Combined score
1	Glycosylphosphatidylinositol (GPI)-anchor biosynthesis	<i>PGAP1;PIGA</i>	0.0003412	580.58
2	Basal transcription factors	<i>TAF4B</i>	0.04837	61.19
3	Sphingolipid metabolism	<i>UGT8</i>	0.05047	57.76
4	Ether lipid metabolism	<i>UGT8</i>	0.05047	57.76
5	Pertussis	<i>CFL2</i>	0.08039	30.15
6	Taste transduction	<i>SCN3A</i>	0.08747	26.69
7	Fc gamma R-mediated phagocytosis	<i>CFL2</i>	0.09551	23.46
8	Axon guidance	<i>ZNF614;ZNF567</i>	0.1814	8.57
9	Herpes simplex virus 1 infection	<i>CFL2</i>	0.1010	8.47
10	Huntington disease	<i>TAF4B</i>	0.1922	7.77
11	Human immunodeficiency virus 1 infection	<i>CFL2</i>	0.2091	6.71
12	Regulation of actin cytoskeleton	<i>CFL2</i>	0.2108	6.61

Table 3. KEGG pathway enrichment analysis of down-regulated DEGs. KEGG; Kyoto Encyclopedia Analysis of Genes and Genomes.

Index	Name	Gene(s)	p-value	Combined score
1	Endocrine and other factor-regulated calcium reabsorption	<i>SLC8A1</i>	0.01668	243.66
2	Mineral absorption	<i>SLC8A1</i>	0.01772	225.95
3	Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC)	<i>SLC8A1</i>	0.02493	146.49
4	Cardiac muscle contraction	<i>SLC8A1</i>	0.02699	132.32
5	Hypertrophic cardiomyopathy (HCM)	<i>SLC8A1</i>	0.02938	118.57
6	Protein digestion and absorption	<i>SLC8A1</i>	0.03108	110.19
7	Dilated cardiomyopathy (DCM)	<i>SLC8A1</i>	0.03142	108.64
8	Apelin signaling pathway	<i>SLC8A1</i>	0.04698	63.77
9	Adrenergic signaling in cardiomyocytes	<i>SLC8A1</i>	0.04967	59.16
10	cGMP-PKG signaling pathway	<i>SLC8A1</i>	0.05668	49.40
11	Calcium signaling pathway	<i>SLC8A1</i>	0.06398	41.78
12	Endocytosis	<i>VPS37B</i>	0.08235	29.24
13	Olfactory transduction	<i>SLC8A1</i>	0.1454	12.41

4. Discussion

Doxorubicin is considered one of the most well-known and widely used anticancer drugs in hematologic and solid tumors treatment. However, since its strong antitumor effect is accompanied by serious tissue toxicities such as cardiotoxicity, its effectiveness in cancer treatment may remain limited. Therefore, understanding the etiology of chemotherapy-induced cardiotoxicity is considered essential in terms of developing protective strategies against the development of irreversible heart damages. Although many studies have been focused on exploring the pathogenesis of cardiotoxicity, the exact molecular mechanisms of this complication development and progression remain largely unclear. In this study, we identified the hsa-miR130a-3p targeted genes in DEGs from GSE40447 and predicted key genes involved in cardiotoxicity processes.

Current medical studies have implicated that it is impossible to elucidate the source and progression of complicated diseases such as cardiotoxicity using the single gene or signaling pathway-based outcomes. Bioinformatic-based high-throughput analyses of the downstream effects of miRNAs on target genes and specific interactions of miRNA-mRNA have been the core of many studies. Therefore, the integrated analysis of a miRNA-driven regulatory network that fosters cardiac function anomaly can utilize to help us clarify the understanding of gene regulations on drug-induced cardiotoxicity. This way the crucial genes involved in the disease pathogenesis can be determined, which can support revealing clinical treatment targets (Yadi et al., 2020).

Previous studies showed that anthracyclines trigger the formation of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation in myocardial mitochondria membrane, and impairment of calcium homeostasis (Cappetta et al., 2017; Sawyer et al., 2010). Supporting this view, some recent studies indicate that the two major hallmarks of DOX-induced cardiotoxicity, cardiac dysfunction, and apoptosis, are impaired with calcium homeostasis (Pecoraro et al., 2017; Zhang et al., 2014). However, despite decades of intense research, the basic molecular mechanisms involved in anthracycline-induced calcium metabolism in cardiac injury remain unclear and need to be investigated. As mentioned above, disruption of mitochondrial calcium homeostasis has also been regarded as a contributory mechanism for the progression of anthracycline-induced cardiomyocyte injury. Therefore, controlling

calcium levels may be a critical strategy to management anthracycline-induced cardiotoxicity (Dibb et al., 2007). A growing body of evidence indicates that miRNAs are the key players in the regulation of target mRNAs hence, they seem to be a considerable tool for managing drug-induced cardiotoxicity (Pellegrini et al., 2020). Recent studies have shown that miRNAs are involved in a variety of processes in the heart such as mechanical and electrical remodeling leading to heart diseases (N. Li et al., 2018).

The purpose of the current study is to investigate the pivotal genes involved in anthracycline-induced cardiotoxicity. In the first step, 995 mRNAs targeted by miR-130a were predicted by different algorithms. In the second step, gene expression profile GSE40447 was analyzed for the identification of differentially expressed genes in DOX-administered samples. We identified 601 DEGs (276 up and 325 down-regulated) which are possibly implicated in cardiotoxicity in patients with chemotherapy-induced cardiotoxicity compared with patients with chemotherapy history but no cardiotoxicity. These analyses revealed that there were 29 intersection genes between miR-130a target mRNAs and DEGs, of which 22 genes were upregulated while 7 were downregulated, which were further subjected to gene ontology (GO) and pathway enrichment analysis, separately. The GO term enrichment analysis showed that DEGs were mainly assembled in functions like cellular process, metabolic process, localization, biological regulation, cell part, organelle, membrane part, binding, transcription regulator activity, and transporter activity. In Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) pathway analysis, the significantly enriched pathways were relevant to heart function and the cardiac system. Results revealed 11 KEGG pathways significantly changed in HF groups compared to non-HF groups (nominal p -value < 0.05), involved in signaling and metabolic processes such as Endocrine and other factor-regulated calcium reabsorption, Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC), Cardiac muscle contraction, Hypertrophic cardiomyopathy (HCM), Dilated cardiomyopathy (DCM), Apelin signaling pathway, Adrenergic signaling in cardiomyocytes, and Glycosylphosphatidylinositol (GPI)-anchor biosynthesis. According to these findings, significantly enriched pathways were mainly associated with the cardiac system and functions. Thus we speculated that miR-130a-3p likely modulates the cardiotoxicity via those associated pathways.

Interestingly, results revealed that *SLC8A1* (Solute Carrier Family 8 (Sodium/Calcium Exchanger), Member A1, also known as *NCX1*; sodium-calcium exchanger 1) was represented in all significantly enriched pathways for downregulated genes which are also miR-130a-3p targets (Table 3). It has been known for a long time that calcium (Ca^{2+}) is essential for numerous physiological functions such as neuronal excitability, intracellular signaling processes (Clapham, 2007), muscle contraction (Eisner et al., 2017), and electrical activity and pumping function of the heart (Landstrom et al., 2017). The importance of calcium-associated signaling in the heart tissue has been attracted a great deal of attention for decades because impaired calcium movement pathways are directly involved in hindering normal heart functions (Eisner et al., 2020). Previous studies reported that electrical activity and digitalis action of the heart is orchestrated by $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger exchangers such as *SLC8A1* (Baartscheer, 2006). Moreover, it was also suggested that an abnormal intracellular concentration of both Na^+ and Ca^{2+} through the downregulation of *SLC8A1* may explain the impaired cardiac functionality (Holmgren et al., 2018). In addition to this, doxorubicin-dependent cardiotoxicity studies also demonstrated that Ca^{2+} -transporting genes such as *CACNA1G*, *CACNA2D2*, *RYR2*, *ITPR1*, and *SLC8A1* were downregulated after DOX treatment (Chaudhari et al., 2016). The results of the Comparative Toxicogenomics Database; CTD (<http://ctdbase.org/>) query also showed that the majority of the diseases associated with the *SLC8A1* gene are cardiovascular diseases (data not shown). These findings suggest that *SLC8A1* is an important target gene of miR-130a-3p that contributes to cardiac pathology development. Accordingly, *SLC8A1* may be evaluated as a novel therapeutic target for the prevention or treatment of detrimental cardiac events caused by doxorubicin via manipulating miR-130a-3p. Taken together, these findings support the hypothesis that *SLC8A1* manipulation could be considered a novel additional molecular target and can have a strong potential benefit in treating anthracycline-induced heart disease.

5. Conclusion

In conclusion, despite the impressive progressions in cancer treatment strategies, several major issues about the understanding of underlying mechanisms of chemotherapy-induced cardiotoxicity remain unclear. This study identified several key genes and/or potential biomarkers in modulating and predicting the progression of cardiotoxicity. These

findings may improve our knowledge about molecular mechanisms underlying chemotherapy-induced cardiotoxicity and may provide promising targets for the development of cardioprotective agents to strengthen the therapeutic efficacy of anthracycline therapy.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest with any financial organization or corporation or individual that can inappropriately influence this work.

References

- Agarwal, V., Bell, G. W., Nam, J. W. and Bartel, D. P. (2015). Predicting effective microRNA target sites in mammalian mRNAs. *Elife*, 4. <https://doi.org/10.7554/eLife.05005>
- Asli, N. S., Pitulescu, M. E. and Kessel, M. (2008). MicroRNAs in organogenesis and disease. *Current Molecular Medicine*, 8(8), 698-710. <https://doi.org/10.2174/156652408786733739>
- Baartscheer, A. (2006). Chronic inhibition of Na^+/H^+ -exchanger in the heart. *Current Vascular Pharmacology*, 4(1), 23-29. <https://doi.org/10.2174/157016106775203117>
- Callis, T. E., Pandya, K., Seok, H. Y., Tang, R. H., Tatsuguchi, M., Huang, Z. P., Chen, J. F., Deng, Z., Gunn, B., Shumate, J., Willis, M. S., Selzman, C. H. and Wang, D. Z. (2009). MicroRNA-208a is a regulator of cardiac hypertrophy and conduction in mice. *Journal of Clinical Investigation*, 119(9), 2772-2786. <https://doi.org/10.1172/JCI36154>
- Cappetta, D., De Angelis, A., Sapio, L., Prezioso, L., Illiano, M., Quaini, F., Rossi, F., Berrino, L., Naviglio, S. and Urbanek, K. (2017). Oxidative stress and cellular response to doxorubicin: A common factor in the complex milieu of anthracycline cardiotoxicity. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1521020. <https://doi.org/10.1155/2017/1521020>
- Chang, D., Li, H., Qian, C. and Wang, Y. (2019). DiOHF protects against doxorubicin-induced cardiotoxicity through ERK1 signaling pathway. *Front Pharmacol*, 10, 1081. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01081>
- Chaudhari, U., Nemade, H., Wagh, V., Gaspar, J. A., Ellis, J. K., Srinivasan, S. P., Spitkovski, D., Nguemo, F., Louisse, J., Bremer, S., Hescheler, J., Keun, H. C., Hengstler, J. G. and Sachinidis, A. (2016). Identification of genomic biomarkers for anthracycline-induced cardiotoxicity in human iPSC-derived cardiomyocytes: an in vitro

- repeated exposure toxicity approach for safety assessment. *Archives of Toxicology*, 90(11), 2763-2777. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1623-5>
- Chen, E. Y., Tan, C. M., Kou, Y., Duan, Q., Wang, Z., Meirelles, G. V., Clark, N. R. and Ma'ayan, A. (2013). Enrichr: interactive and collaborative HTML5 gene list enrichment analysis tool. *BMC Bioinformatics*, 14, 128. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-128>
- Chen, Y. and Wang, X. (2020). miRDB: an online database for prediction of functional microRNA targets. *Nucleic Acids Research*, 48(D1), D127-D131. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz757>
- Clapham, D. E. (2007). Calcium signaling. *Cell*, 131(6), 1047-1058. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.11.028>
- Colpaert, R. M. W. and Calore, M. (2019). MicroRNAs in cardiac diseases. *Cells*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/cells8070737>
- Deiuliis, J. A. (2016). MicroRNAs as regulators of metabolic disease: pathophysiologic significance and emerging role as biomarkers and therapeutics. *International Journal of Obesity*, 40(1), 88-101. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.170>
- Dibb, K. M., Graham, H. K., Venetucci, L. A., Eisner, D. A. and Trafford, A. W. (2007). Analysis of cellular calcium fluxes in cardiac muscle to understand calcium homeostasis in the heart. *Cell Calcium*, 42(4-5), 503-512. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2007.04.002>
- Draghici, S., Khatri, P., Tarca, A. L., Amin, K., Done, A., Voichita, C., Georgescu, C. and Romero, R. (2007). A systems biology approach for pathway level analysis. *Genome Research*, 17(10), 1537-1545. <https://doi.org/10.1101/gr.6202607>
- Eisner, D. A., Caldwell, J. L., Kistamas, K. and Trafford, A. W. (2017). Calcium and excitation-contraction coupling in the heart. *Circulation Research*, 121(2), 181-195. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.310230>
- Eisner, D. A., Caldwell, J. L., Trafford, A. W. and Hutchings, D. C. (2020). The control of diastolic calcium in the heart: Basic mechanisms and functional implications. *Circulation Research* 126(3), 395-412. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.119.315891>
- Esquela-Kerscher, A. and Slack, F. J. (2006). Oncomirs - microRNAs with a role in cancer. *Nature Reviews Cancer*, 6(4), 259-269. <https://doi.org/10.1038/nrc1840>
- Fernandez-Hernando, C. and Suarez, Y. (2018). MicroRNAs in endothelial cell homeostasis and vascular disease. *Curr Opin Hematol*, 25(3), 227-236. <https://doi.org/10.1097/MOH.0000000000000424>
- Gennari, A., Sormani, M. P., Pronzato, P., Puntoni, M., Colozza, M., Pfeffer, U. and Bruzzi, P. (2008). HER2 status and efficacy of adjuvant anthracyclines in early breast cancer: a pooled analysis of randomized trials. *J Natl Cancer Inst*, 100(1), 14-20. <https://doi.org/10.1093/jnci/djm252>
- Gomez, I. G., Nakagawa, N. and Duffield, J. S. (2016). MicroRNAs as novel therapeutic targets to treat kidney injury and fibrosis. *Am J Physiol Renal Physiol*, 310(10), F931-944. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00523.2015>
- Han, D., Wang, Y., Wang, Y., Dai, X., Zhou, T., Chen, J., Tao, B., Zhang, J. and Cao, F. (2020). The tumor-suppressive human circular RNA CircITCH Sponges miR-330-5p to ameliorate doxorubicin-induced cardiotoxicity through upregulating SIRT6, survivin, and SERCA2a. *Circ Res*, 127(4), e108-e125. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.119.316061>
- Hayashita, Y., Osada, H., Tatematsu, Y., Yamada, H., Yanagisawa, K., Tomida, S., Yatabe, Y., Kawahara, K., Sekido, Y. and Takahashi, T. (2005). A polycistronic microRNA cluster, miR-17-92, is overexpressed in human lung cancers and enhances cell proliferation. *Cancer Res*, 65(21), 9628-9632. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-05-2352>
- Heberle, H., Meirelles, G. V., da Silva, F. R., Telles, G. P. and Minghim, R. (2015). InteractiVenn: a web-based tool for the analysis of sets through Venn diagrams. *BMC Bioinformatics*, 16, 169. <https://doi.org/10.1186/s12859-015-0611-3>
- Holmgren, G., Sartipy, P., Andersson, C. X., Lindahl, A. and Synnergren, J. (2018). Expression profiling of human pluripotent stem cell-derived cardiomyocytes exposed to doxorubicin-integration and visualization of multi-omics data. *Toxicol Sci*, 163(1), 182-195. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy012>
- Hoening, M. J., Botma, A., Aleman, B. M., Baaijens, M. H., Bartelink, H., Klijn, J. G., Taylor, C. W. and van Leeuwen, F. E. (2007). Long-term risk of cardiovascular disease in 10-year survivors of breast cancer. *J Natl Cancer Inst*, 99(5), 365-375. <https://doi.org/10.1093/jnci/djk064>
- Horie, T., Ono, K., Nishi, H., Nagao, K., Kinoshita, M., Watanabe, S., Kuwabara, Y., Nakashima, Y.,

- Takanabe-Mori, R., Nishi, E., Hasegawa, K., Kita, T. and Kimura, T. (2010). Acute doxorubicin cardiotoxicity is associated with miR-146a-induced inhibition of the neuregulin-ErbB pathway. *Cardiovasc Res*, 87(4), 656-664. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvq148>
- Hsu, S. D., Lin, F. M., Wu, W. Y., Liang, C., Huang, W. C., Chan, W. L., Tsai, W. T., Chen, G. Z., Lee, C. J., Chiu, C. M., Chien, C. H., Wu, M. C., Huang, C. Y., Tsou, A. P. and Huang, H. D. (2011). miRTarBase: a database curates experimentally validated microRNA-target interactions. *Nucleic Acids Res*, 39(Database issue), D163-169. <https://doi.org/10.1093/nar/gkq1107>
- Hu, Y., Xia, W. and Hou, M. (2018). Macrophage migration inhibitory factor serves a pivotal role in the regulation of radiation-induced cardiac senescence through rebalancing the microRNA-34a/sirtuin 1 signaling pathway. *Int J Mol Med*, 42(5), 2849-2858. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3838>
- Huang, J., Zhao, M., Hu, H., Wang, J., Ang, L. and Zheng, L. (2019). MicroRNA-130a reduces drug resistance in breast cancer. *Int J Clin Exp Pathol*, 12(7), 2699-2705.
- Jing, X., Yang, J., Jiang, L., Chen, J. and Wang, H. (2018). MicroRNA-29b Regulates the mitochondria-dependent apoptotic pathway by targeting bax in doxorubicin cardiotoxicity. *Cell Physiol Biochem*, 48(2), 692-704. <https://doi.org/10.1159/000491896>
- Karagkouni, D., Paraskevopoulou, M. D., Chatzopoulos, S., Vlachos, I. S., Tastsoglou, S., Kanellos, I., Papadimitriou, D., Kavakiotis, I., Maniou, S., Skoufos, G., Vergoulis, T., Dalamagas, T. and Hatzigeorgiou, A. G. (2018). DIANA-TarBase v8: a decade-long collection of experimentally supported miRNA-gene interactions. *Nucleic Acids Res*, 46(D1), D239-D245. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1141>
- Kim, G. H., Samant, S. A., Earley, J. U. and Svensson, E. C. (2009). Translational control of FOG-2 expression in cardiomyocytes by microRNA-130a. *PLoS One*, 4(7), e6161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006161>
- Lagos-Quintana, M., Rauhut, R., Yalcin, A., Meyer, J., Lendeckel, W. and Tuschl, T. (2002). Identification of tissue-specific microRNAs from mouse. *Curr Biol*, 12(9), 735-739. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(02\)00809-6](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(02)00809-6)
- Landstrom, A. P., Dobrev, D. and Wehrens, X. H. T. (2017). Calcium signaling and cardiac arrhythmias. *Circ Res*, 120(12), 1969-1993. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.310083>
- Li, J., Wan, W., Chen, T., Tong, S., Jiang, X. and Liu, W. (2019). miR-451 Silencing inhibited doxorubicin exposure-induced cardiotoxicity in mice. *Biomed Res Int*, 2019, 1528278. <https://doi.org/10.1155/2019/1528278>
- Li, N., Zhou, H. and Tang, Q. (2018). miR-133: A suppressor of cardiac remodeling? *Front Pharmacol*, 9, 903. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00903>
- Li, Q., Qin, M., Tan, Q., Li, T., Gu, Z., Huang, P. and Ren, L. (2020). MicroRNA-129-1-3p protects cardiomyocytes from pirarubicin-induced apoptosis by down-regulating the GRIN2D-mediated Ca(2+) signalling pathway. *J Cell Mol Med*, 24(3), 2260-2271. <https://doi.org/10.1111/jcmm.14908>
- Luminari, S., Montanini, A. and Federico, M. (2011). Anthracyclines: a cornerstone in the management of non-Hodgkin's lymphoma. *Hematol Rep*, 3(3s), e4. <https://doi.org/10.4081/hr.2011.s3.e4>
- Maragkakis, M., Reczko, M., Simossis, V. A., Alexiou, P., Papadopoulos, G. L., Dalamagas, T., Giannopoulos, G., Goumas, G., Koukis, E., Kourtis, K., Vergoulis, T., Koziris, N., Sellis, T., Tsanakas, P. and Hatzigeorgiou, A. G. (2009). DIANA-microT web server: elucidating microRNA functions through target prediction. *Nucleic Acids Res*, 37(Web Server issue), W273-276. <https://doi.org/10.1093/nar/gkp292>
- McCaffrey, T. A., Tziros, C., Lewis, J., Katz, R., Siegel, R., Weglicki, W., Kramer, J., Mak, I. T., Toma, I., Chen, L., Benas, E., Lowitt, A., Rao, S., Witkin, L., Lian, Y., Lai, Y., Yang, Z. and Fu, S. W. (2013). Genomic profiling reveals the potential role of TCL1A and MDR1 deficiency in chemotherapy-induced cardiotoxicity. *Int J Biol Sci*, 9(4), 350-360. <https://doi.org/10.7150/ijbs.6058>
- McGowan, J. V., Chung, R., Maulik, A., Piotrowska, I., Walker, J. M. and Yellon, D. M. (2017). Anthracycline chemotherapy and cardiotoxicity. *Cardiovasc Drugs Ther*, 31(1), 63-75. <https://doi.org/10.1007/s10557-016-6711-0>
- Melguizo, C., Cabeza, L., Prados, J., Ortiz, R., Caba, O., Rama, A. R., Delgado, A. V. and Arias, J. L. (2015). Enhanced antitumoral activity of doxorubicin against lung cancer cells using biodegradable poly(butylcyanoacrylate) nanoparticles. *Drug Des Devel Ther*, 9, 6433-6444. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S92273>
- Nielsen, C. B., Shomron, N., Sandberg, R., Hornstein, E., Kitzman, J. and Burge, C. B. (2007). Determinants of targeting by endogenous and exogenous microRNAs and siRNAs. *RNA*, 13(11), 1894-1910. <https://doi.org/10.1261/rna.768207>

- Pakravan, G., Foroughmand, A. M., Peymani, M., Ghaedi, K., Hashemi, M. S., Hajjari, M. and Nasr-Esfahani, M. H. (2018). Downregulation of miR-130a, antagonized doxorubicin-induced cardiotoxicity via increasing the PPARgamma expression in mESCs-derived cardiac cells. *Cell Death Dis*, 9(7), 758. <https://doi.org/10.1038/s41419-018-0797-1>
- Pecoraro, M., Rodriguez-Sinovas, A., Marzocco, S., Ciccarelli, M., Iaccarino, G., Pinto, A. and Popolo, A. (2017). Cardiotoxic Effects of short-term doxorubicin administration: Involvement of connexin 43 in calcium impairment. *Int J Mol Sci*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/ijms18102121>
- Pellegrini, L., Sileno, S., D'Agostino, M., Foglio, E., Florio, M. C., Guzzanti, V., Russo, M. A., Limana, F. and Magenta, A. (2020). MicroRNAs in cancer treatment-induced cardiotoxicity. *Cancers (Basel)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/cancers12030704>
- Sawyer, D. B., Peng, X., Chen, B., Pentassuglia, L. and Lim, C. C. (2010). Mechanisms of anthracycline cardiac injury: can we identify strategies for cardioprotection? *Prog Cardiovasc Dis*, 53(2), 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2010.06.007>
- Songbo, M., Lang, H., Xinyong, C., Bin, X., Ping, Z. and Liang, S. (2019). Oxidative stress injury in doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Toxicol Lett*, 307, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2019.02.013>
- Thomas, P. D., Campbell, M. J., Kejariwal, A., Mi, H., Karlak, B., Daverman, R., Diemer, K., Muruganujan, A. and Narechania, A. (2003). PANTHER: a library of protein families and subfamilies indexed by function. *Genome Res*, 13(9), 2129-2141. <https://doi.org/10.1101/gr.772403>
- Tokar, T., Pastrello, C., Rossos, A. E. M., Abovsky, M., Hauschild, A. C., Tsay, M., Lu, R. and Jurisica, I. (2018). mirDIP 4.1-integrative database of human microRNA target predictions. *Nucleic Acids Res*, 46(D1), D360-D370. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1144>
- Volkova, M. and Russell, R., 3rd. (2011). Anthracycline cardiotoxicity: prevalence, pathogenesis and treatment. *Curr Cardiol Rev*, 7(4), 214-220. <https://doi.org/10.2174/157340311799960645>
- Wallace, K. B. (2007). Adriamycin-induced interference with cardiac mitochondrial calcium homeostasis. *Cardiovasc Toxicol*, 7(2), 101-107. <https://doi.org/10.1007/s12012-007-0008-2>
- Yadi, W., Shurui, C., Tong, Z., Suxian, C., Qing, T. and Dongning, H. (2020). Bioinformatic analysis of peripheral blood miRNA of breast cancer patients in relation with anthracycline cardiotoxicity. *BMC Cardiovasc Disord*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01346-y>
- Yao, Q., Chen, Y. and Zhou, X. (2019). The roles of microRNAs in epigenetic regulation. *Curr Opin Chem Biol*, 51, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.01.024>
- Yao, S. (2016). MicroRNA biogenesis and their functions in regulating stem cell potency and differentiation. *Biol Proced Online*, 18, 8. <https://doi.org/10.1186/s12575-016-0037-y>
- Ye, J., Zou, M., Li, P. and Liu, H. (2018). MicroRNA regulation of energy metabolism to induce chemoresistance in cancers. *Technol Cancer Res Treat*, 17, 1533033818805997. <https://doi.org/10.1177/1533033818805997>
- Zhang, Y., Chen, Y., Zhang, M., Tang, Y., Xie, Y., Huang, X. and Li, Y. (2014). Doxorubicin induces sarcoplasmic reticulum calcium regulation dysfunction via the decrease of SERCA2 and phospholamban expressions in rats. *Cell Biochem Biophys*, 70(3), 1791-1798. <https://doi.org/10.1007/s12013-014-0130-2>
- Zhao, L. and Zhang, B. (2017). Doxorubicin induces cardiotoxicity through upregulation of death receptors mediated apoptosis in cardiomyocytes. *Sci Rep*, 7, 44735. <https://doi.org/10.1038/srep44735>
- Zhao, Y., Ransom, J. F., Li, A., Vedantham, V., von Drehle, M., Muth, A. N., Tsuchihashi, T., McManus, M. T., Schwartz, R. J. and Srivastava, D. (2007). Dysregulation of cardiogenesis, cardiac conduction, and cell cycle in mice lacking miRNA-1-2. *Cell*, 129(2), 303-317. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.03.030>

Ordu ili Asarkaya Kent Ormanı ve Yoroz Kent Ormanı ile Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyonel potansiyel yönünden karşılaştırılması

Comparison of Asarkaya Urban Forest and Yoroz Urban Forest with Çınarsuyu Nature Park and Ulugöl Nature Park (Ordu province) in terms of recreational potential

Murat YEŞİL^{1,a}, Mesut GÜZEL^{*1,b}

¹Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 52200, Ordu

• Geliş tarihi / Received: 13.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.06.2021

Öz

Yoğun kent hayatı içerisinde doğadan kopuk, yorulan ve yıpranan insanlar ruhen ve bedenlen dinlenip yenilenebilmek için zaman zaman doğa ile iç içe olma eğilimi göstermektedirler. Günümüzde tahrip olmamış doğal alanların insanlar tarafından rekreatif eylemler açısından yoğun talep görmesi bu alanların taşıdıkları kaynak değerleri ile oldukça önemli yerler olduğunu göstermektedir. Bu amaçla tabiat parkları ve kent ormanları, insanlara doğal veya yarı doğal alanlarda rekreasyon olanağı sunan tabiat parçaları olması nedeniyle yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında; Ordu ilindeki bazı rekreasyon alanlarının rekreasyon potansiyeli incelenmiştir. Rekreasyon potansiyelinin belirlenmesinde, incelenen alanın rekreasyon potansiyelini yüzde olarak hesaplamaya yarayan ve pratik bir yöntem olan Gülez yöntemi esas alınmıştır. İncelenen rekreasyon alanları içerisinde; Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyon potansiyeli "Yüksek", Yoroz Kent Ormanı ve Asarkaya Kent Ormanı'nın rekreasyon potansiyeli ise "Orta" olarak tespit edilmiştir. Çalışmada ikinci olarak; gerekli iyileştirmeler yapıldığı takdirde rekreasyon alanlarının mevcut potansiyellerinin ne ölçüde artacağı değerlendirilmiştir. Buna göre; bünyesinde belirlenen eksiklik ya da yetersizlikler giderildiği takdirde tüm rekreasyon alanlarının rekreasyon potansiyelinin "Yüksek" düzeyine ulaşacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gülez yöntemi, Ordu ili, Rekreasyon, Rekreasyon potansiyeli

Abstract

In a busy urban life, tired and unhappy people who are disconnected from nature tend to be intertwined with nature from time to time to rest and regenerate spiritually and physically. The fact that the natural areas that have not been destroyed are in high demand in terms of recreational activities shows that these areas are crucial places with their resource values. Natural parks and urban forests are natural areas that offer people recreation opportunities in natural and semi-natural areas. In this study, the recreation potential of some recreation areas in Ordu province has been investigated. The Gülez method was used to determine the recreational potential. Among the recreation areas studied; The recreation potential of Çınarsuyu Nature Park and Ulugöl Nature Park has been determined as "High," and the recreation potential of Yoroz City Forest and Asarkaya City Forest has been determined as "Medium." Thus, it was evaluated to what extent the existing potentials of recreation areas would increase if necessary improvements were made. According to this, it has been concluded that the recreation potential of all recreation areas will reach the "High" level if the deficiencies identified within its structure are corrected.

Keywords: Gülez's method, Ordu province, Recreation, Recreation potential

^{*b} Mesut GÜZEL; mesutguzel@odu.edu.tr, Tel: (0534) 410 20 94, orcid.org/0000-0001-6172-5812

^a orcid.org/0000-0002-3643-5626

1. Giriş

Genellikle insanların yaşamayı arzuladığı çevre ile kentlerin sunduğu yaşam koşulları arasında tam anlamıyla bir uyumdan söz edilememektedir. Sanayileşme, kentleşme ve kırdan kente olan hızlı nüfus hareketleri kentlerde arazi taleplerini artırmış, kentlerin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemiş ve insanlarda psiko-fizyolojik dengesizliklere yol açmıştır. Bu dengeyi korumak için kişi, sessizliğe ve doğaya yakın rekreasyona gerek duymaktadır (Kurum ve Öztan, 2001). Kentlerin yoğun, stresli, hızlı, monoton ve doğadan uzak yaşam tarzı, insanlarda kısa süreliğine de olsa buldukları yerlerden ayrılma farklı mekanlara gitme arzusunu ortaya çıkarmıştır. İnsanların doğa özlemlerini gidermek, rahatlamak ve yeni yerler keşfetmek istemesi üzerine rekreasyon etkinlikleri de artış göstermeye başlamıştır (Yeşil ve Beyli, 2018).

Rekreasyon kavramı; Latince yenilenme, yeniden yaratılma veya yeniden yapılanma anlamına gelen “recreatio” kelimesinden gelmektedir. Rekreasyon; insanların çalışma ve zorunlu ihtiyaçlar için ayırdığı zamanlar dışında yapılan, bireyin kendisini fiziksel ve zihinsel açıdan yenilemesinin yanı sıra aynı zamanda zevk almasını sağlayan faaliyetlerin bütünüdür (Koç, 1991; Akten, 2003; Gültekin vd., 2013). İnsanoğlunun ruhsal ve bedensel açıdan yenilenmesini sağlayan boş zaman eylemleri, rekreasyon kavramı ile tanımlanmakta ve açıklanmaktadır (Karaküçük, 2001; Tolunay vd., 2004). McLean ve arkadaşları (2008) rekreasyonu; “Şehir, kasaba ve ilçelerdeki; eğlence alanları, parklar, oyun alanları, su merkezleri ve spor alanlarında yapılan etkinlikler” şeklinde tanımlamışlardır. Doğa temelli rekreasyon ise, doğal çevreye dayanan her türlü boş zaman etkinlikleridir (Jenkins ve Pigram, 2003) ve doğa tarafından sağlanan önemli bir kültürel ekosistem hizmetidir (Balmford vd., 2009). Rekreasyon insanlar için evrensel bir ihtiyaçtır. Düzenli şekilde rekreasyonel aktivitelere katılan insanlar ile monoton bir hayat süren insanlar arasında sağlık düzeyi, çevreye ve yasalara uyumluluk bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Rekreasyonel aktiviteler hem insanların yaşam kalitelerini artırmakta hem de birbirleriyle ve çevreleriyle olan etkileşimini sağlıklı bir duruma getirmektedir (Sevil vd., 2012). Rekreasyona yönelik yapılan tüm tanımların ortak noktası; rekreasyonun bireylere günlük rutin içinde kaybettikleri yaşam enerjisini yeniden kazanmaları yönünde destek olmasıdır. Dolayısıyla; çalışma hayatındaki işgücü, verimlilik ve hatta iş sağlığı ve güvenliğine kadar farklı

birçok açıdan rekreasyon ve ilişkili kavramların son derece önemli olduğunu belirtmek yanlış olmayacaktır (Ayhan, 2019).

İnsana özgü bir ihtiyaç olarak rekreasyon amacıyla yapılan faaliyetler; gerçekleştirildikleri zaman dilimine ya da mekâna göre pek çok şekilde sınıflandırılmaktadır (Ardahan ve Lapa, 2011). Rekreasyonun yapıldığı zamana göre yaz ve kış rekreasyonu, mekâna göre açık ve kapalı alan rekreasyonu, şekline göre aktif ve pasif rekreasyon, yere göre kentsel ve kırsal rekreasyon olarak sınıflandırılabilir. Rekreasyonel alanlar; ulaşılabilirlik, kullanım şekli ve sunduğu imkanlar gibi faktörlere bağlı olarak farklı zamanlar ve zaman aralıklarında tercih görürler. Gününbirlik aktiviteler için tercih edilen mekanlar kentin yoğun baskısından biraz daha uzaklaşarak kırsal alanlara doğru kaymakta ve doğal olmasının yanı sıra kente çok uzak olmayan mesafelerde yer alan bölgelerde yoğunlaşmaktadır (Yeşil ve Akbaş, 2015). Akten ve Gül (2014), “kentsel alanlara yakın doğal alanların, özellikle rekreasyonel açıdan yüksek potansiyele sahip olmasının, mevcut bitki örtüsünün ve yaban hayatının zenginliği, doğal peyzaj çeşitliliği gibi özellikleri nedeniyle kent insanı için önemli cazibe ve çekim merkezleri konumunda olduğunu” belirtmişlerdir. Çeşitli özgün peyzaj özellikleri nedeniyle çeşitli kategorilerle koruma altına alınmış kent yakın çevresindeki orman alanları da rekreasyonel amaçlı kullanımlar açısından oldukça değerli alanlardır (Ayhan, 2019). Türkiye’de 1956 tarihli 6831 sayılı Orman Kanunu ile 1983 tarihli 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu’nun bu anlamda ayrı bir önemi vardır.

2873 sayılı Milli Parklar Kanunu’nun amacı; “milli ve milletlerarası düzeyde değerlere sahip milli park, tabiat parkı, tabiat anıtı ve tabiatı koruma alanlarının seçilip belirlenmesine, özellik ve karakterleri bozulmadan korunmasına, geliştirilmesine ve yönetilmesine ilişkin esasları düzenlemek” şeklinde tanımlanmıştır (Anonim, 2021a). Yine aynı Kanun’da doğa içerisinde rekreatif faaliyetlere olanak sağlayan tabiat parkları; “bitki örtüsü ve yaban hayatı özelliğine sahip, manzara bütünlüğü içinde halkın dinlenme ve eğlenmesine uygun tabiat parçaları” olarak ifade edilmiştir. Ayaşlıgil’e (2007) göre kent ormanı; kentlerde ya da kentlerin yakın çevresinde doğal olarak bulunan veya yapay olarak insan eliyle oluşturulmuş, kentlere sağladığı estetik ve işlevsel katkıların yanı sıra, kent insanına çok yönlü rekreatif olanaklar sunan ve kısa mesafelerde ulaşılabilen alanlardır. Yapılan tanımlardan hareketle tabiat parkı ve kent ormanının ortak

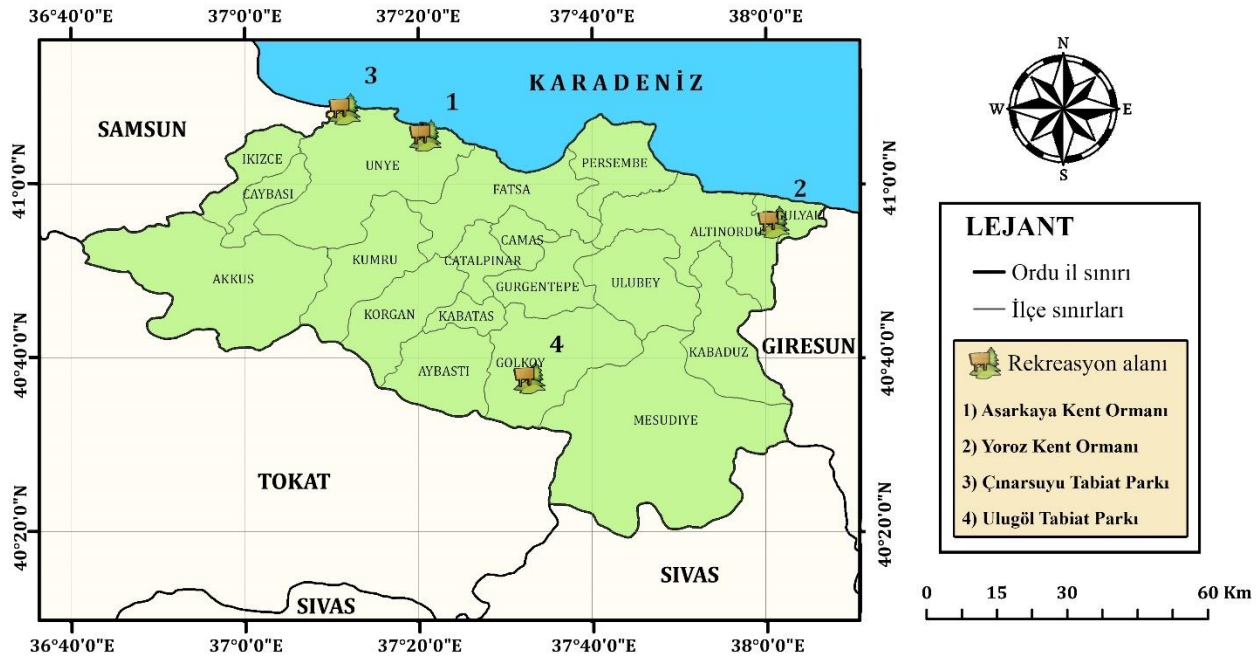
özelliği insanlara yarı doğal-doğal alanlarda rekreasyon olanağı sunuyor olmasıdır. Türkiye, doğa temelli rekreasyon etkinlikleri bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. 2020 yılı itibariyle Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü bünyesinde 250 adet tabiat parkı (Anonim, 2021b) ve Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde 134 adet kent ormanı bulunmaktadır (Anonim, 2021c).

Tabiat parkı ve kent ormanı gibi alanlarda, korunan alan mantığı ile çelişmeyen rekreasyonel aktiviteler yapılmalıdır. Bunun mümkün olabilmesi için bu türden alanların rekreasyon potansiyellerinin çıkarılması, etkin planlanması ve iyi yönetilebilmesi gerekmektedir. Bu anlamda, Gülez (1990) tarafından geliştirilen rekreasyon potansiyelinin belirlenmesine yönelik geliştirilen yöntem kullanılarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır (Korkut ve Şimşek, 2009; Yılmaz vd., 2009; Çalık vd., 2013; Sandal ve Karademir, 2013; Altunöz vd., 2014; Türker vd., 2014; Polat ve Polat, 2016; Eröz ve Aslan 2017; Yeşil, 2017; Yeşil ve Beyli, 2018; Yeşil ve Hacıoğlu 2018; Gül ve Yılmaz, 2019).

Bu çalışma ile; Ordu ilinde bulunan Çınarsuyu Tabiat Parkı, Ulugöl Tabiat Parkı, Yoroz Kent Ormanı ve Asarkaya Kent Ormanı'nın rekreasyon potansiyeli çıkarılmıştır. Ayrıca bu alanların rekreasyon potansiyellerinin yükseltilebileceği öngörüsüyle koruma kullanma dengesi gözetilerek bazı öneriler getirilmiştir.

2. Materyal ve metot

Araştırma alanı olarak Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Ordu ili ve ildeki bazı rekreasyon alanları seçilmiştir. Ordu ili; 41°08' ve 40°20' kuzey enlemleri ile 36°40' ve 38°06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Doğuda Giresun ili, batıda Samsun ili, güneyde Sivas ve Tokat illeri, kuzeyde ise Karadeniz ile komşu olan Ordu ilinin yüzölçümü yaklaşık 5.952 km²'dir (Şekil 1). İl genel olarak Karadeniz ikliminin etkisi altındadır. Bu iklim tipinde yaz ayları nispeten serin, kışlar ise kıyı bölgelerde ılık, yüksek rakımlarda soğuk ve karlı geçmektedir. Ayrıca her mevsim yağış gerçekleşmesi bu iklim tipinin bir diğer belirgin özelliğidir (Şensoy vd., 2008).



Şekil 1. Rekreasyon alanlarının konumu

Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre 2019 yılı itibariyle Ordu ilinin toplam nüfusu 754.198'dir. Halkın geçim kaynağı büyük oranda meyveciliğe ve kısmen ticarete dayanmaktadır (TÜİK, 2020). Ayrıca balıkçılık, arıcılık, hayvancılık ve ormancılık da il halkının önemli geçim kaynaklarıdır. İlde gerçekleştirilen bitkisel

üretimde en büyük payı, ülke üretiminin %25'ine karşılık gelen fındık oluşturmaktadır (Anonim, 2018). Çalışmanın konusu olan Asarkaya ve Yoroz Kent Ormanı ile Çınarsuyu ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın Ordu ili içerisindeki konumları Şekil 1'de, bu alanlar ile ilgili genel bilgiler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Rekreasyon alanlarına ait bilgiler (Anonim, 2021b; OGM, 2021)

Rekreasyon alanı	İlçe	Alan (ha)	İlan tarihi	Sit durumu
Asarkaya Kent Ormanı (AKO)	Ünye	44.0	-	Yok
Yoroz Kent Ormanı (YKO)	Altınordu	32.0	-	Yok
Çınarsuyu Tabiat Parkı (ÇTP)	Ünye	6.68	11.07.2011	Yok
Ulugöl Tabiat Parkı (UTP)	Gölköy	26.38	08.09.2009	Yok

Asarkaya Kent Ormanı, Ünye ilçe merkezine 8 km ve Ordu kent merkezine 60 km uzaklıkta, ağaçlandırılmış bir rekreasyon alanıdır. Deniz ve doğa manzarası ile dikkat çekmektedir. İçerisinde piknik alanı, et satış birimi, mangal ve semaver kiralama birimleri, mescit, lavabo gibi yapılar bulunmaktadır.

Yoroz Kent Ormanı, Ordu kent merkezine yaklaşık 21 km uzaklıkta ve Saraycık Beldesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Orman içi yürüyüş yolları ve 810 m rakımlı zirvesi ile bilinmektedir. Alan içerisinde piknik alanı, satış ünitesi, lavabo, çeşme, orman içi yürüyüş parkuru ve seyir terası gibi fonksiyonlar yer almaktadır.

2011 yılında tescillenen Çınarsuyu Tabiat Parkı Ünye ilçesi sınırları içerisinde, Karadeniz kıyısında yer alan ve içerisinde kır lokantası, kamp alanları ve satış noktaları bulunan bir rekreasyon alanıdır. Büyüklüğü yaklaşık 6.7 ha olan tabiat parkı, ziyaretçilerine piknik yapma ve denize girme olanağını birlikte sunmaktadır. Tabiat parkı Ünye İlçe merkezine 14 km, Ordu kent merkezine ise 73 km uzaklıktadır.

2009 yılında Tabiat Parkı olarak tescil edilen Ulugöl Tabiat Parkı, adını içerisinde yer alan krater gölünden almaktadır. Büyüklüğü 26.5 ha olan Tabiat Parkı; Gölköy İlçe merkezine 18 km, Ordu kent merkezine ise yaklaşık 80 km uzaklıktadır. Kasım ayının ortalarında görünür hale gelen bitkilerdeki sonbahar renk değişimini görmek amacıyla çok sayıda ziyaretçi tabiat parkına gelmektedir. Alan içerisinde konaklamaya olanak tanıyan 12 adet bungalov ev yer almaktadır. Ziyaretçilerin en fazla yaptığı etkinlikler; doğa yürüyüşü, piknik, kamp ve fotoğraf çekimidir.

Rekreasyon alanlarının rekreasyon potansiyellerini belirlemede, Gülez (1990) tarafından geliştirilen “Rekreasyon Potansiyeli Değerlendirme Yöntemi” kullanılmıştır. Bu yöntem; bir alanın rekreasyon potansiyelini belirlemede son derece pratik

olduğundan birçok çalışmada kullanılmıştır (Akten, 2003; Gülez ve Demirel, 2004; Korkut ve Şimşek, 2009; Yılmaz vd., 2009; Altunöz vd., 2014; Surat, 2017; Atabeyoğlu vd., 2017; Yeşil ve Beyli, 2018; Gül ve Yılmaz, 2019; Özçalık ve Kumru, 2019; Çetinkale Demirkan ve Sandal Erzurumlu, 2020). Yöntem ile rekreasyon potansiyeli “ $P + İ + U + RK + OSE = RP(\%)$ ” formülü kullanılarak yüzde olarak hesaplanabilmektedir. Formülde yer alan P, peyzaj değerini; İ, iklim değerini; U, ulaşılabilirliği; RK, rekreatif kolaylıkları; OSE, olumsuz etkenleri; RP ise rekreasyonel potansiyelin yüzde olarak karşılığını ifade etmektedir (Tablo 2). Hesaplama sonucunda ortaya çıkan değer %30’dan az ise değerlendirilen alanın mevcut rekreasyon potansiyeli “Çok düşük”, %30-45 arası ise “Düşük”, %46-60 arası ise “Orta”, %61-75 arası ise “Yüksek”, %75’den fazla ise “Çok yüksek” anlamına gelmektedir. Çalışma kapsamında incelenen tüm alanlar için RP(%) değeri hesaplandıktan sonra gerekli iyileştirmeler yapıldığı takdirde bu alanların potansiyellerinin ne düzeyde artacağı irdelenmiştir.

Rekreasyon alanlarına ait sıcaklık, yağış, güneşlenme ve rüzgârlılık gibi iklim parametreleri, alanlara en yakın meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Buna göre; Yoroz Kent Ormanı iklim verileri 18527 numaralı Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesi İstasyonu’ndan, Asarkaya Kent Ormanı ve Çınarsuyu Tabiat Parkı iklim verileri 17624 numaralı Ünye İstasyonu’ndan, Ulugöl Tabiat Parkı iklim verileri ise 18130 numaralı Gölköy İstasyonu’ndan elde edilmiştir. Rekreasyon alanlarının ulaşılabilirlik puanlandırmasında kullanılan mesafe ve ulaşım zamanı ölçümleri, Google Maps platformundaki “Yol Tarifi” özelliği aracılığıyla yapılmıştır. Yöntemde belirtilen “en az 100.000 nüfuslu yerleşime uzaklık” ve “en az 5.000 nüfuslu yerleşimden yaya veya taşıtla ulaşım süresi” değerleri, dört rekreasyon alanı için hesaplanmış ve yöntemde belirtilen puanlandırmada kullanılmıştır.

Tablo 2. Rekreatiyonel potansiyel puanlandırma kriterleri (Güleç, 1990)

Formülde yer alan değerler	Özellikler	Açıklama	Puan
Peyzaj Değeri (P)	Alanın Büyüklüğü	10 ha.'dan büyük	4
		5-10 ha	3
		1-5 ha	2
		0.5-1 ha	1
	Yüzeysel Durum	Düz alan	5
		Hafif dalgalı	4
		Az meyilli	3
		Az engebeli	2
		Orta engebeli	1
	Bitki Örtüsü	Ağaçlık, çalılık, çayırılık	7-8
		Yalnız ağaçlık, çayırılık	6-7
		Çalılık, çayırılık, ağaçlık	5-6
		Çayırılık, seyrek ağaçlık	4-5
		Yalnız çalılık, çayırılık	3-4
		Çalılık, seyrek ağaçlık	3-4
		Çayırılık, seyrek çalılık	2-3
	Deniz, Göl, Akarsu	Yalnız çayırılık	1-3
		Deniz kıyısı	7-8
		Göl kıyısı	6-7
	Görsel Kalite	Akarsu kıyısı	4-5
Dereceler		1-4	
Panoramik görünüm		3-4	
Diğer Özellikler	Güzel görüş ve vistalar	2-3	
	Görsel ve estetik değeri	1-4	
	Mağara, çağlayan, tarihsel ve kültürel doku	1-6	
İklim Değeri (İ)	Sıcaklık	Yaz ayları ortalaması (°C) 16-17-18-19-20-21-22-23-24-25	1-10
		Yaz ayları ortalaması (°C) 34-33-32-31-30-29-28-27-26-25	1-10
	Yağış	Yaz ayları yağış toplamı (mm) 50-100-150-200-250-300-350-400	8-1
		Güneşlenme	Yaz ayları bulutluluk ortalaması 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-9
	Rüzgârlılık		Yaz ayları ortalama rüzgâr hızı 1 m/sec'den az
			Yaz ayları ortalama rüzgâr hızı 1-3 m/sec arası
Ulaşılabilirlik (U)	Bölgenin Turistik Önemi	Akdeniz, Ege, Marmara, Karadeniz kıyısı	3-4
		Önemli karayolu	2-3
		Turizmde öncelikli yöreler	1-3
	Bölgede En Az 100.000 Nüfuslu Kent Olması	20 km'ye kadar	4-5
		50 km'ye kadar	3-4
		100 km'ye kadar	2-3
		200 km'ye kadar	1-2
	Ulaşılan Zaman (en az 5000 nüfuslu yerleşim biriminden)	Yürüyerek 1 saate kadar	4
		Taşıtla 0-1/2 saat	3
		Taşıtla 1/2-1 saat	2
Taşıtla 1-2 saat		1	
Ulaşım (taksi ve özel oto dışında)	Yürüyerek gidilebilme	3-4	
	Taşıt bulabilme	2-3	

		Belirli saatlerde taşıt bulabilme	1-3
Rekreatif Kolaylık (RK)	Ulaşımında kolaylıklar	Teleferik olması, denizden ulaşabilme vb.	1-3
	Piknik Tesisleri	Piknik masası, ocak vb. (niteliklerine göre)	1-4
	Su Durumu	İçme ve kullanma su olanakları (niteliklerine göre)	1-3
	Geceleme Tesisleri	Sabit geceleme tesisleri	2
		Çadırılı-çadırsız kamp	1-2
	Tuvaletler	Niteliklerine göre	1-2
	Otopark	Niteliklerine göre	1-2
	Gazino, Büfe	Niteliklerine göre	1-2
	Bekçi ve Görevliler	Sürekli bekçi/görevli	2
		Hafta sonlarında görevli	1
Diğer Kolaylıklar	Plaj, spor alanları tesisleri (niteliklerine göre)	1-3	
Olumsuz Etkenler (OSE)	Hava Kirliliği	Kirlilik derecesine göre	-1-(-3)
	Güvenceli Olmaması	Güvence durumuna göre	-1-(-2)
	Su Kirliliği	Deniz, göl ve akarsular için	-1
	Bakımsızlık	Alanda yeterli bakımın yapılmaması	-1
	Gürültü	Trafik, kalabalık vb.	-1
	Diğer Olumsuz	Taş ve çakıl ocakları, inşaat kalıntıları	-1-(-2)
	AÇIK HAVA REKREASYON POTANSİYELİ- RP (%)		

3. Bulgular

Rekreasyon alanlarının büyüklüğü, yüzeysel durum, bitki örtüsünün niteliği, rekreasyon alanı içerisinde su yüzeyinin bulunma durumu, alanların görsel kalite değeri gibi özelliklere göre hesaplanan peyzaj değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Çınarsuyu Tabiat Parkı dışındaki tüm rekreasyon alanlarının büyüklüğü, yöntemde belirtilen 10 ha'ın üzerinde olduğundan hepsine 4 puan verilmiştir. Çınarsuyu Tabiat Parkı'nın büyüklüğü 6.7 ha olduğu için 3 puan, yüzeysel duruma göre yapılan değerlendirmede topoğrafya düz ve düze yakın olduğundan 5 puan verilmiştir. Fazla engebeli olan Yoroz Kent Ormanı 1 puan, "az engebeli" olan Asarkaya Kent Ormanı 2 puan ve Ulugöl Tabiat Parkı "az meyilli" sınıfına girdiğinden 3 puan almıştır. Gülez (1990) yöntemine göre bir rekreasyon alanının bitki örtüsü yönünden değerlendirilmesi ağaçlık, çalılık ve çayırılık katmanlarının bulunma durumuna göre yapılmaktadır. Bu üç katman incelenen alanda bir arada bulunuyorsa, araştırmacı 7 ya da 8 puan verebilmektedir. Örneğin alanda yalnızca çalılık ve çayırılık katmanlarının örnekleri görülüyorsa 3 ya da 4 puan verilmesi yöntemin geliştiricisi tarafından uygun görülmüştür. Bu bağlamda; bitki örtüsünün katmanlılığı açısından zengin olan Yoroz Kent Ormanı ve Ulugöl Tabiat Parkı'na 8 tam puan verilirken çalılık yönünden diğer alanlara göre daha zayıf olan Çınarsuyu Tabiat Parkı'na ise 6 puan verilmiştir. Asarkaya ve Yoroz Kent Ormanı; deniz, göl, akarsu gibi su yapıları barındırmadığından bu kısımda değerlendirme dışı

tutulmuştur. Deniz kıyısında bulunan Çınarsuyu Tabiat Parkı 8 tam puan, Ulugöl Tabiat Parkı'nda göl bulunması nedeniyle de 7 puan verilmiştir.

Asarkaya ve Yoroz Kent Ormanı ile Ulugöl Tabiat Parkı ziyaretçilere panoramik görünümler sunmaktadır. Bu sebeple bu kısımda 4 tam puan verilmiştir. Ancak Çınarsuyu Tabiat Parkı'nın görsel kalitesi diğer alanlara göre daha zayıf olduğu için 3 puan verilmiştir. Gülez yöntemine göre "mağara, çağlayan, tarihsel ve kültürel doku" gibi unsurları içeren diğer özellikler kapsamında, halk arasında çeşitli efsaneleri dolaşan Asarkaya Kent Ormanı 6 puan üzerinden 3 almıştır. Yine Ulugöl Tabiat Parkı'na da doğal ve kültürel bir değer atfedildiğinden 3 puan verilmiştir. Yoroz Kent Ormanı'na, içerisindeki çeşitli büyüklükte kayaların oluşturduğu ilginç oyuklar nedeniyle 2 puan verilmiştir. Ancak Çınarsuyu Tabiat Parkı'nda bu bağlamda puan verilebilecek bir unsur bulunmamaktadır. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda; "Peyzaj Değeri (P)" en yüksek çıkan alan 29 puan ile Ulugöl Tabiat Parkı'dır. Bunu sırasıyla Çınarsuyu Tabiat Parkı (25 puan), Asarkaya Kent Ormanı (20 puan) ve Yoroz Kent Ormanı (19 puan) izlemektedir (Tablo 3).

Rekreasyon aktivitelerinin konforlu bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için belirli iklim şartlarını taşıyor olması gerekmektedir. Turizm ve rekreasyon hareketliliğinin en fazla olduğu yaz aylarındaki ortalama sıcaklık ve yağış değerleri, güneşlenme süresi ve rüzgâr hızı faktörleri esas alınarak bulunan, rekreasyon alanlarının iklim değerleri puan tablosu Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 3. Rekreasyon alanlarının peyzaj değerleri

Formüldeki değer	Özellikler	AKO	YKO	ÇTP	UTP
Peyzaj değeri (P)	Alanın büyüklüğü	4	4	3	4
	Yüzeysel durum	2	1	5	3
	Bitki örtüsü	7	8	6	8
	Deniz, göl, akarsu	0	0	8	7
	Görsel kalite	4	4	3	4
	Diğer özellikler	3	2	0	3
Peyzaj değeri (P)		20	19	25	29

Yoroz Kent Ormanı'na ait iklim değerlendirmesinde esas alınan Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesi İstasyonu verilerine göre yaz ayları sıcaklık ortalaması 25.5 °C'dir (MGM, 2020). Bu yüzden 10 tam puan verilmiştir. Ünye meteoroloji istasyonuna göre yaz ayları sıcaklık ortalaması 24.4 °C düzeyinde olduğu için Asarkaya Kent Ormanı ile Çınarsuyu Tabiat Parkı'na 9 puan, Gököy İstasyonu verilerine göre yaz ayları sıcaklık ortalaması 18.9 °C derece olan Ulugöl Tabiat Parkı'na ise bu kategoride en düşük puan olan 4 puan verilmiştir. Yağış kategorisinde; yaz ayları yağış ortalaması 200 mm düzeyinde olan

Ulugöl Tabiat Parkı 5 puan alırken, diğer üç rekreasyon alanı yaklaşık 250 mm yağış ortalama değeri ile 4 puan almıştır. Dört rekreasyon alanında da yaz ayları bulutluluk ortalaması 6.4 düzeyindedir. Bu yüzden alanların tamamına 2 puan verilmiştir. Yine rüzgâr hızı ortalaması dört alan için de 1-3 m/s olduğundan rüzgârlılık puanı 1 olarak belirlenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda; "İklim Değeri (İ)" en yüksek olarak hesaplanan alan, 17 puan ile Yoroz Kent Ormanı'dır. Bunu sırasıyla Asarkaya Kent Ormanı ile Çınarsuyu Tabiat Parkı (16 puan) ve Ulugöl Tabiat Parkı (12 puan) izlemektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Rekreasyon alanlarının iklim değerleri puan tablosu

Formüldeki değer	Özellikler	AKO	YKO	ÇTP	UTP
İklim değeri (İ)	Sıcaklık	9	10	9	4
	Yağış	4	4	4	5
	Güneşlenme	2	2	2	2
	Rüzgârlılık	1	1	1	1
İklim değeri (İ)		16	17	16	12

Bir alanın rekreasyon potansiyeli, o alana mümkün olan en kısa süre içinde ve sorunsuzca ulaşılabilirdiği ölçüde artmaktadır (Türker vd., 2014). Yöntemde belirtilen kriterlere göre rekreasyon alanlarının hesaplanan ulaşılabilirlik değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Ordu ili coğrafi konumu itibarıyla deniz kıyısında yer aldığından, ildeki tüm rekreasyon alanlarına turistik önem kapsamında 4 tam puan verilmiştir. Asarkaya Kent Ormanı ve Çınarsuyu Tabiat Parkı'ndan en fazla 20 km mesafede, 128.101 nüfuslu (TÜİK, 2020) Ünye İlçe merkezine ulaşılabilir, bu yüzden her iki alana da 5 tam puan verilmiştir. Yoroz Kent Ormanı'ndan en yakın kent merkezi olan Altınordu'ya 20.6 km mesafede ulaşılabilirdiği için puanı 4 olarak belirlenmiştir. Ulugöl Tabiat Parkı'na en yakın 100.000 nüfuslu yerleşim alanı Altınordu ilçesine olan mesafe 82 km olduğundan 2 puan verilmiştir.

Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Asarkaya Kent Ormanı, en az 5.000 nüfuslu yerleşime taşıtla 30 dakika içerisinde ulaşılabilirdiği için bu kategoriden aldıkları puan 3 olmuştur. Ulugöl Tabiat Parkı ve Yoroz Kent Ormanı'ndan en az 5.000 nüfuslu yerleşime ise 30-60 dakika arasında ulaşmaktadır. Bu nedenle iki rekreasyon alanının puanı 2 olarak belirlenmiştir.

Dört rekreasyon alanı içerisinde yalnızca Çınarsuyu Tabiat Parkı'na taksi ve özel otomobil dışında bir toplu ulaşım ile gidilebilmektedir. Ancak toplu ulaşım araç saatlerinin belirli ve düzenli seferleri olmamasından dolayı bu alana 1 puan verilirken, diğer üç rekreasyon alanı bu kategoriden puan alamamıştır. Yine ulaşım kolaylıklar kategorisinde, Çınarsuyu Tabiat Parkı'na istenirse bireysel olarak denizden de ulaşım imkânı bulunduğundan buraya 1 puan verilirken diğer alanlara puan verilmemiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; “Ulaşılabilirlik Değeri (U)” en yüksek olan rekreasyon alanı, 14 puan ile Çınarsuyu Tabiat Parkı olmuştur. Bunu sırasıyla Asarkaya Kent

Ormanı (12 puan), Yoroz Kent Ormanı (10 puan) ve Ulugöl Tabiat Parkı (8 puan) izlemektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Rekreasyon alanlarının ulaşılabilirlik değerleri

Formüldeki değer	Özellikler	AKO	YKO	ÇTP	UTP
Ulaşılabilirlik (U)	Bölgenin turistik önemi	4	4	4	4
	Bölgede en az 100.000 nüfuslu kent olması	5	4	5	2
	Ulaşılan zaman (en az 5.000 nüfuslu yerleşim biriminden)	3	2	3	2
	Ulaşım (taksi ve özel oto dışında)	0	0	1	0
	Ulaşımında kolaylıklar	0	0	1	0
Ulaşılabilirlik (U)		12	10	14	8

Rekreasyon alanlarında, ziyaretçilerin; barınma, yeme-içme ve güvenlik gibi temel ihtiyaçlarını karşılayan olanakların mutlaka sunulması gerekmektedir. Bu olanakların varlığı ve niceliği kadar nitelikleri de önemlidir. Bu bağlamda rekreasyon alanları içerisindeki rekreatif kolaylık sağlayan tesislerin niteliklerine göre yapılan puanlandırma Tablo 6’da görülmektedir.

Güleç yöntemine göre piknik tesisleri niteliği bakımından 1 ile 4 arasında puan verilmelidir (Güleç, 1990). Piknik masalarının yeterliliği ve konumlanışı, ocak-barbekü gibi olanaklar düşünüldüğünde Yoroz Kent Ormanı dışındaki alanlara 3 puan verilmiştir. Ancak Yoroz Kent Ormanı’nda bulunan piknik masalarının yetersiz kalması, az sayıdaki piknik masasının da eski ve yıpranmış durumda olması nedeniyle 1 puan, içme ve kullanma suyu olanakları yönünden diğer üç rekreasyon alanına göre daha zayıf olan Ulugöl Tabiat Parkı’na ise 1 puan verilmiştir. Ziyaretçilerine bungalov ya da kır evi gibi sabit geceleme tesisleri ve çadırılı-çadırsız kamp olanağı sunan Çınarsuyu ve Ulugöl Tabiat Parkı’na 2 tam puan verilmiş ancak Asarkaya ve Yoroz kent ormanlarında böyle bir imkân olmadığından puan verilmemiştir. Tuvaletlerin niteliği ve temizliği yönünden dört rekreasyon alanı içerisinde en başarılısı Ulugöl Tabiat Parkı’na 2 tam puan, diğer üç alana ise 1 puan verilmiştir.

Otoparklar her iki tabiat parkında da nitelikli ve yeterli düzeyde planlanmışken, kent ormanları için bunu söylemek mümkün değildir. Özellikle kullanım yoğunluğunun arttığı dönemlerde bu alanlarda ciddi otopark sorunları ortaya

çıkabilmektedir. Gazino, büfe gibi satış ve hizmet birimleri yönünden Asarkaya Kent Ormanı diğer üç alanın oldukça önündedir. Öyle ki; kent ormanı içerisinde kasap, büfe, semaver ve mangal kiralama birimi gibi çeşitli olanaklar yeterli düzeydedir. Bu sebeple 2 tam puan almıştır. Diğer üç rekreasyon alanında ise bu tip hizmetlerin kalitesinde ve sürekliliğinde problemler yaşanmaktadır. Ayrıca bekçi ve görevliler bulunduğundan Ulugöl ve Çınarsuyu Tabiat Parkı 2 puan alırken, kent ormanlarında görevli bulunmamaktadır. Plaj ve spor alanı gibi diğer olanaklar yönünden ilk sırada Çınarsuyu Tabiat Parkı gelmektedir. Plaj, kamp alanı, mini amfi tiyatro, kamp ateşi yakma alanı ve futbol sahası bulunmaktadır. Asarkaya Kent Ormanı’nda da çeşitli spor sahaları ve mini hayvanat bahçesi bulunmaktadır. Ancak Yoroz Kent Ormanı ve Ulugöl Tabiat Parkı diğer kolaylıklar ve olanaklar yönünden en zayıf alanlar olduklarından 1 puan verilmiştir. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda; “Rekreatif Kolaylık Değeri (RK)” en yüksek çıkan alan, 16 puan ile Çınarsuyu Tabiat Parkı’dır. Bunu sırasıyla Ulugöl Tabiat Parkı (14 puan), Asarkaya Kent Ormanı (11 puan) ve Yoroz Kent Ormanı (7 puan) izlemektedir (Tablo 6).

Rekreasyon alanını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen hava, su ve gürültü kirlilikleri, bakımsızlık, güven hissini zedeleyen unsurlar rekreasyon potansiyelini düşürmektedir. Rekreasyon alanlarının açık hava rekreasyon potansiyelini olumsuz yönde etkileyebilecek faktörler ve dört rekreasyon alanı için yapılan puanlandırma Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 6. Rekreasyon alanlarının rekreatif kolaylık değerleri

Formüldeki değer	Özellikler	AKO	YKO	ÇTP	UTP
Rekreatif kolaylık (RK)	Piknik tesisleri	3	1	3	3
	Su durumu	2	2	2	1
	Geceleme tesisleri	0	0	2	2
	Tuvaletler	1	1	1	2
	Otopark	1	1	2	2
	Gazino, büfe	2	1	1	1
	Bekçi ve görevliler	0	0	2	2
	Diğer kolaylıklar	2	1	3	1
Rekreatif kolaylık (RK)		11	7	16	14

Ulugöl Tabiat Parkı'nda işletmeden yayılan yoğun duman görüşü engellemekte ve mekândaki doğallık algısını bozmaktadır. Bu sebeple alana -1 puan verilmiştir. Diğer üç alanda böyle bir problem bulunmamaktadır. Asarkaya Kent Ormanı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nda herhangi bir güvenlik problemi tespit edilmemiştir. Ancak Çınarsuyu Tabiat Parkı'nda başı boş dolaşan köpekler tabiat parkında güvenlik algısını düşürdüğünden (-1) puan verilmiştir. Yoro Kent Ormanı'nda ise özellikle zirveye çıkan patika yol üzerindeki bozulmuş merdivenler ve zirvedeki çürümüş ahşap seyir platformu, güvenlik algısını oldukça düşürmektedir. Bu sebeple Yoro Kent Ormanı (-2) puan almıştır. Rekreasyon alanlarının tamamında gözle görülür düzeyde bir su kirliliği bulunmamaktadır. Ulugöl Tabiat Parkı'ndaki gölün bir bölümünde su yüzeyinin yeşil bir örtü ile kaplı olması ötrofikasyon ihtimalini akıllara getirse

de yapılan çalışmalar bunun aksini belirtmektedir (Taş vd., 2010; Taş vd., 2018).

Tabiat parklarına girişlerde ücret alınması bu alanlarda yapılacak olan bakım faaliyetleri için önemli bir kaynak oluşturduğundan kent ormanlarına göre daha avantajlı konumdadırlar. Bu avantajlar alanların mevcut bakımlılık durumlarına da yansımaktadır. Asarkaya ve Yoro Kent Ormanlarında yeterli bakım olmadığından (-1) puan verilmiştir. Asarkaya Kent Ormanı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nda insan yoğunluğundan kaynaklı, Çınarsuyu Tabiat Parkı'nda ise otoyoldan kaynaklı gürültü kirliliği bulunmaktadır. Yoro Kent Ormanı'nda ise ziyaretçileri rahatsız edecek düzeyde bir gürültü tespit edilmemiştir. İncelenen rekreasyon alanlarının hiçbirinde inşaat artığı, taş ve çakıl ocağı bulunmadığından bu anlamda diğer olumsuz etmenler kategorisinde puan kaybetmemişlerdir (Tablo 7).

Tablo 7. Rekreasyon alanlarının olumsuz etken değerleri puan tablosu

Formüldeki değer	Özellikler	AKO	YKO	ÇTP	UTP
Olumsuz etkenler (OSE)	Hava kirliliği	0	0	0	-1
	Güvenceli olmaması	0	-2	-1	0
	Su kirliliği	0	0	0	0
	Bakımsızlık	-1	-1	0	0
	Gürültü	-1	0	-1	-1
	Diğer olumsuz etmenler	0	0	0	0
Olumsuz etkenler (OSE)		-2	-3	-2	-2

Rekreasyon potansiyeli yönünden en fazla puan alan rekreasyon alanı %69 ile Çınarsuyu Tabiat Parkı olmuştur. Bunu sırasıyla Ulugöl Tabiat Parkı (%61), Asarkaya Kent Ormanı (%57) ve Yoro Kent Ormanı (%50) takip etmektedir. İncelenen rekreasyon alanlarında koruma kullanma dengesi ve taşıma kapasitesi gözetilerek özellikle Ulaşılabilirlik, Rekreatif kolaylık ve Olumsuz etkenler başlıklarında fiziksel iyileştirmeler

yapılırsa rekreasyon potansiyelleri arttırılabilir (Tablo 8). Gülez yöntemine göre; %46-60 arası rekreasyon potansiyel puanı "orta", %61-75 arası ise "yüksek" olarak kabul edilmektedir. Bu skalaya göre Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyonel potansiyeli "yüksek", Asarkaya Kent Ormanı ve Yoro Kent Ormanının rekreasyon potansiyeli ise "orta" düzeyde bulunmuştur.

Tablo 8. Rekreasyon alanlarının toplam %RP değerleri ve iyileştirmelerin yapılması durumunda alanların ulaşacağı %RP değerleri

Formüldeki değerler	Maksimum puan	AKO	YKO	ÇTP	UTP
<i>Peyzaj değeri (P)</i>	35	20	19	25	29
<i>İklim değeri (İ)</i>	25	16	17	16	12
<i>Ulaşılabilirlik (U)</i>	20	12	10	14	8
<i>Rekreatif kolaylık (RK)</i>	20	11	7	16	14
<i>Olumsuz etkenler (OSE)</i>	0 (min. -10)	-2	-3	-2	-2
%RP (Rekreasyon potansiyeli)	100	57	50	69	61
İyileştirmeler yapılsa; %RP	100	65	62	74	70

Rekreasyon alanının lokasyonundan kaynaklanan iklimsel özellikler, alanda peyzaj değeri taşıyan unsurların dağılımı ve rekreasyon alanının yerleşim merkezlerine olan uzaklığı gibi etkenler üzerinde değişiklik yapmak imkansızdır. Ancak; alan içerisinde sunulan rekreatif olanakların artırılması, toplu taşıma gibi ulaşımında bazı kolaylıkların sağlanması, alanı etkileyen olumsuz faktörlerin bütünüyle ya da kısmen bertaraf edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu tür iyileştirmelerin yapılması, rekreasyon alanlarının potansiyelini artırarak buraları daha cazip hale getirecektir.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada; Ordu ilindeki ikisi kent ormanı ikisi tabiat parkı olmak üzere dört önemli rekreasyon alanının Gülez (1990) tarafından geliştirilen yöntem ile mevcut rekreasyon potansiyelleri ve eksikliklerin giderilmesi durumunda alabilecekleri maksimum puanlar belirlenmiştir. Bu yöntem orman içi alanların rekreasyon potansiyelinin belirlenmesine yönelik geliştirilse de kolay uygulanabilirliği ve pratik kurgusu sayesinde farklı nitelikteki alanlara başarıyla uyarlanabilmiştir. Kıyı şeridi alanları (Korkut ve Şimşek, 2009; Gül ve Yılmaz, 2019), göl ve yakın çevresindeki alanlar (Surat, 2017; Bozkurt, 2019), tabiat parkları (Altunöz vd., 2014; Yeşil ve Hacıoğlu, 2018; Ayhan, 2019; Özçalık ve Kumru, 2019), kent parkları (Bayramoğlu ve Yurdakul, 2019) ve köyler (Çelik vd., 2016) bu alanlardan bazılarıdır.

Ordu ilindeki bazı noktalarda açık hava rekreasyon potansiyelleri Gülez (1990) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin; Ordu ilinin önemli turizm merkezlerinden biri olan Boztepe özelinde yapılan bir çalışmada (Yeşil ve Beyli, 2018); Boztepe'nin rekreasyon potansiyeli %77 olarak bulunmuştur. Aynı yöntem ile rekreasyon potansiyeli belirlenen bir diğer alan ise ilin ve bölgenin önemli arkeolojik merkezlerinden olan Kurul Kalesi'dir (Atabeyoğlu vd., 2017). Bu çalışma kapsamında ise; Ordu

ilindeki dört önemli rekreasyon alanının potansiyel puanları aynı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre; Asarkaya Kent Ormanı'nın rekreasyon potansiyeli %57, Yoroz Kent Ormanı'nın %50, Çınarsuyu Tabiat Parkı'nın %69 ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın %61 olarak bulunmuştur. Gülez (1990) yöntemine göre; bulunan değer %46-60 arası ise rekreasyon potansiyeli "Orta", %61-75 arası ise "Yüksek" olarak tanımlanmıştır. Buna göre; Ulugöl ve Çınarsuyu Tabiat Parkı'nın rekreasyon potansiyeli "Yüksek" olarak kabul edilirken, Yoroz ve Asarkaya Kent Ormanı'nın rekreasyon potansiyeli "Orta" düzeyde çıkmıştır.

Ordu kent merkezi ile Ulubey-Gürgentepe-Gölköy İlçeleri arasındaki güzergâhta yapımı devam eden yol çalışmaları, Ulugöl Tabiat Parkı'na ulaşım süresini uzattığı gibi aynı zamanda yol sathındaki bozukluklar yolcu konforunu azaltmaktadır. Bu çalışmaların tamamlanması durumunda, özellikle kent merkezinden Ulugöl'e ulaşım daha kısa sürede ve konforlu şekilde gerçekleştirilebilecektir. Ulugöl Tabiat Parkı'nda piknik masası, barbekü, çeşme ve tezgâh gibi olanaklar, alanın popüleritesi düşünüldüğünde yetersiz kalmaktadır. Bu olanakların ziyaretçi talepleri ve taşıma kapasitesi düşünülerek tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Tabiat parkı içerisinde yer alan büfe ve restorandaki ürün çeşitliliğinin ve alternatif tesis sayısının artırılması gerekmektedir. Tüm bu iyileştirmelere ek olarak; bisiklet park yeri ve farklı zorluk derecelerinde trekking parkurlarının oluşturulması durumunda, Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyon potansiyeli %61'den %70'e çıkacaktır. Dört rekreasyon alanı içerisinde rekreasyon potansiyeli puanını en fazla arttırabilecek alan Yoroz Kent Ormanı'dır. Buradaki tesis yetersizliği ve bakımsızlık faktörleri, rekreasyon potansiyelini önemli oranda düşürmektedir. Piknik masalarının ve zirveye çıkan patika üzerindeki ahşap merdivenlerin onarılması, zirvede yer alan seyir terasının yenilenerek daha güvenli hale getirilmesi, tuvalet ve çeşme olanaklarının artırılması, restoran ve büfe hizmetinde sürekliliğinin sağlanması

sonucunda %50 olan rekreasyon potansiyeli %62 düzeyine çıkacaktır.

Çınarsuyu Tabiat Parkı'nın rekreasyon potansiyeli %69 çıkmıştır. Tabiat parkının bir ana yolun kenarında bulunmasından kaynaklı olarak çevresel gürültü düzeyinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu olumsuzluk, tabiat parkının ana yol sınırında tesis edilecek perdeleyici sık bitkilendirme ile önenebilir. Ayrıca; ulaşım olanaklarının artırılması, özellikle yaz mevsiminde Ordu kent merkezinden ve Ünye İlçe merkezinden toplu taşıma olanağının sağlanması ile alanın rekreasyonel potansiyeli %74 düzeyine çıkarılabilir. Asarkaya Kent Ormanı, piknik tesisleri ve satış üniteleri yönünden olanakları en fazla olan rekreasyon alanıdır. Ancak; alan içerisinde geceleme tesislerinin bulunmaması, bakım eksiklikleri gibi sebepler ile potansiyeli düşük çıkmaktadır. Bu eksiklikler giderildiği takdirde rekreasyon potansiyeli %65'e çıkacaktır.

Sonuç olarak; Ordu ili doğada gerçekleştirilen rekreasyonel etkinlikler yönünden önemli bir potansiyele sahiptir. Her geçen gün artan kent nüfusunun, ilerleyen yıllarda çok daha fazla rekreasyon alanına ihtiyaç duyacağı göz önünde bulundurularak planlamalar yapılmalıdır. Ziyaretçilerin bir rekreasyon alanından temel beklentileri alanın ulaşılabilir olması, ulaşım araçlarında alternatifler sunulması, kaliteli ve makul fiyatlarda hizmet alınabilmesi, doğal ya da doğala yakın bir ortamın sağlanması ve temizliktir. Bununla birlikte; rekreasyon alanlarındaki aktivite ve hizmetlerin çeşitliliği de ziyaretçiler için son derece önemlidir. Söz konusu ihtiyaç ve beklentilerin ilgili kurum ve kuruluşlarca, doğa koruma ilkeleri gözetilerek karşılanması sağlıklı ve zinde bir toplum için vazgeçilmezdir. Ancak alanlara yönelik yapılacak iyileştirmeler, beraberinde ziyaretçi sayısının artması sonucunu doğuracaktır. Bu açıdan bakıldığında alanların potansiyelini arttırmaya yönelik çalışmalarda mevcut durumun iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğal yapısı ile öne çıkan bu alanların doğal yapısını bozmadan, alanların özelliklerine ve kapasitelerine göre doğa dostu rekreasyonel faaliyetler planlanmalı alanların taşıma kapasitesi aşılmamalı ve doğal yapıları bozulmamalıdır.

Kaynaklar

- Akten, M. (2003). Isparta ilindeki bazı rekreasyon alanlarının mevcut potansiyellerinin belirlenmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 4(2), 115-132. <https://doi.org/10.18182/tjf.74578>
- Akten, S. ve Gül, A., (2014). Korunan doğal alanlarda ziyaretçilerin olası etki düzeyleri önlem ve standartlarının belirlenmesi (Gölcük Tabiat Parkı örneği). *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 130-139. <https://doi.org/10.18182/tjf.25479>
- Altunöz, Ö., Tırıl, A. ve Arslan Ö. E. (2014). Hamsilos Tabiat Parkı'nın rekreasyon potansiyelini belirlemeye yönelik bir araştırma. *Journal of Recreation and Tourism Research*, 1(1), 20-38.
- Anonim (2018). *Ordu ili 2017 Yılı Çevre Durum Raporu*. Ordu Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ordu.
- Anonim (2021a). *Mevzuat Bilgi Sistemi*. (2021, 11 Ocak). Erişim adresi <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2873.pdf>
- Anonim (2021b). *Tabiat Parkları*. (2021, 11 Ocak). Erişim adresi <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Menu/28/Tabiat-Parklari>
- Anonim (2021c). *Resmi İstatistikler*. (2021, 11 Ocak). Erişim adresi <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler>
- Ardahan, F. ve Lapa, T. Y. (2011). Açık alan rekreasyonu: bisiklet kullanıcıları ve yürüyüşçülerin doğa sporu yapma nedenleri ve elde ettikleri faydalar. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 1327-1341.
- Atabeyoğlu, Ö., Beyli, K. N. ve Argan, A. (2017). Karadeniz'in arkeolojik hazinesi Kurul Kalesi rekreasyonel alan potansiyeli, Ordu. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 7(16), 126-140. <https://doi.org/10.16950/iujad.337729>
- Ayhan, Ç. K. (2019). Ayazmapınarı Tabiat Parkı'nın (Bayramiç, Çanakkale) rekreasyonel potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(1), 219-228. <https://doi.org/10.33202/comuagri.569906>
- Balmford, A., Beresford, J., Green, J., Naidoo, R., Walpole, M. and Manica, A. (2009). A global perspective on trends in nature-based tourism. *PLoS Biology*, 7(6), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000144>
- Bayramoğlu, E. ve Yurdakul, N. M. (2019). Trabzon 100.Yıl Parkı peyzaj değerlerinin rekreasyon açısından potansiyelinin saptanması. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 38-46. <https://doi.org/10.24011/barofd.621911>
- Bozkurt, S. G. (2019). Gürün (Sivas) ilçesi Gökpınar Gölü ve çevresinin rekreasyon potansiyelinin

- belirlenmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 29-39.
- Çalık, F., Başer, A., Ekinci, N. M. ve Kara, T. (2013). Tabiat parklarının sportif rekreasyon potansiyeli modellemesi (Ballıkayalar Tabiat Parkı örneği). *Spor Yönetimi ve Bilgi Teknolojileri Dergisi*, 8(2), 35-51.
- Çelik, A., Üzümcü, T. P. ve Çetin, İ. (2016). Bursa ili Gölyazı Köyü'nün açık hava rekreasyon potansiyeli. *International Journal of Social and Economic Sciences*, 6(2), 32-40.
- Çetinkale Demirkan, G., and Sandal Erzurumlu, G. (2020). According to method of Gülez determination of recreational potential of Niğde Atatürk City Forest. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 7(52), 986-995. <http://dx.doi.org/10.26450/jshsr.1847>
- Eröz, S. ve Aslan, E. (2017). Istanca (Yıldız) ormanlarının rekreasyon potansiyelinin Gülez metodu ile değerlendirilmesi. *Kesit Akademi Dergisi*, 9, 83-107.
- Gül, S. ve Yılmaz, A. (2019). Samsun şehri kıyı şeridinin rekreasyon potansiyelinin Gülez'in açık hava rekreasyon potansiyelinin değerlendirilmesi yöntemi ile belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(2), 318-344. <https://doi.org/10.33688/aucbd.567426>
- Gülez, S. (1990). Orman içi rekreasyon potansiyelinin saptanması için geliştirilen bir değerlendirme yöntemi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(2), 132-147. <https://doi.org/10.17099/jffiu.92887>
- Gülez, S. and Demirel Ö. (2004). An evaluation method for the determination of forest recreation potential: A case study. *Countryside Recreation*, 12(3/4), 26-34.
- Gültekin, P. G., Kaya, S. ve Müderrisoğlu, H. (2013). Düzce Üniversitesi akademik personelinin rekreatif tercihlerinin belirlenmesi. *II. Rekreasyon Araştırma Kongresi*. Aydın.
- Jenkins, J. And Pigram, J. (2003). *Encyclopedia of Leisure and Outdoor Recreation*. New York, Routledge.
- Karaküçük, S. (2001). *Rekreasyon-Boş Zamanları Değerlendirme*, 4. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Koç, N. (1991). AÜZF Peyzaj Mimarlığı Bölümü Rekreasyon Ders Notları, Ankara.
- Korkut, D. S. A. ve Şimşek, D. (2009). Kıyı şeridi rekreasyon potansiyelinin belirlenmesinde bir yöntem uygulaması: Tekirdağ merkez ilçe örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(3), 315-327.
- Kurum, E. ve Öztan, Y. (2001). Beynam Muhafaza Ormanı ve yakın çevresinin Ankara kenti rekreasyon sistemi açısından koruma-kullanım ve planlama ilkelerinin saptanması üzerine bir araştırma. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(1), 63-70.
- McClean, D., Hurd, D., Amy R. and Rogers, N. B. (2008). *Kraus' Recreation and Leisure in Modern Society*, Burlington: Jones and Bartlett Publishers.
- MGM (2020). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ORDU>.
- OGM (2021). Mesire Yerleri. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/mesire-yerleri>.
- Özçalık, M. ve Kumru, S. N. (2019). Kapıçam Tabiat Parkı'nın Gülez yöntemine göre rekreasyon potansiyelinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 3(2), 129-141. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.585169>
- Polat, S. ve Polat, S. A. (2016). Rekreasyonel tabiat parklarının korunan alanlar kapsamında incelenmesi: Mersin ili örneği. *Social Sciences*, 11(2), 85-115.
- Sandal, E. K. ve Karademir N. (2013). Kahramanmaraş ilindeki günöbirlik rekreasyon alanlarının potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımı ile ilgili sorunlar. *Türk Coğrafya Dergisi*, 60, 25-36. <https://doi.org/10.17211/tcd.3038>
- Sevil, T., Şimşek, K. Y., Katırcı, H., Çelik, O., Çeliksoy, M. A. ve Kocaekşi, S. (2012). *Boş zaman ve rekreasyon yönetimi*. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını, Eskişehir.
- Surat, H. (2017). Gülez yöntemine göre Deriner Baraj Gölü ve yakın çevresi rekreasyonel potansiyelinin değerlendirilmesi ve alan kullanım önerilerinin geliştirilmesi. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 20(3), 247-257. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.289461>
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U. ve Balta, I. (2008). *Türkiye iklimi*, Turkish State Meteorological Service (DMİ), Ankara.
- Taş, B., Candan, A. Y., Can, Ö. ve Topkara, S. (2010). Ulugöl (Ordu)'ün bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Journal of Fisheries Sciences*, 4(3), 254-263.
- Taş, B., Şahin, H. ve Yarılgaç, T. (2018). Ulugöl'de (Ulugöl Tabiat Parkı, Ordu) hidrofitlerin artışı üzerine bir ön inceleme. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(1), 111-120. <https://doi.org/10.29278/azd.440704>

- Tolunay, A., Alkan, H. ve Korkmaz, M. (2004). Isparta Tarihi Ayazmana Mesireliği'nin açık hava rekreasyonu açısından kullanıcı özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 59-70.
- TÜİK, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu. (2020, 2 Kasım). <http://www.tuik.gov.tr>
- Türker, G. Ö., Türker, A. ve Güzel, Ö. (2014). Turistik ürün çeşitlendirmesi kapsamında Dalyan destinasyonunun rekreasyon potansiyelinin değerlendirilmesi. *International Journal of Sport Culture and Science*, 2(2), 70-86. <https://doi.org/10.14486/IJSCS179>
- Uslu, Ş. ve Ayaşlıgil, T. (2007). Kent ormanlarının rekreasyonel amaçlı kullanımı ve İstanbul ili örneğinde irdelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi*, 2(4), 213- 236.
- Yeşil, M. (2017). Recreational Potential of Çambaşı Plateau of Ordu province. *International Educational Applied Scientific Research Journal*, 2(12), 39-42.
- Yeşil, M. ve Beyli, K. N. (2018). Ordu-Boztepe'nin turizm ve rekreasyon potansiyeli ile Boztepe'nin kent imajına katkısı. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3), 291-298. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i3.291-298.1682>
- Yeşil, P. and Akbaş, H., B. (2015). Determination of recreational potential of Ulugöl Nature Park. Marine Coastal Development Sustainability (MACODESU 2015), Karadeniz Technical University, Turkey.
- Yeşil, P. ve Hacıoğlu, V. (2018). Limni Gölü Tabiat Parkı peyzaj değerlerinin rekreasyonel açıdan değerlendirilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(6), 680-688. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i6.680-688.1568>
- Yılmaz, H, Kardeş, B. and Erdoğan Yüksel, E. (2009). According to the method of Gulez evaluation of the recreational potential of Kafkasör Urban Forest. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(1), 53-61.

Elektrostatik ekstrüzyon tekniği ile kapsüllenmiş bazı aroma maddelerinde sıcaklığın depolama stabilitesi üzerine etkisi

Effect of temperature on storage stability of some flavor compounds encapsulated by electrostatic extrusion technique

Hüseyin KARAKAYA^{1,a}, Murat YILMAZTEKİN^{*1,b}

¹Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.06.2021

Öz

Aroma maddeleri başta sıcaklık olmak üzere çeşitli depolama koşullarından kolaylıkla etkilenebilmektedir. Bu çalışmada, elektrostatik ekstrüzyon tekniği ile üretilen aroma mikrokapsüllerinin depolama sürecindeki termal stabilitelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. 8 kV elektrik potansiyeli altında benzaldehit, izoamil asetat ve mentol yüklü aljinat mikrokapsülleri üretilmiş ve kullanılan aroma oranına (%10-50, a/a) bağlı olarak enkapsülasyon etkinlikleri belirlenmiştir. Serbest ve enkapsüle haldeki aroma maddeleri 90 gün süreyle -18 °C, +4 °C ve +25 °C'de karanlıkta muhafaza edilmiştir. 30 günlük periyotlarla örnekler alınmış ve kalan aroma miktarları gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) kullanılarak belirlenmiştir. Liyofilize mikrokapsüllerin ortalama çaplarının 668.2-846.3 µm arasında değiştiği hesaplanmıştır. Denemesi yapılan tüm aroma maddeleri arasında en yüksek enkapsülasyon etkinliğine %10 aroma maddesi içeren bileşimde ulaşılmıştır; benzaldehit, izoamil asetat ve mentol için enkapsülasyon etkinlikleri sırasıyla %97.2, %98.5 ve %93.4 olarak bulunmuştur. Tüm denemelerde depolama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak alıkonan aroma miktarında azalmalar yaşandığı belirlenmiştir. Ancak enkapsüle aroma maddelerinde gözlenen kayıp serbest hallerine göre oldukça sınırlı kalmıştır. 90 günlük depolama periyodu sonunda en yüksek aroma içeriği -18 °C'de depolanmış enkapsüle aroma maddelerinde tespit edilirken; en fazla kaybın +25 °C'de depolanmış serbest aroma maddelerinde yaşandığı belirlenmiştir. Elektrostatik ekstrüzyon ile enkapsülasyonun başta aroma maddeleri olmak üzere uçucu bileşiklerin depolama stabilitelerinin artırılmasında önemli bir uygulama olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Aroma, Elektrostatik ekstrüzyon, Enkapsülasyon, Stabilite

Abstract

Aroma compounds can be easily affected by various storage conditions, especially temperature. In this study, it was aimed to investigate thermal stability of aroma microcapsules produced by electrostatic extrusion technique during storage process. Benzaldehyde, isoamyl acetate and menthol loaded alginate microcapsules were produced under 8 kV electrical potential and encapsulation efficiencies were determined depending on aroma concentration (10-50%, w/w) used. Free and encapsulated forms of aroma compounds were stored in dark at -18 °C, +4 °C and +25 °C for 90 days. Samples were taken at time intervals of 30 days and remained amounts of the aroma was determined by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). It was measured that mean diameters of lyophilized microcapsules were ranged between 668.2-846.3 µm. While the highest encapsulation efficiency was reached in that formulation containing 10% aroma for all tested substances, the efficiencies were found 97.2%, 98.5% and 93.4% for benzaldehyde, isoamyl acetate and menthol, respectively. In all trials, it was determined that there was a decrease in the amount of aroma retained due to increase in storage temperature. However, the loss observed in the encapsulated aroma compounds was rather limited compared to their free form. In the end of 90 days storage period, the highest aroma content was detected in encapsulated aroma substances stored at -18 °C, while the highest loss was determined on the free forms stored at +25 °C. It is thought that encapsulation by electrostatic extrusion can be an important application in increasing storage stability of volatile substances, particularly aroma compounds.

Keywords: Aroma, Electrostatic extrusion, Encapsulation, Stability

^b Murat YILMAZTEKİN; murat.yilmaztekin@inonu.edu.tr; Tel: (0422) 377 47 84; orcid.org/0000-0002-5667-9169

^a orcid.org/0000-0002-6311-473X

1. Giriş

Aroma, gıdalara sağladığı tat ve koku nedeniyle gıdaların kabul edilebilirliği ve kalitesi üzerine etkili bir faktördür (Byun vd., 2010). Aroma bileşiklerinin pek çoğu sıvı ya da gaz formda bulunduğu gibi bazıları da (mentol ve vanilin) katı halde bulunabilmektedir (Zuidam ve Heinrich, 2010). Üretim, paketlenme veya depolama süreçlerinde aroma bileşenlerinde kayıplar ya da değişimler gözlenebilmektedir (Byun vd., 2010). Özellikle uçucu yağlar oldukça hassas olup; birtakım çevresel etkilere (sıcaklık, ışık, oksijen, nem vb.) maruz kaldıklarında kolaylıkla farklı bir bileşene indirgenmekte veya dönüşmektedir (Da Veiga vd., 2019; Chenni vd., 2020). Enkapsülasyon, aroma maddelerinin korunması, istenmeyen kokuların maskelenmesi, termal ve oksidatif stabilitesinin artırılması, yüksek uçuculuğunun sınırlandırılması, hızlı salınımının kontrol altına alınması, biyoyararlılığının ve gıda sistemlerinde kullanımının artırılması açısından en başarılı yoldur (Saifullah vd., 2019). Mikroenkapsülasyon tanım olarak hedef maddenin bir kabuk materyali merkezine alınarak ince kapsüller halinde kaplanması işlemidir (Hu vd., 2020). Bu sayede aroma maddelerinin daha uzun süreler gıdada alıkonulması, gıdalla aroma maddesi arasında istenmeyen etkileşimlerin önlenmesi ve bileşiğin ışık etkileşimli reaksiyonlardan korunması sağlanabilmektedir (Sun vd., 2013). Ayrıca sıvı formdaki aroma maddeleri enkapsülasyon ile toz forma sokularak endüstrideki kullanım alanı artırılabilir (Garcia vd., 2012). Tüm bunlar için mikroenkapsülasyonda kullanılacak kabuk materyalin merkez içerik ile reaksiyon vermemesi, toksik olmaması, düşük nem absorpsiyonu göstermesi, kaplama özelliği ve akışkanlığının iyi olması gerekmektedir (Zhu vd., 2018).

Enkapsülasyon yöntemleri temelinde mekanik (örn; püskürtmeli kurutma), kimyasal (örn; polikondensasyon, *in situ* polimerizasyon) ve fizikokimyasal (örn; iyonik jelasyon) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Jyothi vd., 2010; Sahlan ve Rahman, 2017). Aroma maddelerinin mekanik enkapsülasyonunda kullanılan en yaygın yöntem püskürtmeli kurutmadır (Sun vd., 2013). Ancak aroma maddeleri düşük kaynama noktalarına sahip olduğundan, uygulanan yüksek sıcaklık buharlaşmaya bağlı işlem kaybını arttırmaktadır (Sun vd., 2013; Renu ve Zehra, 2015). Kimyasal enkapsülasyon işlemlerinde ise asit klorit veya formaldehit gibi bileşiklerden faydalanılarak bir kabuk materyal üretilmekte ve bu kabuk materyal ile hedef bileşen polimerleştirilmektedir (Jyothi

vd., 2010). Bu uygulamalarda kullanılan bileşikler çoğunlukla toksik ve/veya yanıcı nitelikte olduğundan gerek tüketici sağlığı gerekse uygulama açısından risk yaratmaktadır. Çeşitli biyopolimerler arasında kimyasal stabilite, pH duyarlılığı, su ve gazlara karşı güçlü jel bariyer oluşturma yeteneği ve iştah düzenlemedeki biyolojik işlevselliği açısından aljinat eşsiz bir yer tutmaktadır (Volic vd., 2018). Doğal anyonik bir polimer olup düşük maliyetli olması, biyoyuymuluğu ve toksik olmaması gibi nedenlerle biyoteknoloji araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Aljinat, kalsiyum iyonları (Ca^{++}) gibi çok değerli katyonlarla iyonik bağ yapma yeteneğine sahiptir (Benavides vd., 2016). İyonik jelasyonda kaplanmak istenen bileşen aljinat çözeltisi ile karıştırılır ve Ca^{++} iyonu içeren çözeltiye damlatılır. Basit ve hızlı bir yöntem olmasına rağmen polimer çözeltisinin yüzey gerilimi, küçük ve homojen damlacıklar üretilmesini kısıtlayan bir faktördür (Nikoo vd., 2018). Aljinat tabanlı çeşitli enkapsülasyon yöntemlerinde üretilen kapsül boyutları 2000 μm 'ye kadar ulaşabilmektedir. Kapsül boyutlarının çok büyük olması içine katıldığı gıdanın gerek tekstürel gerekse duyuşsal niteliklerini olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle istenilen bir durum değildir (Istemic vd., 2015). Bu nedenle, iyonik jelasyon yöntemi başta elektrostatik ekstrüzyon olmak üzere çeşitli ek uygulamalarla modifiye edilerek kullanılmaktadır. Elektrostatik ekstrüzyon tekniğinde iğne ucu ve altındaki sertleştirme çözeltisi arasına yüksek voltaj uygulanır. Voltaj, iğne ucundaki damla büyümeden (kendi ağırlığıyla düşmesini beklemeden) oluşan damlacığın hemen altında yer alan $CaCl_2$ çözeltisine çekilmesini sağlar (Klokk ve Melvik, 2002). Bu sayede daha küçük ve yeknesak kapsüller üretilmektedir (Manojlovic vd., 2008).

Bu çalışmada elektrostatik ekstrüzyon yöntemi ile enkapsüle edilmiş bazı aroma maddelerinin depolama süresince ısıl stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kapsüllenecek aroma maddeleri olarak farklı fiziksel ve kimyasal yapıları temsilen benzaldehit (25 °C'de sıvı, aldehit), izoamil asetat (25 °C'de sıvı, ester) ve mentol (25 °C'de katı, terpenik alkol) seçilmiştir. Aroma maddeleri yüksek voltaj altında Ca-aljinat ile kaplanmış ve mikroskop altında elde edilen mikrokapsüllerin morfolojileri incelenmiştir. Farklı sıcaklıklarda 90 gün boyunca depolanan mikrokapsüllerin sahip olduğu aroma miktarları GC-MS ile belirlenmiştir. Mikrokapsül içinde tutuklu örnekler ile serbest haldeki aroma örnekleri kıyaslanarak farklı depolama

sıcaklıklarında aroma maddesi miktarındaki zamana bağlı değişim incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

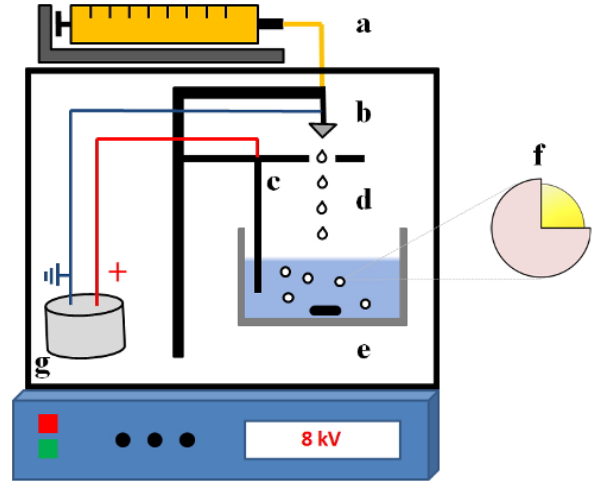
2.1. Materyal

Enkapsülasyon denemelerinde kullanılan benzaldehit (%99.5) Roth, (Almanya) firmasından, izoamil asetat (%99) ve mentol (%99) ise Sigma-Aldrich (MO, ABD) firmasından temin edilmiştir. Tween 80, sodyum aljinat, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%99), sodyum sitrat (%99) ve diklorometan (%99.8) yine Sigma-Aldrich (MO, ABD) firmasından temin edilmiştir.

2.2. Elektrostatik ekstrüzyon ile enkapsülasyon

Kalsiyum aljinat (Ca-aljinat) mikrokapsüllerinin üretimi emülsifikasyon, elektrostatik ekstrüzyon ve jelleşme olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada sodyum aljinat, konsantrasyonu 0.02 g/mL olacak şekilde distile su içerisinde çözündürülmüştür. Sodyum aljinat çözeltisi içerisinde son konsantrasyon %10 olacak şekilde Tween 80 ve %10-50 (a/a) arası değişen oranlarda aroma maddesi ilave edilmiştir. Oda sıcaklığında sıvı formda olan benzaldehit ve izoamil asetat doğrudan; kristal haldeki mentol ise 45 °C eritildikten sonra ilave edilmiştir. Çözelti Ultra-turrax T25 (IKA, Almanya) mekanik karıştırıcıda 10000 d/d hızla 2 dk karıştırılarak stabil emülsiyonlar elde edilmiştir. İkinci aşamada Balanc vd. (2016) tarafından belirtilen yöntemde küçük iyileştirmeler yapılarak aroma maddesi içeren aljinat damlacıkları üretilmiştir. Mikroenkapsülasyon işlemi VAR V1 (Nisco Engineering Inc., İsviçre) elektrostatik ekstrüzyon enkapsülatörü ve bu cihaza entegre Pump 11 (Harvard Apparatus, ABD) enjektör pompası kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). 50 mL'lik enjektör içerisine yerleştirilen emülsiyon 25.2 mL/sa hızla enkapsülatör içerisine pompalanmıştır. Emülsiyon çelik iğne bir uçtan (iç çap 0.40 mm, dış çap 0.70 mm) sürekli karıştırılan 100 mL CaCl_2 çözeltisi (0.015 g/mL) içerisine yeknesak damlatılmıştır. Damlacıkların düşme yüksekliği 4 cm olarak ayarlanmış ve işlem 8 kV'luk sabit elektrostatik potansiyel altında gerçekleştirilmiştir. Toplama kabındaki sertleştirme çözeltisi içerisine 25 mL emülsiyon damlatılana kadar mikroenkapsülasyon işlemi devam ettirilmiştir. Enjektörde kalan kısım serbest aroma analizi için ayrılmıştır. Son olarak jelleşmenin sağlanabilmesi için üretilen boncuklar 60 dk karıştırma olmaksızın CaCl_2 çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. Kabuk kısmı sertleşen

boncuklar filtre kağıdı ile süzölmüş ve distile suyla yıkanmıştır.



Şekil 1. Elektrostatik ekstrüzyon ile enkapsülasyon işleminin şematik gösterimi. a) Enjektör ve pompa sistemi, b) Çelik iğne, c) Elektrot ve orifiz, d) Üretilen damlacıklar, e) Manyetik karıştırıcı sertleştirme (CaCl_2) çözeltisi, f) Aroma yüklü mikrokapsül boncuğu, g) Yüksek voltaj güç kaynağı

Mevcut suyun uzaklaştırılması için elde edilen boncuklar -20 °C'de 24 saat bekletilmiş ve liyofilizatörde (Armfield, İngiltere) -50 °C'de 18 saat dondurarak kurutulmuştur. Her üretimden seçilen 30 adet kuru boncuk XTL-3 400 D mikroskop (Leica, Almanya) altında incelenmiştir. Okülere entegre DC 300 kamera (Leica, Almanya) yardımıyla görüntüler alınmış ve ortalama kapsül boyutları IM 1000 (Leica, Almanya) yazılımı ile ölçülmüştür. Asimetrik boncuklarda yatay ve dikey yönlü uzunlukların ortalaması alınarak ölçüm yapılmıştır (Levic vd., 2015).

2.3. Enkapsülasyon etkinliği ve depolama

Stabilite denemeleri öncesi üretilen mikrokapsüllerin içerdiği aroma miktarları ve buna bağlı olarak enkapsülasyon etkinlikleri belirlenmiştir. Enkapsülasyon etkinliği (EE) aşağıda verilen denklem 1'e göre hesaplanmıştır (Nikoo vd., 2018). Denklemde emülsiyon içerisinde kullanılan başlangıç aroma miktarı M_0 (g) olarak ifade edilirken, mikrokapsüller içerisinde alıkonan aroma miktarı M_1 (g) olarak belirtilmiştir.

$$EE (\%) = \frac{M_1}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

Depolama denemeleri için, daha yüksek enkapsülasyon etkinliği sağlayan aroma konsantrasyonu kullanılarak yeni üretimler

yapılmıştır. Her bir aroma maddesinin hem serbest ve hem de enkapsüle formunu temsil edecek şekilde, vida kapaklı cam deney tüpleri içerisine 10 g örnek tartılmıştır. Örnekler -18 °C, +4 °C ve +25 °C'de 90 gün boyunca karanlıkta muhafaza edilmiştir. Depolama sürecinde her 30 günde bir örnekleme yapılarak kalan aroma miktarındaki değişim periyodik olarak takip edilmiştir.

2.4. Ekstraksiyon ve miktar tayini

Mikrokapsülde tutuklu bulunan aroma miktarının tespiti için öncelikle kapsül içeriğinin salınımı sağlanmıştır. Aroma salınımı, [Gandomi vd. \(2016\)](#) tarafından belirtilen yöntemde küçük iyileştirmeler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bir cam şişe içerisine 0.5 g mikrokapsül tartılmış ve üzerine 40 mL 0.06 M sodyum sitrat çözeltisi eklenmiştir. Karışım oda sıcaklığında 5 dk boyunca sert şekilde karıştırılmış ve sodyum sitrat etkisiyle boncuk yapısının parçalanması sağlanmıştır. Ortama 5 mL diklorometan (%99.8) ilave edilerek serbest kalan aroma maddeleri ekstrakte edilmiştir. 15 dk aralıklı karıştırmadan sonra şişe muhteviyatı ayırma hunisine aktarılmış ve organik fazın ayrılması sağlanmıştır. Ekstraktlar, 0.45 µm'lik enjektör filtresinden geçirilerek amber renkli vialler içerisine alınmıştır.

Miktar tayini Shimadzu QP 2010 Plus Gaz Kromatografisi (Shimadzu, Japonya) ve cihaza entegre MS-QP 2010 kütle spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AOC-20i/20s oto-örnekleyici yardımıyla vialden 1 µL örnek alınmış ve DB-WAX (J&W Scientific, CA, ABD) kaynaşık silika kapiler kolon (60 m×0.25 mm×0.25 µm) içerisine enjekte edilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak %99.99 saflıkta helyum gazı kullanılmış ve akış hızı 1 mL/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Fırın sıcaklığı programlaması 40 °C'de başlayarak 5 dk bekleme, ardından 8 °C/dk artışla 240 °C'ye çıkış ve 240 °C'de 10 dk bekleme şeklinde uygulanmıştır. İyon kaynağı 200 °C'ye; enjeksiyon portu ve transfer hattı sıcaklığı 250 °C'ye ayarlanmıştır. İyonlaşmanın sağlanması için 70 eV enerji uygulanmıştır. Kütle spektrumu 1 tarama/sn tarama hızıyla, 30-450 m/z arası iyonlar için oluşturulmuştur. Miktar tayini için enkapsülasyonda kullanılan yüksek saflıktaki (≥%99) aroma maddeleri standart olarak kullanılmış ve 4 noktalı kalibrasyon grafiğinden yararlanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Benzaldehit, izoamil asetat ve mentole ait kalibrasyon grafiklerinin R² değerleri sırasıyla 0.9986, 0.9967 ve 0.9992 olarak hesaplanmıştır.

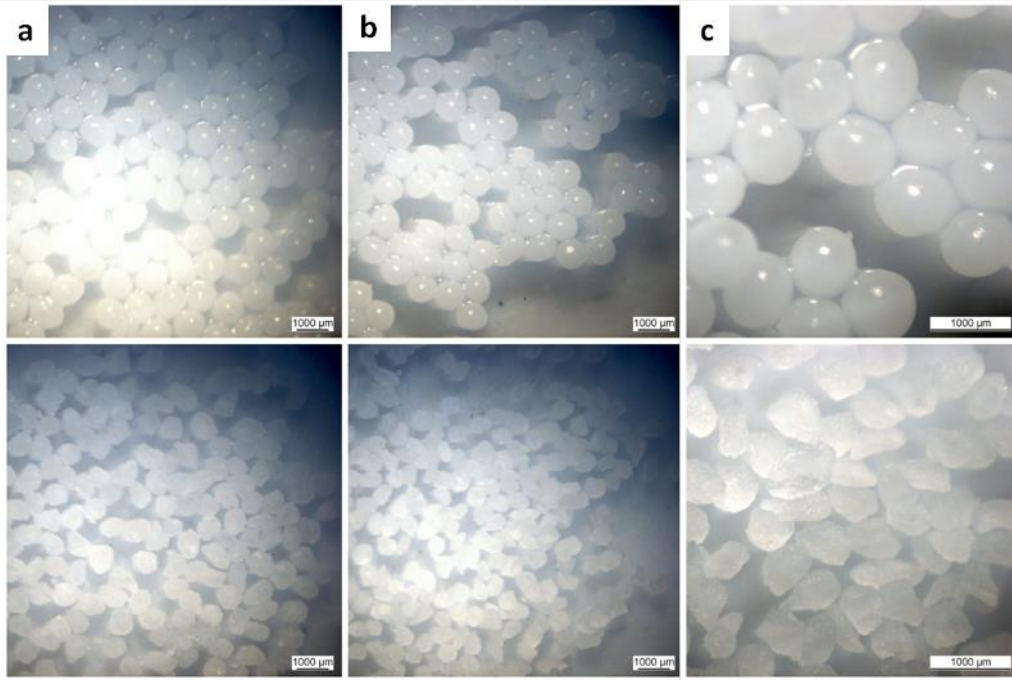
2.5. İstatistiksel analizler

Denemeler üç tekrar halinde gerçekleştirilmiş olup sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Verilerin istatistiksel değerlendirmesi SPSS 16.0 (SPSS Inc., IL, ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar arasındaki farkların önem düzeyi ($p < 0.05$) tek yönlü varyans analizinde Tukey çoklu karşılaştırma testleri ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Kapsül morfolojisi ve enkapsülasyon etkinliği

Mikrokapsüllerin kurutulmasındaki amaç kapsül içeriğindeki suyun uzaklaştırılarak daha dayanıklı bir ürün elde edilmesidir ([Chenni vd., 2020](#)). Mikrokapsüllerin liyofilizasyon öncesi ve sonrası şekilsel ve boyutsal özellikleri mikroskop altında incelenmiştir (Şekil 2). Üretilen boncukların kurutma işlemi sonunda küreselliklerini kaybettiği ve içeriye doğru çökmeler gösterdiği belirlenmiştir. Keza, daha önceki çalışmalarda da kurutmayla birlikte kapsüllerin biçimsiz formlar aldığı ifade edilmiştir ([Levic vd., 2015](#); [Kokina vd., 2019](#); [Gholamian vd., 2021](#)). Merkez içerikte kullanılan aroma maddesinin oda sıcaklığında katı (mentol) veya sıvı (benzaldehit, izoamil asetat) halde olması aljinat kapsüllerinde biçimsel olarak gözlemlenebilir bir fark yaratmamıştır. Mentol (katı), limonen (sıvı) ve bitkisel yağın (orta uzunlukta trigliserid zincirine sahip, sıvı) enkapsüle edildiği bir çalışmada, partikül yapısının merkez materyalin fiziksel durumundan (katı veya sıvı) etkilenmediği gibi yağ tipinin (uçucu veya bitkisel) de partikül şeklinde farklılık oluşturmadığı sonucuna varılmıştır ([Leclercq vd., 2009](#)). Küreselliğin bozulmasına kurutma esnasında kapsül yapısından düzensiz su çıkışının neden olduğu düşünülmektedir. Özellikle su içeriği yüksek boş kapsüllerde kristalize su kapsül yüzeyinde geniş por ve çatlaklar oluşturmakta; hatta kapsülün parçalanmasına sebep olabilmektedir ([Kokina vd., 2019](#)). Aroma maddesi miktarının artırılmasıyla kapsülün su içeriği oransal olarak düşmekte ve buna bağlı yapısal deformasyon da azalmaktadır ([Levic vd., 2013](#)). Buradan hareketle aroma maddelerinin kurutma sırasında kapsül morfolojisini stabilize ettiği ve küreselliğin korunmasına yardımcı olduğu belirtilmektedir ([Levic vd., 2015](#); [Kokina vd., 2019](#)). Ayrıca, [Chan vd. \(2011\)](#) enkapsüle edilmek istenen aktif bileşenin yanında dolgu maddesi olarak nişasta kullanılmasının şekil ve yapı stabilizasyonunun sağlanması açısından faydalı olacağını bildirmişlerdir.



Şekil 2. Yaş (üstte) ve kuru (altta) boncuklar. **a)** Benzaldehit, **b)** İzomil asetat, **c)** Mentol kapsülü

Elektrostatik ekstrüzyon yöntemi uygulanarak 8 kV elektrik potansiyeli altında benzaldehit, izoamil asetat ve mentol yüklü mikrokapsüller üretilmiştir. Yapılan incelemede liyofilize kapsüllerin ortalama çaplarının 668.2-846.3 µm arasında olduğu belirlenmiştir. Tüm denemeler içerisinde en düşük etkinlik değeri %85.7 iken en yüksek %98.5'e ulaşılmıştır (Tablo 1). Emülsiyon içerisindeki

aroma maddesi miktarı arttıkça enkapsülasyon etkinliği düşmektedir. Enkapsülasyon etkinliği açısından, aynı aroma maddesinin farklı konsantrasyonları arasında önemli ($p < 0.05$) düzeyde bir fark olmadığı gibi; farklı aroma maddelerinin aynı konsantrasyonuna ait denemelerde de anlamlı bir fark tespit edilememiştir.

Tablo 1. Benzaldehit, izoamil asetat ve mentolün farklı konsantrasyonlardaki enkapsülasyon etkinlikleri

Aroma maddesi konsantrasyonu (a/a)	Enkapsülasyon etkinliği (%)		
	Benzaldehit	İzoamil asetat	Mentol
% 10	97.2 ± 4.6 ^{a,b}	98.5 ± 3.6 ^a	93.4 ± 2.1 ^{a,b}
% 20	95.2 ± 2.6 ^{a,b}	96.3 ± 2.7 ^{a,b}	92.1 ± 5.2 ^{a,b}
% 30	93.7 ± 4.2 ^{a,b}	95.4 ± 2.8 ^{a,b}	91.4 ± 4.8 ^{a,b}
% 40	90.2 ± 3.3 ^{a,b}	91.6 ± 5.6 ^{a,b}	87.6 ± 3.6 ^{a,b}
% 50	88.4 ± 2.2 ^{a,b}	89.6 ± 4.2 ^{a,b}	85.7 ± 6.1 ^b

Enkapsülasyon etkinliği ile partikül çapı arasında zıt bir korelasyon olduğu bilinmektedir (Belscak-Cvitanovic vd., 2011). Bu açıdan bakıldığında püskürtmeli kurutma daha küçük partikül boyutu sağlanmasıyla dikkatleri çekmektedir. Benzaldehit açısından zengin olan badem uçucu yağı %10 oranında kullanılarak enkapsüle edildiğinde mikrokapsüllerin boyutunun çoğunlukla 1.6-31.1 µm arasında değiştiği; toplam enkapsülasyon etkinliğinin ise %56 olduğu belirlenmiştir (Hoyos-Leyva vd., 2019). Fesleğen uçucu yağının enkapsüle edildiği bir diğer çalışmada ise üretilen kapsüllerin partikül çapları 0.47-4.18 µm; etkinlik değerleri ise %82.3-87.2 arasında bulunmuştur

(Ozdemir vd., 2021). Başka bir çalışmada, tarçın uçucu yağı enkapsüle edilmiş ve %84.2-93.4 arası enkapsülasyon etkinliği sağlanmıştır (Hu vd., 2020). Bu çalışmada üretilen mikrokapsüllerin daha büyük partikül çapına sahip olmasına rağmen yüksek etkinlik değerleri sergilemesinde operasyon koşullarının etkisi olduğu düşünülmektedir. Elektrostatik ekstrüzyon uygulaması oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilirken; kurutma aşamasında ise dondurarak kurutma yöntemi kullanılmıştır. Püskürtmeli kurutmada uygulanan yüksek işlem sıcaklığına bağlı olarak uçucu bileşenlerde kayıp yaşanabilmektedir (Sun vd., 2013). Ayrıca, çok

küçük emülsiyon damlacıkları (<100 µm), partikül oluşumu esnasında kümelenmeyi de arttırmaktadır (Leclercq vd., 2009). Püskürtmeli kurutmada üretilen kapsüllerin çok ince toz formunda olması kapsüllerin sıvı ortamlarda çözündürülmesi veya kontrollü salınım gibi spesifik işlevlerin gerçekleştirilmesinde güçlük yaratabilmektedir (Madene vd., 2006; Sun vd., 2013). Bu nedenle gıda sistemlerinde kullanılması planlanan mikrokapsüllerin ne toz kadar ince olması ne de iri partiküllü olması istenmemektedir. Mentol koaservasyon yöntemiyle enkapsüle edildiği zaman partikül boyutlarının 219-325 µm arasında; enkapsülasyon etkinliğinin ise %90'ın üzerinde olduğu belirtilmektedir (Leclercq vd., 2009). Arzu edilen partikül boyutuna ulaşılmasına rağmen mevcut çalışmaya kıyasla daha düşük enkapsülasyon etkinliği elde edilmesinde kullanılan duvar materyalinin (akasya gamı ve jelatin) etkisi olduğu düşünülmektedir.

Aljinat ve CaCl₂ kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli basit usul iyonik jelasyon çalışmalarında elde edilen kapsül boyutları (450-2440 µm) ve enkapsülasyon etkinlikleri (%49.1-85.4) oldukça geniş aralıklarda değişkenlik göstermiştir (Benavides vd., 2016; Bastos vd., 2020; Paris vd., 2020). Büyük partiküllerin yüzeylerinde genellikle daha fazla çöküntü barındırdığı ve bu çöküntülerin kaplanmak istenen materyal ile dolu olduğu ifade edilmektedir. Büyük partiküllere miktar olarak daha fazla içerik yüklenirken yüzeyde kapsüllenmeden kalan kısım da artmaktadır (Jafari vd., 2007). Bu nedenle iyonik jelasyonda üretilen damlacık yapılarını biçimlendirmeye dayalı farklı ekstrüzyon teknikleri geliştirilmiştir (Saifullah vd., 2019). Çeşitli ekstrüzyon uygulamalarında partikül boyutu genellikle 200-2000 µm arasında değişmektedir (Madene vd., 2006). Elektrostatik ekstrüzyon tekniğinde ise diğer değişkenler sabit tutulup, uygulanan elektrik potansiyeli artırıldığında partikül çapı küçültülebilmektedir (Bugarski vd., 2006). Bu çalışmada basit usul jelasyon uygulamalarına göre daha yüksek etkinlik değerlerine ulaşılmasında uygulanan yüksek voltaja (8 kV) bağlı nispeten daha küçük boncuklar üretilmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Volic vd. (2018) 5 kV elektrik potansiyeli altında aljinat-soya proteini kompleksi içerisinde kekik uçucu yağı enkapsüle etmişlerdir. Farklı duvar materyali bileşimine göre en küçük partikül boyutu 550 µm, en büyük partikül boyutu ise 1880 µm olarak belirlenmiştir. Enkapsülasyon etkinliğinin ise %72-80 arasında olduğu ifade edilmiştir. Levic vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 6.5 kV potansiyel altında *d*-limonen enkapsüle edilmiştir. Partikül çapı 571-811 µm arasında

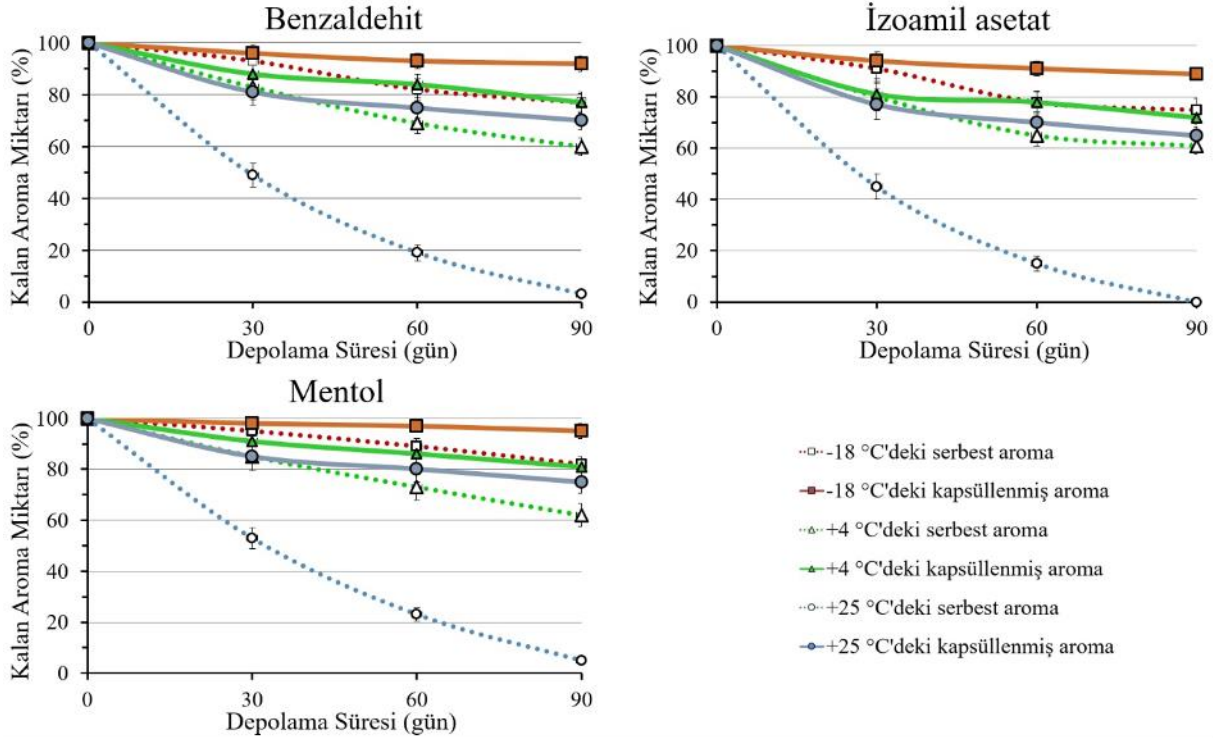
değişirken, enkapsülasyon etkinliğinin %67.1-77.3 arasında olduğu belirtilmiştir. Elektrostatik ekstrüzyonla bazı bitkisel ekstraktların enkapsülasyonuna ilişkin bir diğer çalışmada ise 7.3 kV elektrik potansiyeli uygulanmış ve etkinlik değerleri %80.9-89.4 arasında bulunmuştur (Belscak-Cvitanovic vd., 2011). Yilmaztekin vd. (2019) merkez içerikte nane uçucu yağı kullanarak 8 kV elektrik potansiyeli altında aljinat boncukları üretmişlerdir. %10 ve %20 oranında uçucu yağ kullanılarak üretilen kapsüllerin partikül boyutları sırasıyla 693.5 ve 827.2 µm iken; enkapsülasyon etkinlikleri ise %98.4 ve %96.5 olarak hesaplanmıştır. Özellikle son verilen örnekte, kullanılan nane uçucu yağı (temel aroma bileşeni mentol) sıvı iken mevcut çalışmada kullanılan saf mentol oda sıcaklığında katı haldedir. Ancak partikül boyutu ve enkapsülasyon etkinliği açısından sonuçlar birbiriyle oldukça benzerlik göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, yöntemin başta uçucu yağlar olmak üzere hidrofobik materyallerin enkapsülasyonunda başarıyla kullanıldığına dair literatür verilerini destekler niteliktedir (Levic vd., 2015; Volic vd., 2018; Kokina vd., 2019).

3.2. Depolama stabilitesi

Mikroenkapsülasyon işleminin aroma maddelerinin raf ömrünü arttırdığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Turasan vd., 2013; Fraj vd., 2019; Noghabi ve Molaveisi, 2020). İşlem sadece sıcaklığa karşı değil başta oksidasyon olmak üzere diğer çevresel etkilere karşı da aroma maddelerinin korunmasında oldukça etkili bir uygulamadır (Hu vd., 2020). Depolama stabilitesi kapsülün bileşimi ve fizikokimyasal özellikleri ile çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada aroma maddelerinin depolama stabilitesini belirlemek üzere gündelik yaşantıda sıklıkla kullanılan sıcaklık koşulları denenmiştir. Derin dondurucu (-18 °C), buzdolabı (+4 °C) ve oda koşulları (+25 °C) baz alınarak serbest ve enkapsüle haldeki aroma maddeleri ışıksız ortamda 90 gün süreyle depolanmıştır (Şekil 3). Beklenildiği üzere gerek enkapsüle gerekse serbest aroma maddesi miktarlarında kaçınılmaz olarak azalma meydana gelmiştir. Ancak miktar açısından aynı sıcaklıkta depolanana serbest haldeki aroma maddeleri ile kapsül formları arasında önemli düzeyde ($p < 0.05$) farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ca-aljinat kompleksinin bir bariyer gibi davranarak kapsül içerisinden aroma çıkışına engel olduğu öngörülmektedir. Depolama sıcaklığının alıkonan aroma miktarı üzerine belirgin bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle -18 °C'de depolanana

örneklerde meydana gelen kayıp oldukça sınırlı kalmıştır. Bu sıcaklıkta 90 gün sonunda kapsül yapısında kalan benzaldehit, izoamil asetat ve mentol oranları sırasıyla %92.2 ± 3.2, %89.4 ± 2.5, %94.7 ± 3.1 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda serbest formdaki aroma maddelerinde ise kalan miktarlar sırasıyla %77.4 ± 3.8, %75.3 ± 4.1 ve %81.5 ± 3.1 olarak belirlenmiştir. Özellikle kapsüllenmiş mentolde, depolamanın ilk ve son günü arasında anlamlı ($p < 0.05$) bir kayıp olmadığı sonucuna varılmıştır. Depolama sıcaklığındaki artışın aroma salınımını arttırdığı bilinmektedir (Fraj vd., 2019; Noghabi ve Molaveisi, 2020). Bu nedenle aroma maddelerinin korunmasında mikroenkapsülasyonun etkisi yüksek depolama sıcaklıklarında daha açık görülmektedir. Sıcaklığının 25 °C'ye yükseltilmesiyle tüm zaman

dilimlerinde serbest aroma miktarlarında önemli düzeyde ($p < 0.05$) kayıplar gözlenmiştir. 90 gün sonunda serbest haldeki izoamil asetat örneği ortamda tespit edilemezken; benzaldehitten %3.0 ± 0.2, mentolden ise yalnızca %4.9 ± 0.4 oranında kaldığı belirlenmiştir. Buna karşın 25 °C'de tutulan enkapsüle örnekler oldukça yüksek stabilite göstermiş ve hiçbirinde kalan aroma miktarı %65'in altına düşmemiştir. Depolamada hem serbest hem de kapsül formları için stabilitesi en yüksek aroma maddesi mentol olurken; en fazla kayıp izoamil asetatta yaşanmıştır. Mentolün erime noktası 41-43 °C arasında olup; benzaldehit ve izoamil asetatın farklı olarak oda sıcaklığında katı haldedir (Zhu vd., 2010; Sun vd., 2013). Bileşiğin buhar basıncı arttıkça depolamada meydana gelen kaybın da arttığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Serbest ve enkapsüle aroma maddelerinin (%10, a/a) farklı sıcaklıklardaki depolama stabiliteleri

Kaplanmış materyalin salınım karakteristiği, duvar materyalinin yapısal özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Hu vd., 2020). Noghabi ve Molaveisi (2020) tarçın uçucu yağının depolama stabilitesinde kaplama materyali bileşiminin etkisini incelemek için farklı oranlarda gum Arabik, maltodekstrin ve inülin kullanmışlardır. 4 °C'de 4 hafta depolanan enkapsüle yağın sinnemaldehit içeriğindeki kayıp duvar materyali bileşimine bağlı %30.5-52.3 arasında değişmiştir. Bir başka çalışmada ise duvar materyalinde kullanılan maltodekstrinin yalnızca dekstroz eşdeğer sayısı değiştirilerek polimer yapısının etkisi değerlendirilmiştir. Uygun polimer seçimiyle

15 °C'de 30 gün depolanan enkapsüle biberiye yağının 1,8-sineol içeriğindeki kayıp oranı %15'in altına düşürülmüştür (Turasan vd., 2013). Geçmiş çalışmalardan elde edilen sonuçlar, kaplama materyali çeşit ve bileşiminin salınım üzerine oldukça etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun dışında enkapsülasyonda kullanılan yöntem de kapsül yapısını etkilediğinden stabiliteyi doğrudan ilgilendirmektedir. Fraj vd. (2019) emülsifikasyon ve nano çöktürme yöntemiyle kekik uçucu yağı içeren polikaprolakton mikrokapsülleri üretmiş ve depolama sonunda iki farklı yöntemle kapsüllenen yağların karvakrol içerikleri arasında %30'un üzerinde fark olduğunu

tespit etmişlerdir. Kapsülün alıkoyma özelliğini etkileyen bir başka parametre ise partikül çapıdır. Enkapsülasyon çalışmalarında tekstürel ve duyuşsal açıdan küçük çaplı boncuklar arzu edilirken; aroma salınımının geciktirilmesinde büyük çaplı partiküller avantaj sağlamaktadır (Manojlovic vd., 2008). Büyük partiküller hacmine oranla daha küçük yüzey alanına sahiptir (Baranauskiene vd., 2007). Bu durum boncuk içerisinde alıkonan aroma maddesinin salınım süresini arttırmaktadır (Manojlovic vd., 2008). Özellikle püskürtmeli kurutma uygulamalarında operasyon koşullarına bağlı olarak çok küçük ($\leq 50 \mu\text{m}$) toz partiküller elde edilmektedir (Vicente vd., 2013; Da Veiga vd., 2019). Elektrostatik ekstrüzyon uygulanan bu çalışmada ise püskürtmeli kurutmaya kıyasla daha büyük partiküller üretilmiştir. Aroma maddelerinin yüksek alıkonma oranları göstermesinde buharlaşma yüzey alanının küçük olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Bunun dışında hem ekstrüzyon yöntemi hem de duvar materyali olarak aljinat kullanımı kapsüllere yüksek miktarda aroma maddesi yüklemesine olanak sağlamaktadır. Daha önce belirtildiği üzere aroma konsantrasyonunun arttırılması kapsülün su içeriğini düşürmektedir (Levic vd., 2013). Su içeriği yüksek kapsüllerde su buharı aroma maddelerini de beraberinde sürükleyerek bileşen kaybını arttırmaktadır (Manojlovic vd., 2008). Aljinat polimerleri arasında kalan suyun bir diğer zararı ise dondurarak kurutma esnasında boncuk yüzeyinde por oluşmasına neden olmasıdır (Gholamian vd., 2021). Kapsül yüzeyinde por sayısının az olmasının aroma maddelerinin salınımını geciktirerek kapsüllerin raf ömrünü arttırabileceği belirtilmektedir (Hu vd., 2020). Ekstrüzyonla üretilen kapsüller yüzeylerinde püskürtmeli kurutma ile üretilenlere göre genellikle daha az por içermektedir (Saifullah vd., 2019). Uzun depolama süresine rağmen çalışmada üretilen kapsüllerde aroma alıkonma oranlarının yüksek olmasında belirtilen durumların etkili olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada elektrostatik ekstrüzyon yöntemi kullanılarak farklı konsantrasyonlarda benzaldehit, izoamil asetat ve mentol enkapsüle edilmiştir. 8 kV elektrostatik potansiyel altında ortalama çapları 668.2-846.3 μm arası değişen aroma maddesi yüklü boncuklar üretilmiştir. Elektrik akımı uygulaması basit usul iyonik jelasyon uygulamalarına kıyasla daha küçük çaplı boncuk üretimine olanak sağlamaktadır. Liyofilizasyon sonrası boncuk küreselliğinde deformasyon gözlenmiş olmasına rağmen enkapsülasyon

etkinliklerinin benzer çalışmalara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Emülsiyon içerisinde %50 konsantrasyona kadar aroma maddesi kullanımı enkapsülasyon etkinliğinde anlamlı bir düşüşe neden olmamıştır. Yöntemin yoğun miktarda aroma yüklü kapsül üretimine elverişli olduğu sonucuna varılmıştır. 90 günlük depolama süresi sonunda enkapsüle aroma maddesi miktarındaki düşüş oldukça sınırlıyken; serbest aroma maddelerinde önemli düzeyde kayıp gerçekleştiği tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıkta depolama, kapsül içeriğinin korunması açısından daha etkin sonuç vermektedir. Sonuçlar aroma maddelerinin raf ömrünün uzatılmasında uygulanan mikroenkapsülasyon işleminin oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Gerek etkinlik gerekse depolama stabilitesi dikkate alındığında aroma maddelerinin enkapsülasyonunda elektrostatik ekstrüzyon yönteminin önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Sonraki çalışmalarda bu yöntemle üretilen aroma kapsüllerinin farklı gıda sistemleri içerisinde denenerek; çözünürlük, stabilite ve salınım özelliklerinin incelenmesi gerektiği tavsiye edilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmayı, 2016/07 (Güd.) proje numarası ile maddi olarak destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Balanc, B., Kalusevic, A., Drvenica, I., Coelho, M. T., Djordjevic, V., Alves, V. D., Sousa, I., Moldao-Martins, M., Rakic, V., Nedovic, V. and Bugarski, B. (2016). Calcium-alginate-inulin microbeads as carriers for aqueous carqueja extract. *Journal of Food Science*, 81(1), E65-E75. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13167>
- Baranauskiene, R., Bylaite, E., Zukauskaite, J. and Venskutonis R.P. (2007). Flavor retention of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil spray-dried in modified starches during encapsulation and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 3027-3036. <https://doi.org/10.1021/jf062508c>
- Bastos, L. P. H., Vicente, J., dos Santos C. H. C., de Carvalho, M. G. and Garcia-Rojas, E. E. (2020). Encapsulation of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil with gelatin and sodium alginate by complex coacervation. *Food Hydrocolloids*, 102, 105605. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105605>

- Belscak-Cvitanovic, A., Stojanovic, R., Manojlovic, V., Komes, D., Cindric, I. J., Nedovic, V. and Bugarski, B. (2011). Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate-chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. *Food Research International*, *44*, 1094-1101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.030>
- Benavides, S., Cortes, P., Parada, J. and Franco, W. (2016). Development of alginate microspheres containing thyme essential oil using ionic gelation. *Food Chemistry*, *204*, 77-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.104>
- Bugarski, B., Obradovic, B., Nedovic, V. and Goosen, M. F. A. (2006). Electrostatic droplet generation technique for cell immobilization. J. P. Shu and A. Spasic (Eds.), *Finely Dispersed Systems* (s. 869-886). Boca Raton FL: CRC Press.
- Byun, Y., Kim, Y. T., Desai, K. G. H. and Park, H. J. (2010). Microencapsulation techniques for food flavour. A. Herrmann (Ed.), *The Chemistry and Biology of Volatiles* (s. 307-332). UK; West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470669532>
- Chan, E. S., Wong, S. L., Lee, P. P., Lee, J. S., Ti, T. B., Zhang, Z., Poncelet, D., Ravindra, P., Phan, S. H. and Yim, Z. H. (2011). Effects of starch filler on the physical properties of lyophilized calcium-alginate beads and the viability of encapsulated cells. *Carbohydrate Polymers*, *83*(1), 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.044>
- Chenni, M., El Abed, D., Neggaz, S., Rakotomanomana, N., Fernandez, X. and Chemat, F. (2020). Solvent free microwave extraction followed by encapsulation of *O. basilicum* L. essential oil for insecticide purpose. *Journal of Stored Products Research*, *86*, 101575. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101575>
- Da Veiga, R. D. S., Da Silva-Buzanello, R. A., Corso, M. P. and Canan, C. (2019). Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. *Journal of Essential Oil Research*, *31*(6), 457-473. <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1612788>
- Fraj, A., Jaafar, F., Marti, M., Coderch, L. and Ladhari, N. (2019). A comparative study of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil-based polycaprolactone nanocapsules/ microspheres: Preparation, physicochemical characterization, and storage stability. *Industrial Crops & Products*, *140*, 111669. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111669>
- Gandomi, H., Abbaszadeh, S., Misaghi, A., Bokaie, S. and Noori, N. (2016). Effect of chitosan-alginate encapsulation with inulin on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG during apple juice storage and under simulated gastrointestinal conditions. *LWT - Food Science and Technology*, *69*, 365-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.064>
- Garcia, L. C., Tonon, R. V. and Hubinger, M. D. (2012). Effect of homogenization pressure and oil load on the emulsion properties and the oil retention of microencapsulated basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.). *Drying Technology*, *30*, 1413-1421. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.685998>
- Gholamian, S., Nourani, M. and Bakhshi, N. (2021). Formation and characterization of calcium alginate hydrogel beads filled with cumin seeds essential oil. *Food Chemistry*, *338*, 128143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128143>
- Hoyos-Leyva, J. D., Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, J. E., Alvarez-Ramirez, J. and Jaramillo-Echeverry, L. M. (2019). Characterization of spray drying microencapsulation of almond oil into taro starch spherical aggregates. *LWT - Food Science and Technology*, *101*, 526-533. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.079>
- Hu, Q., Li, X., Chen, F., Wan, R., Yu, C. W., Li, J., McClements, D. J. and Deng, Z. (2020). Microencapsulation of an essential oil (cinnamon oil) by spray drying: effects of wall materials and storage conditions on microcapsule properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*, e14805. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14805>
- Istemic, K., Balanc, B. D., Djordjevic, V. B., Bele, M., Nedovic, V. A., Bugarski, B. M. and Ulrih, N. P. (2015). Encapsulation of resveratrol into Calcium alginate submicron particles. *Journal of Food Engineering*, *167*, 196-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.007>
- Jafari, S. M., He, Y. and Bhandari, B. (2007). Role of powder particle size on the encapsulation efficiency of oils during spray drying. *Drying Technology*, *25*, 1091-1099. <https://doi.org/10.1080/07373930701397343>
- Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S. and Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*, *27*(3), 187-197. <https://doi.org/10.3109/02652040903131301>
- Klokk, T. I. and Melvik, J. E. (2002). Controlling the size of alginate gel beads by use of a high electrostatic potential. *Journal of Microencapsulation*, *19*(4), 415-424. <https://doi.org/10.1080/02652040210144234>

- Kokina, M., Salevic, A., Kalusevic, A., Levic, S., Pantic, M., Pljevljakusic, D., Savikin, K., Shamtsyan, M., Niksic, M. and Nedovic, M. (2019). Characterization, antioxidant and antibacterial activity of essential oils and their encapsulation into biodegradable material followed by freeze drying. *Food Technology & Biotechnology*, 57(2), 282-289. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.02.19.5957>
- Leclercq, S., Harlander, K. R. and Reineccius, G. A. (2009). Formation and characterization of microcapsules by complex coacervation with liquid or solid aroma cores. *Flavour and Fragrance Journal*, 24, 17-24. <https://doi.org/10.1002/ffj.1911>
- Levic, S., Djordjevic, V., Rajic, N., Milivojevic, M., Bugarski, B., Nedovic, V. (2013). Entrapment of ethyl vanillin in calcium alginate and calcium alginate/poly(vinyl alcohol) beads. *Chemical Papers*, 67(2), 221-228. <https://doi.org/10.2478/s11696-012-0260-1>
- Levic, S., Lijakovic, I. P., Djordjevic, V., Rac, V., Rakić, V., Knudsen, T. S., Pavlovic, V., Bugarski, B. and Nedovic, V. (2015). Characterization of sodium alginate/D-limonene emulsions and respective calcium alginate/D-limonene beads produced by electrostatic extrusion. *Food Hydrocolloids*, 45, 111-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.001>
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1-21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Manojlovic, V., Rajic, N., Djonlagic, J., Obradovic, B., Nedovic, V. and Bugarski, B. (2008). Application of electrostatic extrusion - flavour encapsulation and controlled release. *Sensors*, 8, 1488-1496. <https://doi.org/10.3390/s8031488>
- Nikoo, A. M., Kadkhodae, R., Ghorani, B., Razaq, H. and Tucker, N. (2018). Electrospray-assisted encapsulation of caffeine in alginate microhydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.167>
- Noghabi, M.S. and Molaveisi, M. (2020). The effect of wall formulation on storage stability and physicochemical properties of cinnamon essential oil microencapsulated by spray drying. *Chemical Papers*, 74, 3455-3465. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01171-9>
- Ozdemir, N., Bayrak, A., Tat, B., Altay, F., Kiralan, M. and Kurt, A. (2021). Microencapsulation of basil essential oil: utilization of gum arabic/whey protein isolate/maltodextrin combinations for encapsulation efficiency and in vitro release. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1865-1876. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00771-z>
- Paris, M. J., Ramirez-Corona, N., Palou, E. and Lopez-Malo, A. (2020). Modelling release mechanisms of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) essential oil encapsulated in alginate beads during vapor-phase application. *Journal of Food Engineering*, 282, 110024. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110024>
- Renu, R. and Zehra, F. (2015). Microencapsulation of flavours. *International Journal of Basic and Applied Biology*, 2 (5), 333-338.
- Sahlan, M. and Rahman, M. R. (2017). Optimization of microencapsulation composition of menthol, vanillin, and benzyl acetate inside polyvinyl alcohol with coacervation method for application in perfumery. *2016 2nd Materials Research Society of Indonesia Meeting (MRS)*, 214, 012005. Bandung: IOP. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/214/1/012005>
- Saifullah, M., Shishir, M. R. I., Ferdowsi, R., Rahman, M. R. T. and Vuong, Q. V. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: a critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 230-251. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.030>
- Sun, P., Zeng, M., He, Z., Qin, F. and Chen, J. (2013). Controlled release of fluidized bed-coated menthol powder with a gelatin coating. *Drying Technology*, 31,13-14, 1619-1626. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.798331>
- Turasan, H., Sahin, S. and Sumnu, G. (2015). Encapsulation of rosemary essential oil. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 112-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.036>
- Vicente, J., Pinto, J., Menezes, J. and Gaspar, F. (2013). Fundamental analysis of particle formation in spray drying. *Powder Technology*, 247, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2013.06.038>
- Volic, M., Lijakovic, I. P., Djordjevic, V., Jugovic, Z.K., Pecinar, I., Dajic, Z. S., Veljovic, D., Hadnadjev, M. and Bugarski, B. (2018). Alginate/soy protein system for essential oil encapsulation with intestinal delivery. *Carbohydrate Polymers*, 200, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.033>
- Yilmaztekin, M., Levic, S., Kalusevic, A., Cam, M., Bugarski, B., Rakic, V., Pavlovic, V. and Nedovic, V. (2019). Characterisation of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil encapsulates. *Journal of Microencapsulation*,

36(2), 109-119.
<https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1607596>

Zhu, L., Lan, H., He, B., Hong, W. and Li, J. (2010). Encapsulation of menthol in beeswax by a supercritical fluid technique. *International Journal of Chemical Engineering*, 608680. <https://doi.org/10.1155/2010/608680>

Zhu, H., Zhang, Y., Tian, J. and Chu, Z. (2018). Effect of a new shell material-Jackfruit seed starch on

novel flavor microcapsules containing vanilla oil. *Industrial Crops & Products*, 112, 47-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.060>

Zuidam N. J. and Heinrich E. (2010). Encapsulation of aroma. N. J. Zuidam and V. Nedovic (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (s. 127-160). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0_5

Investigation comparatively of different external central steel braced frame behaviours with ductility level high and limited

Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı farklı dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve davranışlarının karşılaştırmalı incelenmesi

Şenol GÜRİSOY^{*1,a}, Ayşegül YILMAZ^{2,b}

¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 78050, Karabük

²Karabük University, Graduate Education Institute, Department of Civil Engineering, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 18.04.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 07.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 17.06.2021

Abstract

In steel structures to prevent horizontal displacement and deformations due to loads such as especially earthquake and wind are used various types of diagonal element. This matter reveals the importance of selection the right steel structural system suitable for the purpose. On the other hand, steel structures according to the Turkey Earthquake Building Regulation must be ductile to consume the earthquake energy. The objective of this study when this is the case are investigated comparatively the behaviours of steel structures with different external central steel braced the ductility level high and ductility level limited according to Turkey Earthquake Building Regulations. The findings obtained from the structural analyses carried out with the Sta-Steel program reveal that different external central steel braced structure models with ductility level high behave better than structural models with ductility level limited and different external central braces that increase the structure lateral stiffness increase the performance of the said structure. Also, the base shear force values of the ductility level limited external central steel braced structure models are larger than the ductility level high and external central steel braced structure models. It shows that these obtained findings in terms of the steel structures safety to be constructed in Turkey it would be more rational to prefer the steel structural systems with ductility level high steel brace members.

Keywords: Ductility level, External central steel braced frames, Sta-Steel, Steel structures

Öz

Çelik yapılarda özellikle deprem ve rüzgâr gibi yükler nedeniyle yatay yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri engellemek için çeşitli diyagonal elemanlar tipleri kullanılmaktadır. Bu husus amaca uygun doğru çelik taşıyıcı sistem seçiminin önemi ortaya koymaktadır. Diğer taraftan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre çelik yapıların deprem enerjisini tüketebilmeleri için sünek olmaları gerekmektedir. Durum böyle olunca bu çalışmanın amacı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı farklı dış merkezi çelik çaprazlara sahip çelik yapıların davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelemektir. Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen bulgular, süneklik düzeyi yüksek farklı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin süneklik düzeyi sınırlı yapı modellerinden daha iyi davrandığını ve yapı yanal rijitliği artıran farklı dış merkezi çaprazların söz konusu yapının performansını arttırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca süneklik seviyesi sınırlı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti değerleri, süneklik seviyesi yüksek ve dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Elde edilen bu bulgular Türkiye'de inşa edilecek çelik yapıların emniyeti bakımından süneklik düzeyi yüksek çelik çapraz elemanlara sahip çelik taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesinin daha rasyonel olacağını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Süneklik düzeyi, Dış merkezi çelik çaprazlı çerçeveler, Sta-Steel, Çelik yapılar

*a Şenol GÜRİSOY; sgursoy@karabuk.edu.tr; Tel: (0370) 418 70 60; orcid.org/0000-0001-8133-0906

^b orcid.org/0000-0002-1126-0743

1. Introduction

Structural systems in steel structures are formed by combining columns and beams, if any, diagonal elements to each other in various ways. Loads affecting a steel structure are also met by these frame systems. On the other hand, different diagonal elements are used to strengthen the steel frame systems formed by combining columns and beams against horizontal load effects such as especially earthquakes. Because in steel frames, the displacements of diagonal elements between storeys decrease and the lateral rigidity of the said structure increases (Gönen, 1997; Ay vd., 2010; Ay and Çelik, 2012; Özçelik, 2016; Yelgin ve Bulut, 2016; Akgönen, 2017; Çavdar, 2017; Arıbaş vd., 2019; Bayram vd., 2019; Çavdar, 2019). In addition, diagonal elements contribute to the energy damping and load distribution of the said structure. In summary, diagonal elements contribute positively to the reduction of damage to steel structures, especially from earthquakes, thus improving their behaviour.

Steel structural elements in Turkey are expected to show adequate performance against horizontal loads. Today, the strength of steel structural systems against earthquakes and their energy damping can be provided by designs to be carried out in accordance with the design conditions specified in the regulations. The concept of capacity for dimension a steel structure is used. In other words, steel structures are sized according to the capacities of the parts that ductile. In a steel structure under the effect of horizontal loads, the said loads can be met with different frame types such as moment-transmitting steel frames, central steel braced frames and external central steel braced frames.

The main purpose of this article is to examine comparatively the effects on the behaviour of the said structure of different external central steel cross types, which are widely used to increase the resistance against earthquakes of steel structures of Ductility Level High (DLH) and Ductility Level Limited (DLL). Thus, it is aimed to better understand the effect of the structure ductility level on the structure behaviour. For this purpose, DLH

and DLL steel structure models with different external central steel braced types are created and structural analyses of these models is made with the Sta-Steel program (Sta-Steel, 2019). Results are presented by comparing the findings obtained from the structural analyses with each other.

2. Design principles of steel structure according to Turkish building earthquake regulations

Structural systems of steel structures according to the horizontal loads in the Turkey Building Earthquake Code (TBEC) in terms of seismic behaviour, ductility level high, ductility level limited and ductility level hybrid is divided into three classes, including systems (TBEC, 2019). The structural system behaviour (ductility) coefficient (R) and strength excess coefficient (D) and the permissible building height classes (BYS) to be used in the design of the said systems according to earthquakes are given in Table 1.

In TBEC, approaches aiming to design steel structures as resistant all predicted load effects, including earthquakes, are divided into two as the application of *design with safety coefficients (GKT)* and *design with load-resistance coefficients (YDKT)* methods. According to this regulation, steel structural systems are required to have sufficient ductility, to be able to make nonlinear deformation, and to avoid brittle collapse mechanisms in the structural elements and / or the structural system during plastic deformation. In the aforementioned regulation, the regions of the structural systems carrying high ductility level horizontal loads whose capacity is preserved; The plastic hinge regions in moment-transmitting frames consist of the transverse beams of the external central braced frames and the end and middle combinations of the cross members of the central braced frames (see Figure 1).

Steel structure elements designed as DLH and DLL in TBEC must be designed in such a way that the cross-section head width / thickness, body height / thickness and diameter / wall thickness ratios do not exceed the limit values given in the TBEC (see Table 2).

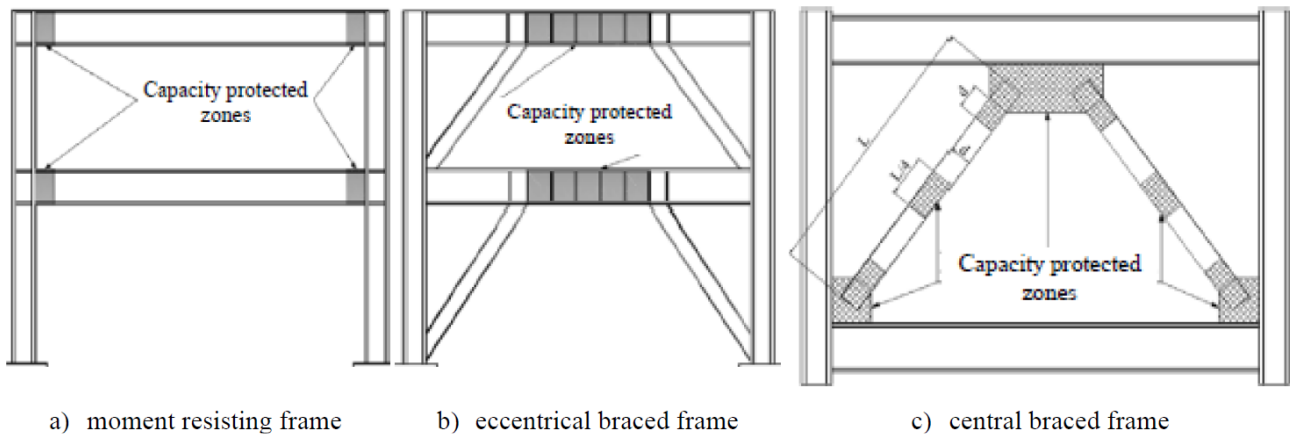

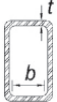
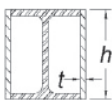
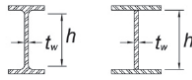
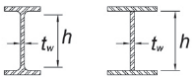
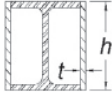
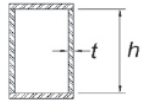
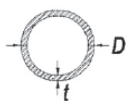
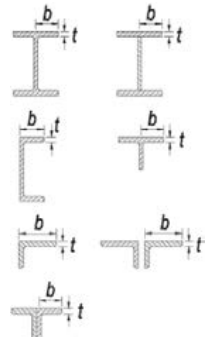




Figure 1. Capacity protected zones of different steel frame types (TBEC, 2019).

Table 1. Permissible building height classes, bearing system behaviour and strength excess coefficients of steel structure structural systems according to TBEC (TBEC, 2019)

Steel Building Structural Systems	R	D	BYS
Structural systems of high ductility level			
1) Buildings where all earthquake effects are carried with moment-transmitting steel frames	8	3	BYS \geq 3
2) Buildings where all earthquake effects are met by external central or anti-buckling central braced steel frames	8	2.5	BYS \geq 2
3) Buildings where all earthquake effects are met by central steel braced frames	5	2	BYS \geq 4
4) Buildings where the effects of earthquakes are met by moment-transferring steel frames, external central with a high level of ductility, or centrally braced steel frames that are prevented from buckling, or reinforced concrete walls with tie beams (hollow)	8	3	BYS \geq 2
5) Buildings where the effects of earthquakes are met by moment-transferring steel frames and centrally braced steel frames with high ductility level or hollow-free reinforced concrete walls	6	2.5	BYS \geq 2
6) Single storey buildings where all earthquake effects are met by steel columns with hinged connections at the roof level and not exceeding 12 m	4	4	-
Ductility level mixed (hybrid) systems			
1) Buildings where the effects of earthquakes are met by moment-transferring steel frames with ductility level limited, external central with a ductility level high, or centrally braced steel frames that are prevented from buckling, or reinforced concrete walls with tie beams with ductility level high	6	2.5	BYS \geq 4
2) Buildings where the effects of earthquakes are met by moment-transferring steel frames with limited ductility level and central braced steel frames with high ductility level or hollow-free reinforced concrete walls with high ductility level	5	2	BYS \geq 4
Ductility level hybrid structural systems			
1) Buildings where all earthquake effects are met by moment-transferring steel frames	4	2.5	BYS \geq 7
2) Buildings where all earthquake effects are met by central braced steel frames	3	2	BYS = 8
3) Buildings where the effects of earthquakes are met together by moment-transferring steel frames and central braced steel frames	4	2	BYS \geq 7

Table 2. Cross-section conditions of steel construction elements according to TBEC (TBEC, 2019)

Element Type	Element Description	Slenderness Rate	Maximum Allowable Limit Values		Cross-Section Shape
			DLH steel building elements, λ_{hd}	DLL steel building elements, λ_{md}	
Rigidized elements	Rectangular box cross sections	b/t		$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Heads of sections formed in the form of made rectangular box and box from the I profile	b/t	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	Side plates of box-shaped sections from I section and made box sections to be used as cross members	h/t			
	Bodies of I or made I sections to be used as cross members	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Bodies of I or made I sections to be used as beams or columns	h/t_w	$C_a \leq 0.125$ ise $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$	$C_a \leq 0.125$ ise $3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75 C_a)$	
Non-rigidized elements	Side plates of the cross sections formed in the form of boxes from the I profile to be used as beam or column	h/t	$C_a > 0.125$ ise $0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$C_a > 0.125$ ise $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Bodies of made box cross-sections to be used as beams or columns	h/t	$C_a = \frac{\Omega_c \cdot P_a}{F_y \cdot A}$ (GKT $\rightarrow \Omega_c = 1.67$)	ve $C_a = \frac{P_u}{\phi_c \cdot (F_y \cdot A)}$ (YDKT $\rightarrow \phi_c = 0.9$)	
	Pipe cross-section elements	D/t	$0.038 \frac{E}{F_y}$	$0.044 \frac{E}{F_y}$ The limit value of the cross-section condition in pipe profiles used as beams or columns can be taken as $0.07E / F_y$.	
Composite elements	Heads of I or made I sections, U or T sections, arms of the split double L profile or arms of continuously joined double L profiles	b/t	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Composite elements	wall of box cross-section composite elements	b/t	$1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Wall of composite elements with pipe cross section	D/t	$0.076 \frac{E}{F_y}$	$0.015 \frac{E}{F_y}$	

2.1. Design principles of external central steel braced frames according to TBEC

External central steel braced frame systems; it can be designed as diagonal external braced, V external braced and Λ external braced systems (see Figure 2). According to TBEC, the head width / thickness,

body height / thickness and diameter / thickness ratios in columns, beams and braced members of the said frames should not exceed the λ_{hd} limit values given in Table 2. The design principles concerning dimensioning the external central steel braced frames are summarized below.

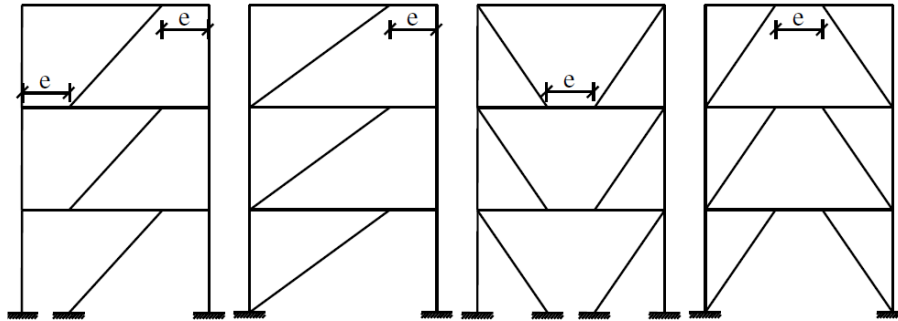


Figure 2. External central steel braced systems (TBEC, 2019).

According to TBDY, bond (tie) beams must meet the following conditions. According to this,

- 1) In DLH external central steel braced frames, at least one of the cross members must have tie beam at the end and tie beams must be dimensioned according to the calculated internal forces (bending moment, axial force and shear force), taking into account the load combinations including earthquake effects.
- 2) The shear force design strength of the tie beam, as stated in equation (1), the smaller of the yield limit states under the effect of the shear force in

the body and the bending moment of the section should be taken as the shear force strength. It should be noted here that for both boundary cases it will be taken as V_n / Ω_v (GKT için $\Omega_v = 1.67$) or $\phi_v \cdot V_n$ (YDKT için $\phi_v = 0.90$).

$$V_n = \min (V_p; 2M_p / e) \tag{1}$$

The following expressions will be used for the V_p and M_p expressions in this formula.

$$\frac{P_r}{P_y} \leq 0.15 \text{ for } V_p = 0.6 * F_y * A_w \text{ and } M_p = F_y * W_p \tag{2}$$

$$\frac{P_r}{P_y} > 0.15 \text{ for } V_p = 0.6 * F_y * A_w * \sqrt{1 - \left(\frac{P_r}{P_y}\right)^2} \text{ and } M_p = F_y * W_p * \left(\frac{1 - (P_r / P_y)}{0.85}\right) \tag{3}$$

- 3) The body plate of the tie beams should be one piece and there should not be reinforcement plates in the plane of the body. In addition, it is not allowed to make a gap in the body plate.
- 4) The tie beams should be of broad headed rolling mill I profile or made I cross-section. In the case of using tie beam with made cross-section, head and body plate joints should be provided with full penetration butt welding.
- 5) Depending on the relative story drift (Δ_i) of i . story located the bond beam,

$$\theta_p = \frac{R \cdot \Delta_i}{I \cdot h_i} \tag{4}$$

Due to angle of the relative storey drift found by Eq. (4), The bond beam rotation angle (γ_p) formed between the bond beam and the story beam on the extension of this beam should not exceed the following limit values (see Figure 3).

- 6) 0.08 radians if the bond beam length is less than or equal to $1.6M_p / V_p$

7) 0.02 radians if the bond beam length is greater than or equal to $2.6M_p / V_p$

In the equations given above, $A_w(d \cdot t_w)$ shows the body area calculated with the entire cross-section height, e shows the eccentricity in truss joints, F_y shows the characteristic yield stress of the structural steel, I shows the structural importance coefficient, P_r shows the required axial force

strength, P_y shows the axial force strength at the yield limit state, R shows bearing system behaviour coefficient, R_y shows the ratio of the material's possible yield stress to the characteristic yield stress, and W_p shows the plastic strength moment relative to the bending axis. It should also be stated that if the length of the tie beam is between these two limit values, it would be appropriate to make a linear proportioning.

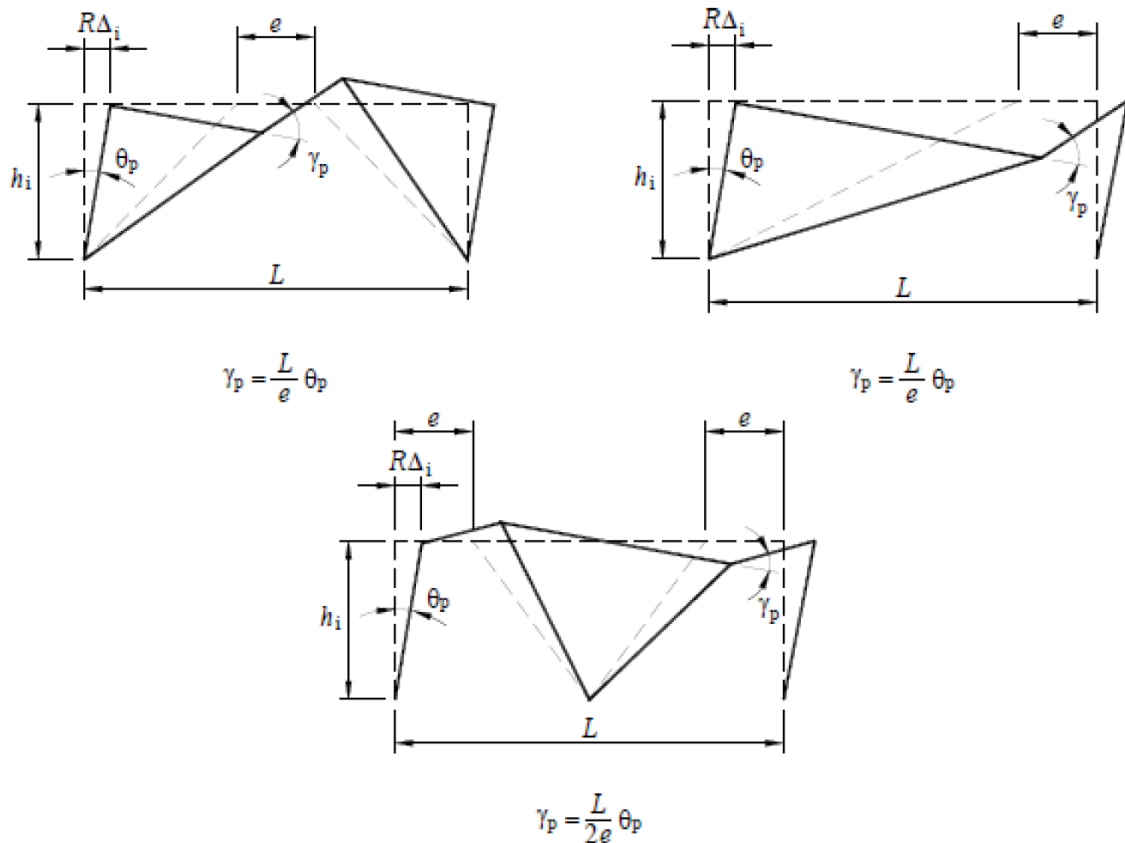


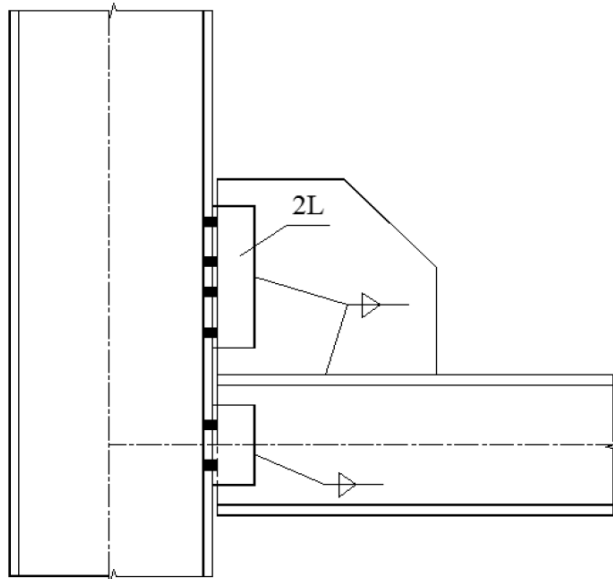
Figure 3. Angles of rotation of tie beams (TBEC, 2019).

According to TBEC, the design of beams, columns and braced must also provide the following conditions. According to this,

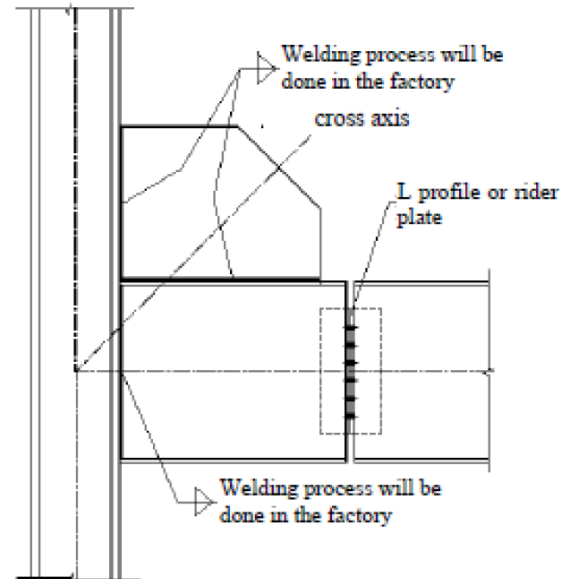
- 1) The loading that causes plasticization of the bond beam will be increased by the design magnification coefficient defined as V_n / V_E , including the design shear force (V_E) and $V_n = \min(V_p; 2M_p / e)$ resulting from earthquake effects in load combinations.
- 2) In determining the strength of the braced, earthquake effects on load combinations will be increased by $1.25R_y$ the load that causes the tie beam to plasticize.

- 3) In determining the strength of the frame beams other than the tie beam; the earthquake effects in load combinations will be increased by $1.1R_y$ the load that causes plasticization of the tie beam, in the case where the beams work as a composite with reinforced concrete slabs, and in the other case by a times of $1.25R_y$.
- 4) In determining the required strength of the columns; earthquake effects in load combinations will be increased by $1.1R_y$ times the load that causes plasticization of the tie beam.

- 5) The length of the bond beam connecting to the column must provide the $e \leq 1.6 * M_p / V_p$ condition.
- 6) When the beam is connected hinged to the column, the connection detail should be created in a way to provide a rotation angle of at least 0.025 radians. For this connection detail, one of the column-beam connection details given in



a) Hinged connection



b) rigid connection

Figure 4. Hinged and rigid connection detail according to TBEC (TBEC, 2019).

3. Design principles according to the regulation on design, calculation, and construction of steel structures

According to this regulation, the designs of steel structure structural elements and their connections can be made with load and strength factors or safety factors. The loads stipulated in the design of the building elements and their combinations are calculated with the load combinations given in the said regulation (ÇYTHYDE, 2018).

3.1. Boundary situations

With the prescribed load combinations, the design of a steel structure is made in a way that the strength and usability does not exceed the limit state. Of these,

Strength limit state; while defining the regional and / or total collapse formation due to insufficient strength and stability throughout the life of the structure,

Usability limit state; It is defined as excessive

Figure 4 or analytically proven that this condition is met can be used.

- 7) Braced connections must have sufficient rotational capacity. Sufficient rotational capacity here will be provided by forming suitable connections that allow plastic rotation in the node plate or connection plate to be used at the end joints of the cross members.

displacements that prevent the expected functions from the structure.

3.2. Stability analysis

According to the regulations on the design, calculation, and construction principles of steel structures, it is recommended to calculate the stability analysis of steel structures according to the 2nd order theory (ÇYTHYDE, 2018). 2nd order theory is a method of structural analysis in which the effect of geometry changes in elements and system-wide on equilibrium equations is considered.

The main factors affecting the stability of steel structures,

- 1) The bending, shear and axial deformation of the structural elements that make up the steel structure structural system, as well as all other deformations that are effective in the displacement of the structure system (such as column-beam connection, etc.),

- 2) 2nd order effects on deformation of steel structure elements and structure displacement,
- 3) Geometric frontal imperfections,
- 4) Nonlinear deformations are uncertainties in strength and stiffness.

3.3. Design of connections

According to the regulation on the design, calculation, and construction principles of steel structures, connections can be formed in two ways: hinged and moment-transferring connections. Bending moment is at or near zero value in hinged joints. However, in these combinations, relative rotation between components is allowed.

Moment-transferring connections are divided into two as fully rigid and semi-rigid (elastic). In these connections, the bending moment values are different from zero, whereas the relative rotational movement between the joined elements is zero or limited depending on whether the connection is fully rigid or semi-rigid.

3.4. Design for structural integrity

Conditions to be met for structural integrity will be evaluated independently from other strength conditions. The following conditions must be provided for structural integrity.

- 1) The characteristic tensile strength of the column connections must be equal to or greater than the axial force calculated by the G+Q load combination.
- 2) The tensile strength of the beam end connections must be equal to 2/3 of the required shear strength if load and strength factors is made or to the required shear strength if safety factors is made. However, this value must be

required at least 50 kN.

- 3) It is recommended that the characteristic tensile strength of the end connections of the elements that ensure the stability of the columns be taken at least equal to 1% of the value calculated by 2/3 of the required axial strength of the column determined according to the load and strength factors method and equal to 1% of the required axial strength of the column determined according to the safety factors method.

According to this regulation, the conditions regarding the detailed design of the connection and connection elements can be seen in the said regulation (ÇYTHYDE, 2018).

4. Examination of the behaviour of building models

In this article, 7 steel structure models with different external central steel braces in different shapes and locations with the same story area and dimensions were created and their structural analyses were carried out with the Sta-Steel program. The steel structure models considered were designed as 3-span, 5-storey and column footing system (see Figure 5). The height of each story of the building models created is 3 m and the axle spans is 6 m. The dimensions of the structural elements (columns, beams and braced members) of the mentioned models are given in Table 3. In addition, it is accepted that S335 steel material is used in all structural systems of steel structure models and secondary intermediate beams are placed at 1.5 m intervals (Yılmaz, 2020). On the other hand, the yield stress of the bolts in the connections, joints and foundation connections of structural elements is $F_{yb} = 640 \text{ MPa}$. In addition, it is accepted that the modulus of elasticity of the steel material used in building models is $E_s = 200000 \text{ N} / \text{mm}^2$.

Table 3. Profiles used in structural system elements of steel building models

Structural system elements	Profiles	
	DLH	DLL
Columns	He340 B	He340 B
Main beams	IPE300	IPE330
Intermediate beams	IPE220	IPE220
Cross elements	R120x10	R120x10

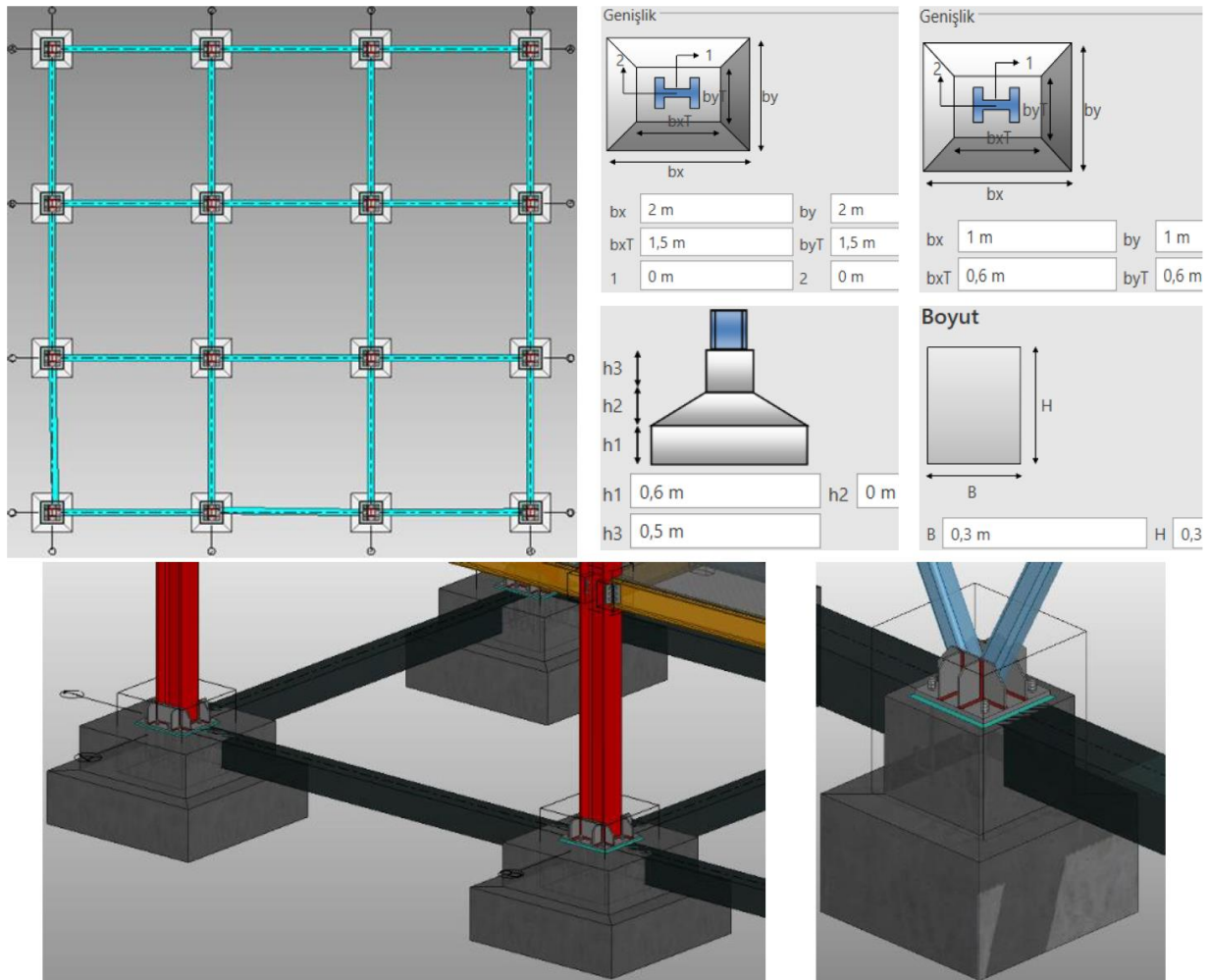


Figure 5. Views from the foundation plan and foundation detail-dimensions of building models.

Other features of the selected steel structure models are given below (Yılmaz, 2020).

- In Model 1, in the moment-transferring frame, it is accepted that all column and beam dimensions are as in Table 3 (see Figure 6a).
- In Model 2, all column and beam dimensions are considered as in Table 3. Also, in this model, outer axles are formed from 80 cm long bond beams and outer center V steel crosses using R120x10 box profile (see Figure 6b).
- In Model 3, all column and beam dimensions are considered as in Table 3. Also, in this model, eccentric steel diagonal braces were formed by using R120x10 box profiles on the outer axles (see Figure 6c).
- In Model 4, it is accepted that all column and beam dimensions are as in Table 3. Also in this model, the outer axles are formed from 80 cm long tie beams and external central Δ steel crosses using R120x10 box profile (see Figure 6d).
- In Model 5, it is accepted that all column and beam dimensions are as in Table 3. In addition, in this model, the outer axles are formed from 1.5 m long tie beams and external central V steel braces using R120x10 box profile (see Figure 6e).
- In Model 6, it is accepted that all column and beam dimensions are as in Table 3. Also, in this model, the outer axles are formed from 80 cm long tie beams and external central Δ steel crosses using R120x10 box profile from 35 cm above from the column-beam connection center (see Figure 6f).
- In Model 7, it is accepted that all column and beam dimensions are as in Table 3. In addition, in this model, the outer axles were formed from 1.5 m long tie beams and external central steel diagonal braces using R120x10 box profile in 35 cm above from the column-beam connection center (see Figure 6g).

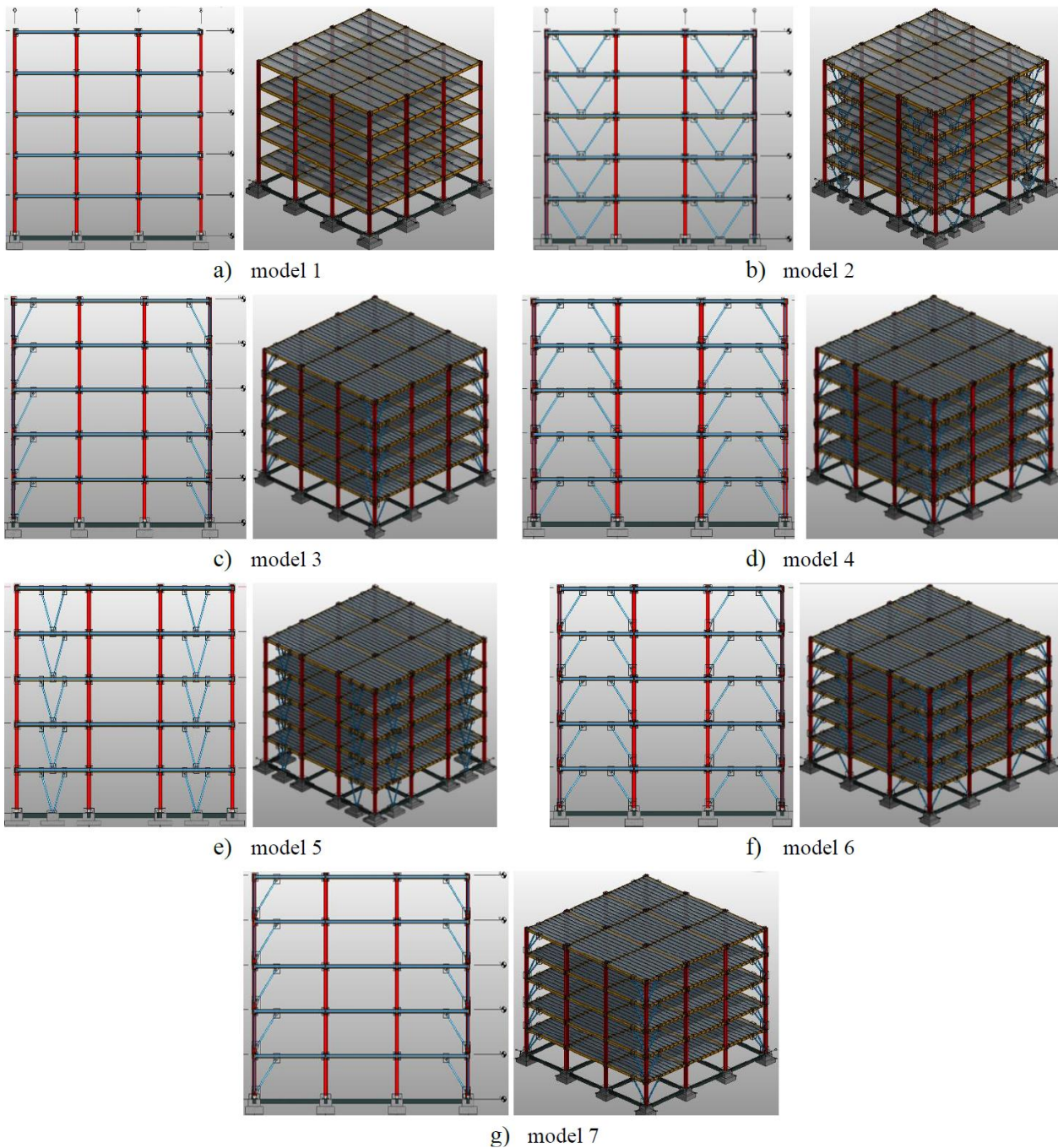


Figure 6. Cross-section and 5-story view of steel building models.

Here, it will be useful to state that model 1 is the reference model, and that other building models are connected to the columns from different points depending on the length (e) of the tie beams, and

external central steel brace types are created. The details of the tie beams of the steel structure models are summarized in Table 4.

Table 4. Information's on the connection details of building models

Models	Cross elements	Bond (tie) beam lengths (m)	Column connection of cross members
model 1	-	-	-
model 2	R120x10	0.8	From the center
model 3	R120x10	1.5	From the center
model 4	R120x10	0.8	From the center
model 5	R120x10	1.5	From the center
model 6	R120x10	0.8	From 0.35 m above
model 7	R120x10	1.5	From 0.35 m above

The story areas of the steel structure models considered are equal, ZC is the local ground class, said structure models will be built in the neighbourhood of Karabük Province and accordingly Earthquake Map of Turkey are considered to be the design parameters related to 41.21329 latitude and 32.63601 longitude. (Yılmaz,

2020). In addition, TS-498 Regulation on Calculation Values of the Loads to be Taken in the Sizing of Building Elements is used in the calculation of the loads affecting the said models (TS-498, 1997). Other design parameters considered in structural analysis are given in Table 5.

Table 5. Other design parameters considered in structural analyses.

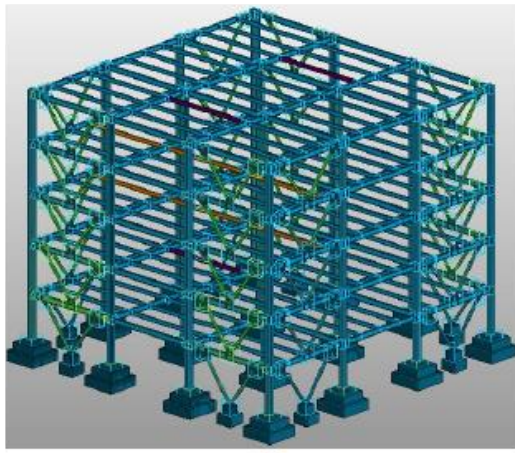
Building importance coefficient (residence and workplace), I		1
Structural system behaviour coefficients, (R_x ve R_y)	Ductility level high	8
	Ductility level limited	4
Live load participation coefficient (residences and workplace)		0.30
Short period map spectral acceleration coefficient, (S_s)		0.722
Map spectral acceleration coefficient for 1s period, (S_1)		0.2337
Short period design spectral acceleration coefficient, (S_{ds})		0.8744
Design spectral acceleration coefficient for 1s period, (S_{d1})		0.351
Earthquake ground motion level		DD2
Earthquake design class		DTS1
Strength excess coefficients (D_x ve D_y)	Ductility level high	3
	Ductility level limited	2.5
Foundation soil bearing capacity for ZC local soil class (kN/m^2)		150
Foundation bedding coefficient for ZC local ground class (kN/m^3)		10000
Modal analysis min load ratio, (β)		0.90
Earthquake eccentricity		0.05
Horizontal elastic design acceleration spectrum corner period, T_A (s)		0.08021
Horizontal elastic design acceleration spectrum corner period, T_B (s)		0.40103
Transition period to constant displacement in the spectrum of horizontal elastic design, T_L (s)		6
Snow load (kN/m^2)		0.75
Moving load (kN/m^2)		2
Wind load (kN/m^2)	up to 8 m high	0.5
	up to 20 m high	0.8
Building height (m)		15

5. Findings and evaluations obtained from structural analyses

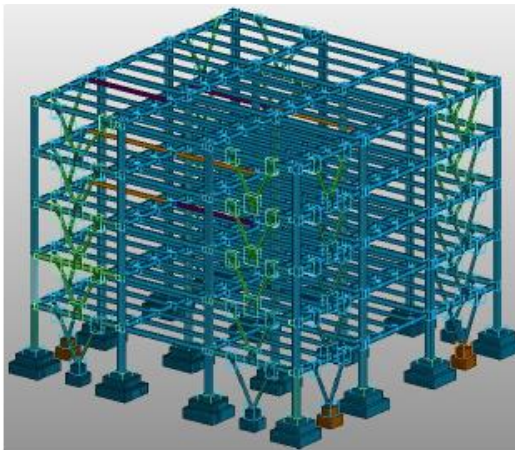
As a result of the structural analyses performed with the Sta-Steel program of the DLH steel structure models with different external central cross members considered in this study, the views of the building models with insufficient structural elements are given in Figure 7. It is seen from these figures that the cross-section some of the profiles used in the intermediate beams of model 2 and model 5 are insufficient. This situation reveals that the models in question are insecure in their current state, and therefore, the required to increase the cross-sectional dimensions of the insufficient structural elements of these models in order to ensure sufficient safety. As such, sufficient safety

has been provided by using IPE240 profile instead of IPE220 in intermediate beams, which are insufficient of these models. In addition, in model 5, it is seen that some foundations where the cross members are supported in the middle of the span are insufficient. The inadequate foundation dimensions of Model 5 have been made safe by selecting 1 x 1.5 m.

In this article, it is aimed to compare the performances of steel structure systems with different external central steel braced. For this purpose, the nodal point at which the maximum displacement values occur in all building models have been taken into consideration for comparison (see Figure 8).



a) model 2



b) model 5

Figure 7. Views from insufficient structural elements of model 2 and model 5 for dead loads.

According to TBEC, different types of combinations are used to form the nodal point of steel structures (see Figure 8). Accordingly, both DLH and DLL are modelled in a way that the frames with different external central steel braces

are hinged with their strong axes and their weak axes are semi-rigid (see Figure 9a). Because, as a result of the structural analysis performed, the semi-rigid node joint in DLL frames could not provide sufficient safety (see Figure 9b). For this reason, a node combination providing sufficient security was preferred in both DLH and DLL frames. In summary, the nodal point of the building models with different external central steel cross members are modelled as their strong axes are hinged and their weak axes are semi-rigid (see Figure 9a).

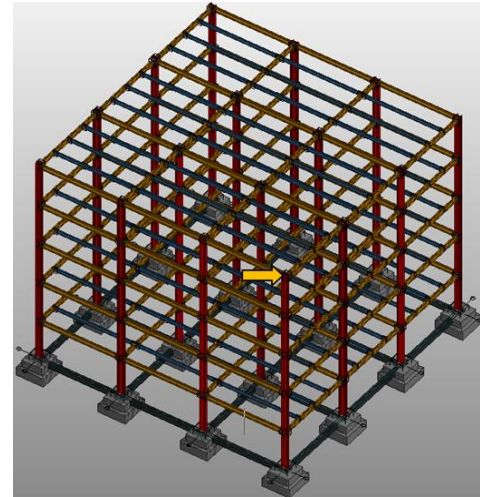
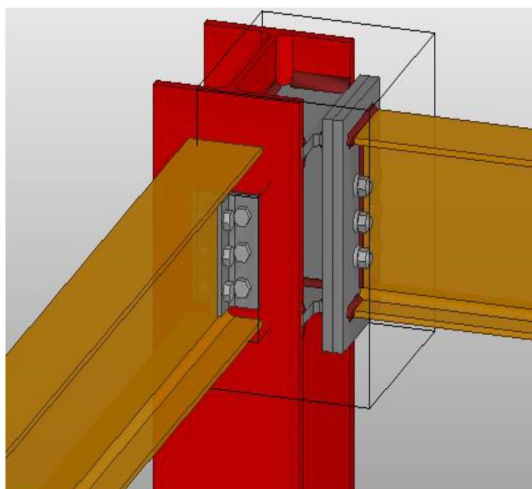
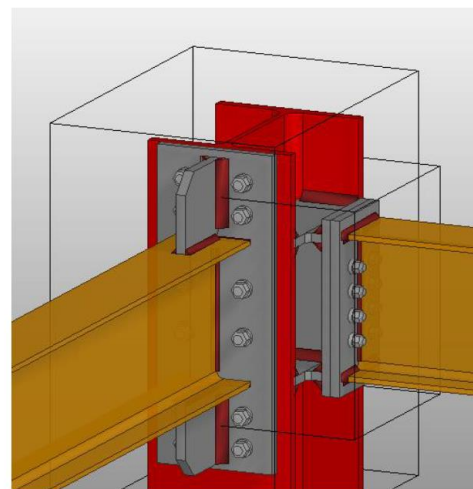


Figure 8. The node point for comparisons

Here, the combination detail of the node point in Figure 8 provides sufficient safety for both DLH and DLL situations, and that the DLL structure models formed with different external central steel cross members, except for model 2 and model 5, It will be appropriate to state that it is used that the IPE 330 profile instead of IPE300 to ensure sufficient safety in the main beams.



a) Combination detail of hinged and semi-rigid node point



b) Combination detail of semi-rigid node point

Figure 9. Different nodal point combination details used in the creation of the models.

The displacement values of the selected node point in the x direction as a result of the structural analyses performed for the earthquake effect in the x direction of the different external central steel braced steel structure models of DLH and DLL are given in Table 6. From this table, it is seen that the displacement values of the DLL external central steel braced steel structure models are greater than the DLH external central steel braced steel structure models and while the value of the largest displacement value for DLL structure models is obtained from model 7, the lowest displacement

value is obtained from model 2. In addition, it is seen that the displacement values of both DLH and DLL structure models with single cross member are greater than the other building models considered. These findings reveal that the external central steel braced steel structure models significantly reduce the maximum displacement values compared to the reference model, model 1, as expected, except for model 3 and model 7.

Table 6. Maximum displacement values of selected nodal point for earthquake effect in x direction of building models with SDY and SDS different external central steel braced

		model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6	model 7
Maximum displacement values (mm)	DLH	8.874	1.769	10.037	1.898	3.341	2.04	10.028
	DLL	21.70	2.024	19.178	3.240	6.911	3.59	21.854

The maximum base shear forces values obtained in the x and y directions from the structural analyses made with the Sta-Steel program using modal combination and equivalent earthquake load methods of DLH and DLL different external central steel braced structure models are given in Table 7. From this table, it is seen that the base shear strength values of DLL external central steel braced steel structure models in both x and y direction are greater than the DLH external central steel braced steel structure models. On the other hand, the base shear force values obtained by the equivalent earthquake load method (EELM) in both x and y directions of the DLH and DLL

external central steel braced steel structure models are higher than those obtained by the modal combination method (MCM). In addition, it seems that DLL steel structure models, the maximum base shear values according to the equivalent earthquake load method of is obtained from model 5 in the x direction and model 4 in the y direction, and according to the mode combination method are obtained from model 2 in the x direction and model 1 in the y direction. These findings obtained from the structural analyses show that the DLL external central steel braced structure models are subjected to greater shear forces than the DLH external central steel braced structure models.

Table 7. Maximum base shear force values of building models with DLH and DLL different external central steel braced

models	Maximum base shear force values (kN)							
	DLH				DLL			
	Earthquake effect in the x direction		Earthquake effect in the y direction		Earthquake effect in the x direction		Earthquake effect in the y direction	
	MCM	EELM	MCM	EELM	MCM	EELM	MCM	EELM
model 1	121.17	212.03	181.94	214.28	217.68	281.08	432.42	503.69
model 2	107.59	221.01	171.87	220.68	241.46	289	406.18	500.68
model 3	98.887	214.47	173.54	216.18	188.65	339.37	398.52	504.16
model 4	104.86	214.63	167.38	216.77	178.88	340.28	385.69	505.73
model 5	103.43	219.58	174.34	219.89	171.38	350.92	388.24	493.85
model 6	104.22	214.48	168.2	216.62	174.49	339.89	387.22	505.28
model 7	98.93	214.64	175.57	216.29	165.41	339.56	403.67	504.58

The maximum displacement distributions obtained at the storey levels along the building height from the structural analyses performed by DLH and DLL for the earthquake effect of the building models created with different external central steel braced members considered are given in Figure 10. From this figure, it is seen that the maximum

displacement distributions at the storey levels of the DLL external central steel braced structure models are larger than the DLH external central steel braced structure models and the displacement distributions obtained from the model 1 are generally larger. These findings reveal that both DLH and DLL external central steel braced

structure models significantly reduce the maximum displacement values compared to model 1, and the DLH external central steel braced structure models

will perform better than the DLL external central steel braced structure models.

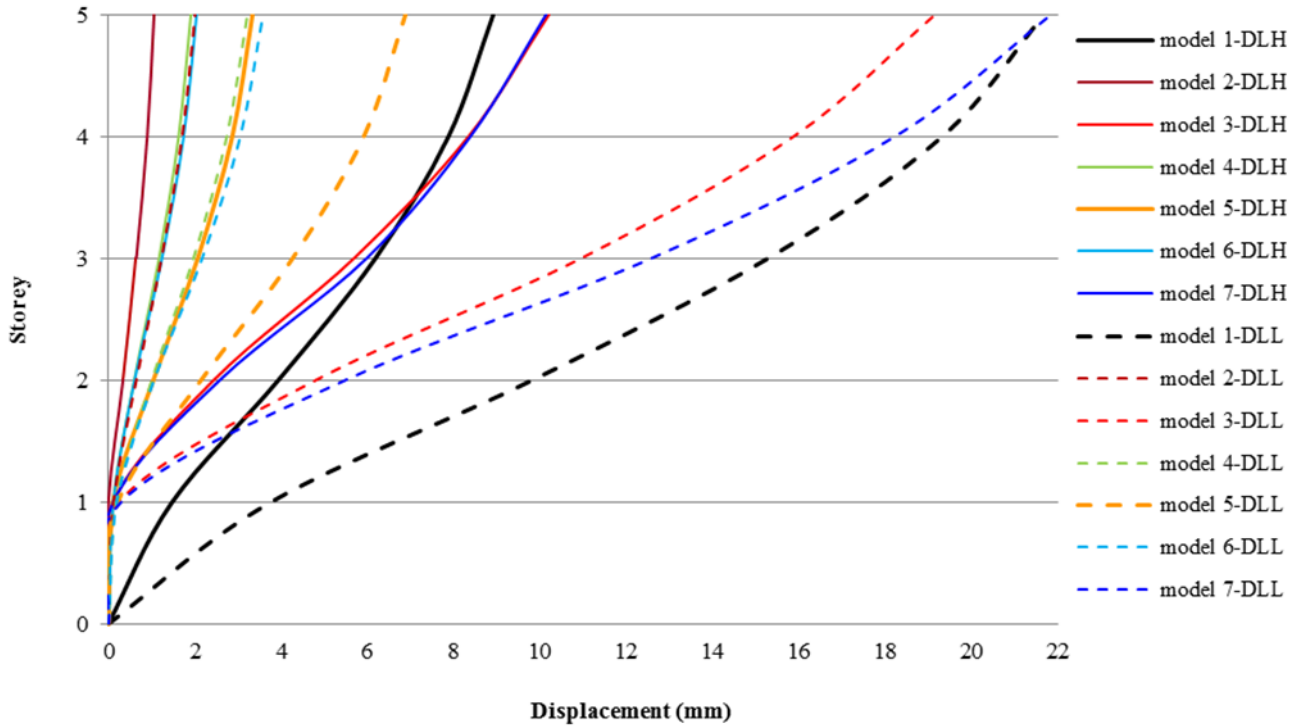


Figure 10. Maximum displacement values in the storey levels under the earthquake effect of building models with DLH and DLL different external central steel braced

Table 8. Structural element cross-section dimensions and tie beam lengths of DLH external central Λ and V steel braced structure models

Model a			Columns HE340B Main beams IPE330 Intermediate IPE220 beams e 50 cm
Model b			Columns HE340B Main beams IPE300 Intermediate IPE220 beams e 80 cm
Model c			Columns HE340B Main beams IPE300 Intermediate IPE220 beams e 100 cm
Model d			Columns HE340B Main beams IPE300 Intermediate IPE220 beams e 150 cm

The effect of different tie beam lengths on the behaviour of the considered DLH external central Λ and V steel braced structure models (model 2 and model 4) was examined (see Table 8). The maximum displacement and rotation values at the tie beam braced member combination node point, from the structural analyses performed for the earthquake effect in the x direction with the Sta-Steel program of the DLH steel structure models are given in Table 9. From this table, it is seen that the displacement and rotation values of the V steel braced structure model increase with the increase in the length of the tie beam compared to the Λ steel braced structure model. In addition, with the increase of the tie beam length in both Λ and V steel braced structure models, the displacement values at the said node also increase. On the other hand, it is seen that the displacement and rotation

values of Λ steel braced structure models in short tie beam lengths and V steel braced structure models in long tie beam lengths are great. These findings reveal that the length of the tie beam significantly changes the displacement and rotation values of both Λ and V steel braced structure models.

Here, it would be appropriate to state that as a result of the structural analyses carried out according to the earthquake in the x direction, the V steel braced structure models cannot provide sufficient safety with the element cross-section dimensions given in Table 8, therefore, structural analyses are made by increasing the cross-section dimensions of the intermediate beams (IPE 240) to ensure sufficient safety.

Table 9. The maximum displacement and rotation values at the combination node point of the tie beam and braced member, depending on the length of the tie beams of the DLH external central Λ and V braced structure models

Models	Tie beam length (mm)		Earthquake effect in the x direction	
			Displacement, δ_x (mm)	Rotation, θ_x (rad)
Model a	500	Λ with steel braced	1.489	-0.000201
		V with steel braced	1.421	-0.000132
Model b	800	Λ with steel braced	1.887	-0.000162
		V with steel braced	1.854	-0.000143
Model c	1000	Λ with steel braced	2.188	-0.000186
		V with steel braced	2.229	-0.000146
Model d	1500	Λ with steel braced	3.056	-0.000104
		V with steel braced	3.323	-0.000128

6. Conclusions and recommendations

In this article, the effects on their behaviour of the structures in question of DLH and DLL different external central braced types widely used in the design of steel structures in Turkey were comparatively investigated. The main results and recommendation obtained from the structural analyses carried out for this purpose are presented below.

➤ The displacement values of DLH external central steel-braced structural models from the structural analyses are smaller than DLL external central steel-braced-structured models. In addition, the displacement values of the DLH and DLL single cross member steel structure models are higher than the other steel structure models considered in this study. obtained this result shows that the ductility level significantly affects the behaviour of the structure in question.

➤ From the structural analyses, the base shear force values of the DLL external central steel braced structure models are larger than the DLH external central steel braced structure models in both x and y directions. This result shows that the DLL external central steel braced structure models are subjected to greater shear forces than the DLH external central steel braced structure models.

➤ The base shear force values obtained by the equivalent earthquake load method in the x and y directions of the DLH and DLL external central steel braced structure models are greater than those obtained by the modal combination method.

➤ As a result of the structural analyses of DLH and DLL building models for earthquake effect, it is seen that the maximum displacement distribution at the story levels of the DLL external central steel braced structure models is greater than the DLH external central steel

braced structure models. This result reveals that DLH external central steel braced structure models will perform better than DLL external central steel braced structure models.

- As a result of the structural analyses, the displacement and rotation values obtained from the V steel braced structure model at the tie beam-braced member combination node point are higher than the Λ steel braced structure model. In addition, with the increase of the tie beam length in both Λ and V steel braced structure models, the displacement values at the said node point also increase.
- Given the findings of this study, in terms of safety and performance of the steel structures in Turkey that to be constructed especially earthquake zones is recommended the prefer of design and construction of steel structures having DLH external central steel braced members.

Acknowledgments

The license of the Sta-Steel program used in this study was obtained by the Rectorate of Karabük University.

References

- Arıbaş, S., Sancioğlu, S. ve Çarbaş, S. (2019). Dışmerkez V çaprazların çelik bir yapı üzerinde incelenmesi. *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 79-97.
- Akgönen, A. İ. (2017). Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3): 16-23.
- Ay, Z. ve Çelik, İ.D. (2012). Dışmerkez çelik çapraz perde bir sistemde bağ kirişi boyunun 2007 Türk Deprem Yönetmeliği açısından incelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 372, 5827-5843.
- Ay, Z., Çelik, İ.D. ve Kıvıllı, N. A. (2010). Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 7-17.
- Bayram, B., Sancioğlu, S. ve Çarbaş, S. (2019). Çelik bir yapıda dışmerkez diyagonal çaprazların etkisi. *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 128-145.
- Çavdar, Ö. (2017). Farklı şekilde çapraz elemanlı çelik yapıların dinamik davranışının incelenmesi, *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, 193-203.
- Çavdar, Ö. (2019). Determination of the Seismic Performance of Concentrically Braced Steel Structures, *International Journal of Science and Engineering Applications*, 8(12), 503-508. <https://dx.doi.org/10.7753/IJSEA0812.1002>
- ÇYTHYDE. (2018). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Türkiye.
- Gönen, H. (1997). Çok katlı çelik yapılarda yatay deplasmanın diyagonallerle kontrolü. *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, X(1), 59-70.
- Özçelik, R. (2016). Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 160-170.
- Sta-Steel, (2019). Structural analysis for steel structure. ver.1.3.0.3. <https://www.sta4.net/steeldefault.aspx>
- TBEC. (2019). *Turkey Building Earthquake Code*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- TS-498. (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Yelgin, N. A. ve Bulut, B. M. (2016). Merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı çok katlı binaların Eurocode EC1, EC3, EC4 ve EC8 yönetmeliklerine göre dizayn kuralları ve süneklilik düzeylerinin karşılaştırılması, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Antalya, 142-149.
- Yılmaz, A. (2020). *Çelik çerçevelerde kullanılan dış merkezi çelik çapraz tiplerinin düğüm noktası birleşim detayına ve çerçeve davranışına etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

Hazar Gölü'ndeki (Elazığ/Doğu Türkiye) çökellerin mühendislik özelliklerine ve sualtı kütle hareketlerine genel bir bakış

An overview engineering properties of sediments and submarine mass movements in the Hazar Lake (Elazığ/Eastern Turkey)

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU^{1,a}, Zülfü GÜROCAK^{*1,b}

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ/TÜRKİYE

• Geliş tarihi / Received: 12.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 17.06.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer alan ve Türkiye'nin önemli tektonik göllerinden birisi olan Hazar Gölü yamaçlarındaki çökellerin ve yamaçlarda belirlenen su altı kütle hareketlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, gölde gerçekleştirilmiş olan yüksek çözünürlüklü sığ-sismik veriler kullanılarak belirlenen noktalardan alınan örselenmemiş zemin örneklerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, akarsuların Hazar Gölü'ne boşaldığı alanlardaki zeminler inorganik iri silt (MLN), gölün orta kesimlerinde ise yüksek plastisiteli silt (MH)'dir. Zeminlerin doygun birim hacim ağırlık değerleri derinlikle artarken, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. MLN sınıfı zeminlerin dayanımı MH sınıfı zeminlere göre oldukça yüksektir. MH sınıfı zeminlerin dayanımı ise yeterince sıkılaşma olmadığından oldukça düşüktür. Hazar Gölü'ne ait sismik profillerde, eğimin dik olduğu yamaçlarda zemin kalınlığı maksimum 3 m civarında iken, eğimin daha az olduğu yamaçlarda zemin kalınlığı 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Zemin kalınlığının fazla olduğu yamaçlarda, özellikle zeminin kendi ağırlığı ile gelişmiş su altı kütle hareketleri mevcuttur. Bu kütle hareketleri, plastik deformasyon izlerinin ve dairesel kayma yüzeylerinin açıkça görülebildiği slump tipi kaymalardır. Hazar Gölü yamaçlarındaki zeminlerin oldukça düşük dayanımlı olduğu göz önüne alınır, bu kütle hareketlerinin çökellerin kendi ağırlığının etkisiyle kayarak oluştuğunu ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nda meydana gelen depremlerin de bu kütle hareketlerini kolaylaştırdığı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Doğu Anadolu fay zonu, Elazığ bölgesi, Hazar gölü, Sualtı kütle hareketi, Zemin

Abstract

The aim of this study is to determine the engineering properties of the sediments and the submarine mass movements that are formed in the one of the most important tectonic lake of Turkey, Hazar Lake, located in the East Anatolian Fault Zone. For this purpose, laboratory experiments were carried out on undisturbed soil samples taken from the points that were determined by using high-resolution seismic data of the lake. According to the results of the experiments, the soils at the areas where streams discharge into Hazar Lake are Non-Plastic Course Silt (MLN), and around the mid-parts of the lake is High Plastic Silt (MH). Dry unit weight values of soils increase with depth, while porosity and void ratio values decrease. The strength value of MLN is much higher than MH type soils. The strength of MH type soil is quite low since it is not tightened enough. In the seismic profiles of Hazar Lake, the soil thickness is about maximum 3 m on steep slopes, while the soil thickness can reach up to 10 m on slopes having lower dips. On the slopes where the soil thickness is higher, submarine mass movements developed by the own weight of the soil especially. These types of mass movements are slump-type slides in which traces of plastic deformation and circular failure surfaces are clearly visible. Considering that the soil strength on the slopes of Hazar Lake are very low, it can be said that these mass movements were formed by the weight of the sediments and, the earthquakes that took place in the Eastern Anatolian Fault Zone (DAFZ) also catalyze these mass movements to occur.

Keywords: East Anatolian fault zone, Elazığ region, Hazar lake, Submarine mass movement, Soil

^{*b} Zülfü GÜROCAK; zgurocak@firat.edu.tr, Tel: (0532) 355 36 47, orcid.org/0000-0002-1049-8346

^a orcid.org/0000-0002-3135-5926

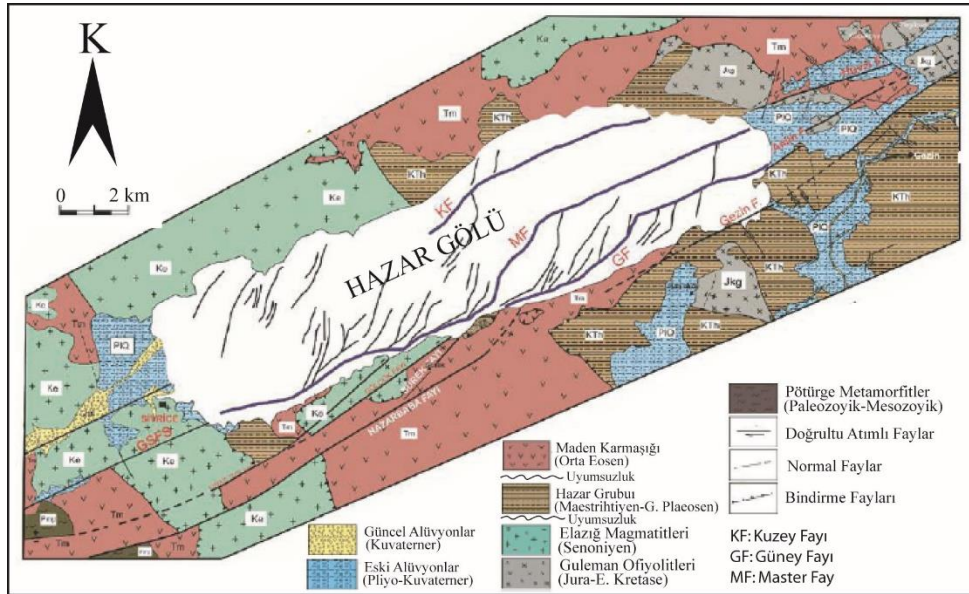
2. Bölgenin genel jeolojik özellikleri

Hazar Gölü, Türkiye'nin en önemli ikinci yapısal unsuru olan, sol yanal atımlı DAFZ üzerinde yer alır (Şekil 1) ve Orta Miyosen'den günümüze aktivitesini sürdüren Türkiye neotektoniğinin ana elemanlarından bir olma özelliğindedir. Bölgede, Orta Miyosen'den (Serravaliyen) itibaren Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu Tetis Okyanusu'nun kapanması ile neotektonik dönem başlamış (Şengör vd., 1985) ve Doğu Anadolu Bölgesi, kıta içi sıkışma rejimi neticesinde meydana gelen deformasyon sonucu yükselmiştir. Böylece, sıkışmanın etkisiyle Anadolu levhacığı iki yanal atımlı fay boyunca batıya doğru kaçmaya başlamış ve KAFZ ile DAFZ oluşmuştur.

Karlıova üçlü eklem noktasından başlayan DAFZ, Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Pötürge, Sincik, Narlı, Türkoğlu yörelerinden geçerek İskenderun körfezine kadar uzanmaktadır. Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanan bu zon yaklaşık 700 km uzunluğunda ve 30 km genişliktedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Koçyiğit vd., 2003; Aksoy vd., 2007). Bu zon içerisinde çok sayıda ana kırıklara

paralel veya yarı paralel sıçrama (step over), ayrılma, bükülme (bending) ve yön değiştirmeler gösteren sol yanal atımlı faylar da bulunmaktadır. Ayrıca bu yapılar arasında dere ötelenmelerini, fay yamaçlarını, dönmüş (rotated) fay vadi ve sırtlarını, asılı vadileri (hanging valleys), heyelanları, su kaynaklarını ve yanal atımlı havzaları (strike-slip basins) görmek mümkündür (Çetin vd., 2003). Bunlardan en önemlisi de Hazar Gölü (çek-ayır) havzasıdır. Hazar Gölü ve çevresinde yaşı Paleozoik'den Güncel'e kadar değişen formasyonlar yüzeylemekte ve Paleozoik-Eosen yaşlı kayalar Hazar Gölü havzasının temelini oluşturmaktadır (Şekil 2).

Bölgede en yaşlı birimi Paleozoik-Mesozoik yaşlı Pötürge Metamorfileri oluşturarak, bu metamorfiter üzerinde allokon konumunda Jura-Erken Kretase yaşlı Guleman ofiyolitleri ve Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri yer almaktadır. Bu formasyonlar üzerinde ise uyumsuz olarak Maestrihtiyen-Geç Paleosen yaşlı Hazar grubuna ait flişler ile Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimentler yüzeylemektedir. Bölgedeki en genç birimler ise Pliyo-Kuvaterner yaşlı ve güncel alüvyonlardır.



Şekil 2. Hazar Gölü ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Gürocak, 1993; Kaya, 1993; Aksoy vd., 2007 ve MTA, 2008'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

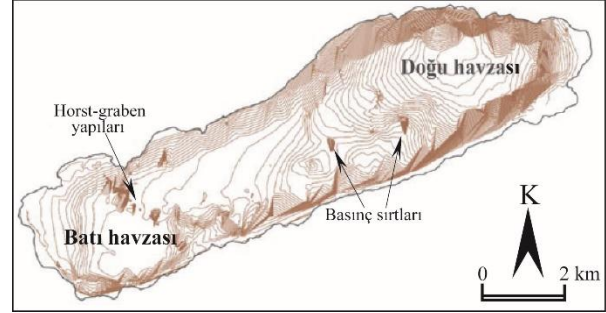
3. Hazar Gölü'nün batimetrik ve morfo-tektonik özellikleri

Hazar Gölü'nün morfolojik ve yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan en önemli çalışma Moreno vd., (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Hazar Gölü'nde yapılan en detaylı batimetri çalışmaları ise TÜBİTAK (2014) projesi kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde

edilen sığ-sismik görüntü verilerinden göl tabanının morfolojisi, sualtı kütle hareketleri, basınç sırtları, horst-graben yapıları, eski tabanları, faylanmalar, kıvrımlı yapılar ve eski gölsel taraçalar gibi morfolojik yapılar belirlenmiştir (Şekil 3). Bu verilere göre Hazar Gölü doğu ve batı olmak üzere iki farklı çökeltme havzasına sahiptir. Gölün Batı Havzası'nın en derin kesimi -70 m'lerdedir ve doğuya doğru

derinleşerek -232 m derinliğe ulaşan Doğu Havzası'na geçilmektedir. Gölün güney ve doğu yamaçları, kuzey ve batı yamaçlarına göre daha diktir. Ayrıca, DAFZ'nin bu bölgedeki aktif kolları Hazar-Sincik ve Palu-Hazar segmentlerinin gölün içerisindeki güzergâhları da yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Hazar Gölü'nün güney yamacına yakın bir güzergâh izleyen bu segmentler nedeniyle gölün güney yamaçları oldukça diktir. Elde edilen verilere göre DAFZ'ye ait Gezin-Sivrice Fay Sistemi gölün batısından göle girerek yaklaşık 4.5 km gölün güney kıyısına paralel olarak devam ettikten sonra orta kesiminde iki ana kola ayrılmaktadır (Aksoy vd., 2007). Bu iki kolun en güneydeki Güney Fay ve kuzeydeki diğer kol ise Master Fay olarak isimlendirilmiştir. Master Fayı gölün ortasında büküm yaparak doğuya doğru devam etmekte ve gölün doğusunda karaya çıkmaktadır. Bu fay yapılan çalışmalarda (Çetin vd., 2003; Aksoy vd., 2007) Havri Fayı olarak adlandırılmıştır. Gölün doğusundan karaya çıkan Güney Fay (GF) ise Aydın Fayı olarak adlandırılmıştır. Hazar Gölü'nün kuzey kesiminde ise normal fay karakterindeki Kuzey Fayı (KF) yer almaktadır. Göl içerisindeki ana fayın 15 m'ye ulaşan düşey bileşene sahip olduğu ve bu ana fayın kuzeyinde ve güneyinde gelişen normal faylarda ise 70 m'ye ulaşan düşey atımlar görülmektedir. Hazar Gölü'nün GD'sunda göl çökellerinde gelişen basınç sırtları da yer almaktadır. Gölün Doğu Havzası'nda ana fayın kuzey ve güneyindeki normal faylar, bölgenin gerilmeli bir tektonik rejimde derinleştiğini göstermesi açısından önemlidir. Yapılan çalışmalarda oluşturulan sismik

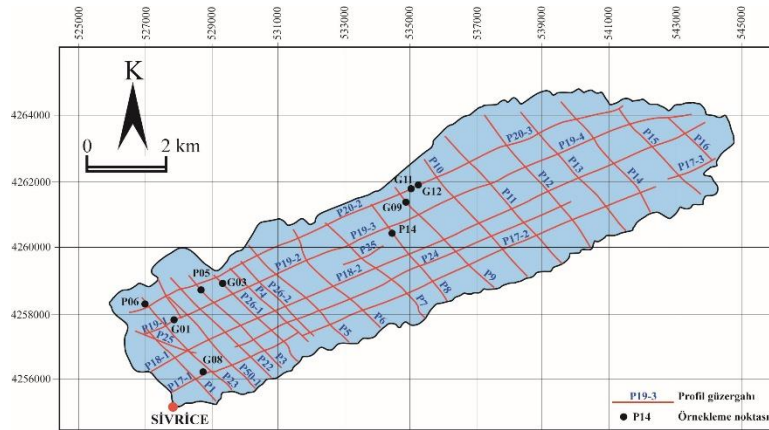
kesitlerde bu bölgenin aktif bir tektonizma etkisinde olduğunu gösteren ve gölün özellikle güney yamaçlarında gelişmiş çok sayıda su altı kütle hareketleri bulunmaktadır.



Şekil 3. Hazar Gölü'ne ait batimetri haritası (TÜBİTAK, 2014)

4. Zemin örneklerinin derlenmesi ve laboratuvar deneyleri

Herhangi bir deniz veya gölden zemin örneklemesinin yapılabilmesi için öncelikle örnekleme noktalarının belirlenmesi gereklidir. Su altındaki bu noktaların belirlenmesi ise yapılacak olan sismik çalışmalar ile mümkündür. Hazar Gölü tabanı ve yamaçlarındaki temel kaya ve çökeller hakkında bilgi elde etmek ve böylece örnekleme noktalarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen proje (TÜBİTAK, 2014) kapsamında yüksek çözünürlüklü sığ-sismik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ile toplam 65 km uzunluğunda 23 adet sığ-sismik profil alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sığ-sismik kesit güzergâhları ve örnekleme noktaları (TÜBİTAK, 2014)

Yapılan sığ-sismik çalışmalara ait görüntülerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen noktalardan çakmalı piston ve gravite yöntemleriyle alınan örselenmemiş zemin

örneklerinden seçilen 9 örnekte laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen bu örneklere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hazar Gölü'nden alınan örnekler için bilgiler (TÜBİTAK, 2014)

Örnek No	Örnekleme Adı	Lokasyon	Örnek Uzunluğu (m)	Derinlik (-m)	Örnek Alma Yöntemi
1	HZ11-G01	Gölün Batı Kesimi	0.67	48.00 - 48.67	Gravite
2	HZ11-G03		0.98	56.31 - 57.29	Gravite
3	HZ11-G08		0.60	19.98 - 20.58	Gravite
4	HZ11-P05		2.25	37.50 - 39.75	Piston Çakmalı
5	HZ11-P06		2.57	11.50 - 14.07	Piston Çakmalı
6	HZ11-G09	Gölün Orta Kesimi	1.08	64.00 - 65.08	Gravite
7	HZ11-G11		1.08	65.00 - 66.08	Gravite
8	HZ11-G12		0.79	71.50 - 72.29	Gravite
9	HZ11-P14		2.07	77.00 - 79.07	Piston Çakmalı

Hazar Gölü'nde yapılmış olan çalışmalarda (Eriş, 2013; Eriş vd., 2018a) Holosen yaşlı olduğu belirlenen bu zemin örneklerinde birim hacim ağırlık, su içeriği, özgül ağırlık, likit limit, plastik limit ve doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bilindiği gibi, dane boyu dağılımı analizlerinde, dane çapının 0.075 mm'den büyük olduğu zeminlerin (kum ve çakıl) dane boyu dağılımı elek analizi yöntemi ile belirlenirken, 0.075 mm'den küçük danelere sahip olan zeminlerinde ise Stokes yasasına dayanan çökeltme (hidrometre) yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemin uzun zaman alması (en az 2 gün) ve Stokes yasasının bazı kabullerinden dolayı sonuçlarının bir miktar hatalı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Zhang ve Tumay, 1995; Bardet, 1997; Vitton ve Sadler, 1997; Lu vd., 2000; Wen vd., 2002). Bu nedenlerden dolayı, son yıllarda klasik yöntemlere alternatif yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları, elektrodirenç dane sayımı (Coulter Counter), fotometrik teknikler (Hydrophotometer), X-ışınları azalımı (Sedigraph) ve lazer kırınım (Microtrac, Malvern Master Sizer 3000, Coulter LS) yöntemleridir (Beuselinck vd., 1998). En çok kullanılan yöntem ise lazer kırınım yöntemidir (Wen vd., 2002) ve günümüzde aşındırma, seramik, çimento, kum, kil, gıda, ilaç sanayi, kozmetik vb. gibi birçok mühendislik ve endüstri alanında kullanılmaktadır (Ma vd., 2000). 10 nm-3.5 mm aralığındaki danelerin ölçülebildiği lazer kırınım yöntemi klasik yöntemlere kıyasla daha kısa sürede gerçekleştirilebilmekte ve daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada zeminlerin dane boyu dağılımını belirleyebilmek için Malvern Mastersizer 3000 lazer kırınım cihazı kullanılmıştır. Bu yöntemde, öncelikle parçacık boyu analizi yapılacak malzemenin refraktif indeks (kırılma indisi) değeri ve absorbans Malvern'e ait "refractive index guide" kitapçığından belirlenmekte ve örneğin sıvı ünite de bakılacak ise,

eneme dispersiyonu hazırlanmaktadır. Örneğin çözelti içerisinde asılı halde kalması için beherdeki örnek spatula ile karıştırarak, surfaktant vb kimyasallar eklenir. Homojen hale getirilen örnekten spatulanın ucuyla yeteri kadar alınarak aletin haznesine boşaltılır. Ultrasonik enerji ve mekanik karıştırıcının etkisiyle zemin topraklarının ayrışması için yaklaşık 4-5 dakika beklendikten sonra, bilgisayar yazılımından uygun komut kullanılarak analiz gerçekleştirilir ve sonuçların çıktısı alınır.

Tablo 2. Zemin örneklerine ait dane boyu dağılımı analiz sonuçları

Örnek No	Örnekleme Adı	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	
1	HZ11-G01	10	85	5	-	
2	HZ11-G03	10	83	7	-	
3	HZ11-G08	13	87	-	-	
4	HZ11-P05	(a)	3	79	18	-
		(b)	2	68	30	-
		(c)	-	65	35	-
5	HZ11-P06	(a)	3	82	15	-
		(b)	3	77	20	-
		(c)	3	77	20	-
		(d)	9	51	38	2
6	HZ11-G09	(a)	18	82	-	-
		(b)	8	84	8	-
		(c)	10	80	10	-
7	HZ11-G11	(a)	10	85	5	-
		(b)	7	81	12	-
		(c)	4	81	15	-
8	HZ11-G12	(a)	10	85	5	-
		(b)	13	69	18	-
9	HZ11-P14	(a)	10	70	20	-
		(b)	10	80	10	-
		(c)	5	75	20	-
		(d)	10	78	12	-

Örneklerin dane boyu dağılımı analizlerinde, 3.5 mm den daha büyük daneler içerdiği için 6 nolu örnekte ASTM D 422-63 (2007) standardına göre yapılan elek analizi yöntemi ve lazer kırınım yöntemi birlikte kullanılmıştır. Diğer örneklerde ise sadece lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen dane çapı dağılım yüzdeleri Tablo 2’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tüm zemin örnekleri büyük oranda siltten oluşmaktadır. 1, 2 ve 3 nolu örneklerde kum yok denecek kadar az iken, 4 ve 5 nolu örneklerde ise kum oranı kilden daha fazladır. 6, 7, 8 ve 9 nolu örneklerde ise kil ve kum oranı hemen hemen aynıdır.

Zemin örneklerinin likit limit (LL) ve plastik limitleri (PL) [ASTM D4318 \(2017\)](#) standardına göre yapılan deneyler ile belirlenmiş ve zemin örnekleri [ASTM 2487 \(2017\)](#) tarafından önerilen Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)’ne göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3). Yapılan sınıflamaya göre 1, 2, 3, 6, 7 ve 8 nolu örneklerin sınıfı yüksek plastisiteli silt (MH) olarak belirlenmiştir. Ancak, 4 ve 5 nolu örnekler ile 9 nolu örneğin orta seviyesinden alınan örneklerin LL ve PL değerleri belirlenememiştir. Bu nedenle, örnekler USCS’ye göre sınıflandırılmamış ve bu örneklerin sınıflandırılmasında [Prakash ve Sridharan \(2012\)](#) tarafından plastik olmayan (Non-plastik) zeminler için önerilen sınıflama sistemi kullanılmıştır. Bu sınıflama sistemi ile hem non-plastik ince dane içeren iri daneli zeminler hem de

non-plastik ince daneli zeminler sınıflandırılabilir. 4 ve 5 ile 9 nolu örneğin orta seviyesinden alınan örnekler için yapılan sınıflama sonucunda örneklerin zemin sınıfı inorganik iri silt (MLN) olarak belirlenmiştir.

Örnekleme noktaları ile zemin sınıfı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4), zemin sınıfı ile örnekleme noktaları arasında bir ilişki olduğunu görmek mümkündür. Nitekim Hazar Gölü’nün batısında göle giren ve malzeme taşıyan Kürk Çayı’nın göle giriş yaptığı alandan alınan örneklerde kum ve silt oranının artması nedeniyle zemin sınıfı MLN’dir. 9 nolu örnek hariç diğer örnekleme noktaları gölün orta kesimlerinde ve kıydan uzaktadır. Akarsularla göle taşınan iri malzeme bu alanlara ulaşmadan çökeldiği için bu örnekleme noktalarından alınan örneklerin zemin sınıfı MH’tır. 9 nolu örneğin alındığı örnekleme noktası (Şekil 4) kıydan uzak olmasına karşın, bu örneğin orta seviyelerinde kum ve silt oranının yüksek olması nedeniyle zemin non-plastik özelliindedir. Bu durum, geçmişte göle aşırı malzeme girişi olduğunu ve böylece iri danelerin gölün orta kısımlarına kadar yayıldığını göstermesi açısından önemlidir.

Tablo 3. Zemin örneklerinin kıvam limitleri ve sınıflandırılması

Örnek No	Örnekleme Adı	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı
1	HZ11-G01	58.00	33.34	24.66	MH
2	HZ11-G03	64.80	34.46	30.34	MH
3	HZ11-G08	50.60	31.38	19.22	MH
4	(a) (b) (c) HZ11-P05		Yapılamadı		MLN
5	(a) (b) (c) (d) HZ11-P06		Yapılamadı		MLN
6	(a) (b) (c) HZ11-G09	68.20 75.80 77.80	38.72 41.31 40.91	29.48 34.49 36.89	MH
7	(a) (b) (c) HZ11-G11	58.40 82.00 92.60	37.49 43.23 56.72	20.91 38.77 35.88	MH
8	(a) (b) HZ11-G12	71.30 70.00	43.39 39.58	21.91 30.42	MH
9	(a) (b) (c) (d) HZ11-P14	78.00 97.80	45.64 66.52	32.36 31.28	MH MLN

Zemin örneklerinin doymuş birim hacim ağırlığı (γ_d) [ASTM D4531-86 \(2010\)](#), doğal su içeriği (w) [ASTM D2216 \(2019\)](#), özgül ağırlığı (Gs) ise [ASTM D854-02 \(2014\)](#) standartlarına göre yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Ayrıca, zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açılarını (ϕ) belirlemek amacıyla [ASTM D3080/D3080M](#)

(2011) standardına göre drenajsız doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylere ait sonuçlar Tablo 4 ve 5’de verilmiştir.

MH sınıfı zeminlerin doymuş birim hacim ağırlığı 12.65-15.79 kN/m³, su içeriği % 62.70-170.24, boşluk oranı % 173.89-425.53, porozitesi % 63.29-

80.95, özgül ağırlığı ise 2.23-2.70 arasında değişmektedir. Zemin örnekleri oldukça düşük kohezyon ve içsel sürtünme açısına sahiptir. Kohezyon değeri en fazla 25.50 kPa iken, ϕ değerleri 0° - 11° arasında değişmektedir.

MLN sınıfındaki zeminin doymun birim hacim ağırlığı 12.45-18.73 kN/m³, su içeriği % 27.71-

141.38, boşluk oranı % 81.85-349.15, porozitesi % 45.01-77.73 ve özgül ağırlığı ise 2.36-2.78 değerleri arasındadır. Zemin örnekleri MH sınıfı zemine göre daha düşük c, daha yüksek ϕ değerlerine sahiptir. Maksimum c değeri 15.69 kPa iken, maksimum ϕ değeri ise 35° olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. MH sınıfındaki zeminlere ait laboratuvar sonuçları ve istatistiksel değerlendirme

Örnek No	Örnekleme Adı	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e (%)	n (%)	Gs	ϕ (°)	c (kPa)	
1	HZ11-G01	15.20	87.30	215.50	68.24	2.61	11.00	3.92	
2	HZ11-G03	15.50	82.12	191.91	65.67	2.53	0.00	25.50	
3	HZ11-G08	15.79	62.70	173.89	63.29	2.70	4.00	3.43	
6	HZ11-G09	(a)	13.14	170.24	425.53	80.95	2.59	1.00	1.77
		(b)	13.44	156.37	397.09	79.57	2.64	1.00	1.86
		(c)	13.53	154.97	383.68	78.96	2.60	8.00	1.96
7	HZ11-G11	(a)	13.04	158.66	405.47	80.03	2.60	0.50	1.77
		(b)	13.24	129.40	318.02	75.77	2.66	3.00	1.47
		(c)	13.83	128.32	316.45	75.38	2.55	1.00	1.96
8	HZ11-G12	(a)	14.02	166.81	386.39	77.70	2.55	8.00	3.92
		(b)	13.83	141.76	339.83	77.00	2.56	10.00	9.81
9	HZ11-P14	(a)	12.65	145.84	407.61	79.84	2.64	1.00	1.96
		(d)	13.53	93.87	215.31	68.08	2.23	3.00	3.92
En Az		12.65	62.70	173.89	63.29	2.23	0.00	1.47	
En Fazla		15.79	170.24	425.53	80.95	2.70	11.00	25.50	
Ortalama		13.90	129.11	321.28	74.65	2.57	3.96	4.87	
Standart Sapma		0.986	35.878	91.536	6.116	0.114	3.908	6.583	

Tablo 5. MLN sınıfındaki zeminlere ait laboratuvar sonuçları ve istatistiksel değerlendirme

Örnek No	Örnekleme Adı	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e (%)	n (%)	Gs	ϕ (°)	c (kPa)	
4	HZ11-P05	(a)	17.85	37.75	110.00	51.79	2.76	0.50	15.69
		(b)	18.73	27.71	81.85	45.01	2.78	35.00	9.81
		(c)	18.04	30.44	94.66	48.43	2.75	13.00	13.73
5	HZ11-P06	(a)	17.26	41.55	124.52	54.94	2.77	17.0	2.65
		(b)	18.44	32.81	95.08	48.57	2.76	12.00	7.36
		(c)	18.14	35.84	103.22	50.79	2.76	14.00	7.85
		(d)	17.75	29.96	92.62	48.05	2.68	10.00	4.90
9	HZ11-P14	(b)	12.45	141.38	349.15	77.73	2.36	1.00	1.96
		(c)	12.75	127.87	347.62	77.66	2.62	2.00	1.96
En Az		12.45	27.71	81.85	45.01	2.36	0.50	1.96	
En Fazla		18.73	141.38	349.15	77.73	2.78	35.00	15.69	
Ortalama		16.82	56.15	155.41	55.89	2.69	11.61	7.32	
Standart Sapma		2.431	44.823	110.06	12.668	0.1354	10.694	5.034	

Zeminlere ait jeomekanik özelliklerin derinlikle değişimleri incelendiğinde; en anlamlı ve belirgin değişimlerin doymun birim hacim ağırlığı, porozite ve boşluk oranı değerlerinde olduğunu görmek mümkündür. Her iki zemin sınıfında da doymun birim hacim ağırlık değerleri derinlikle orantılı olarak artış gösterirken, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. Bu değişim, zemin kalınlığının ve üstteki suyun yaptığı hidrostatik basıncın etkisiyle meydana gelen sıkılaşmadan kaynaklanmaktadır. Buna karşın, zeminlerin dayanım parametrelerinde (c ve ϕ) derinliğe bağlı olarak herhangi bir değişimden bahsetmek mümkün

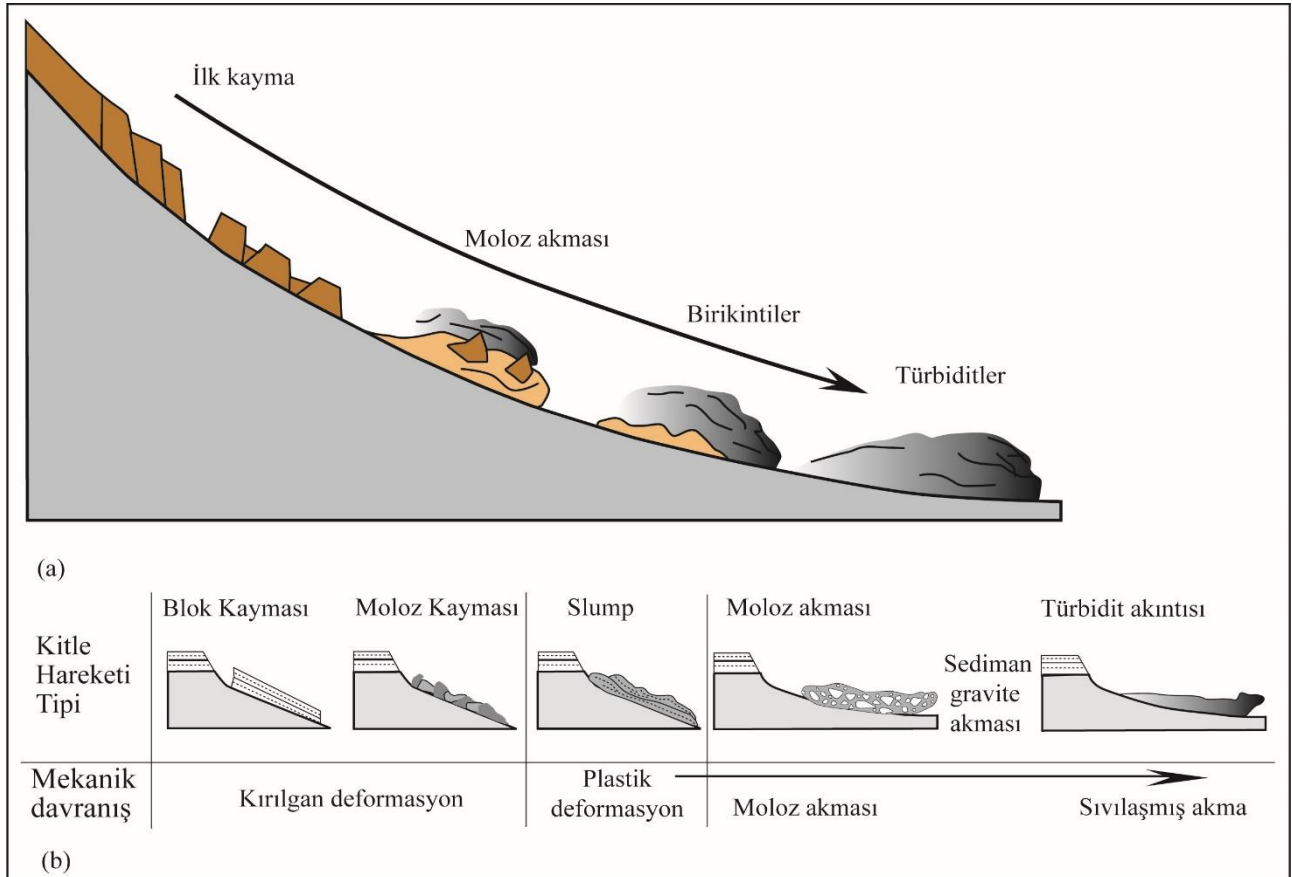
değildir ve bu parametrelere ait değerler oldukça değişkendir. Ancak, MH ve MLN sınıfı zeminlere ait c ve ϕ değerleri karşılaştırıldığında; MH sınıfı zeminlerde ortalama c değeri 4.87 kPa iken bu değer MLN sınıfı zeminlerde 7.32 kPa'dır. Ancak, ϕ değerlerinde durum farklıdır. MH sınıfı zeminlerin ortalama ϕ değeri 3.96° gibi çok düşük bir değerde iken, bu değer MLN sınıfındaki zeminlerde 11.61° 'dir ve 35° 'ye kadar ulaşabilmektedir. Zemin içerisindeki iri dane (kum) oranının artışına bağlı olarak ϕ değeri artarken, c değerlerinde ise azalma görülmektedir. Zeminlerin özgül ağırlık değerleri de zemin sınıfından etkilenmekte ve MH sınıfı

zeminlerin özgül ağırlık değerlerinin MLN sınıfındaki zeminlere göre daha az olduğu görülmektedir (Tablo 4 ve 5). Aynı örneğin farklı seviyelerinde özgül ağırlık değerlerinde gözlenen ani azalmaların bu seviyelerdeki artan organik malzemeden kaynaklanabileceğini söylemek mümkündür.

5. Hazar Gölü'ndeki sualtı (submarine) kütle hareketleri

Kıta kenarları ve şelf alanları birkaç km kalınlığa ulaşabilen kalın sediman serilerini içeren önemli çökel alanlarıdır ve bu alanlarda biriken farklı özelliklerdeki sedimanlar zaman içerisinde çeşitli faktörlerin etkisi ile yenilmekte ve denizaltında kütle hareketleri oluşmaktadır. Karasal yamaçlarda olduğu gibi, denizaltında da malzeme üzerine etkileyen hareket ettirici kuvvetler malzemenin kesme dayanımından daha büyük olduğunda yenilme meydana gelmekte ve şelfteki zemin veya kaya kütlesi yer değiştirmektedir. Denizaltında oluşan kütle hareketlerinde malzemenin cinsi,

dayanımı, zemin/kayanın sıvıya oranı, biriken malzemenin kalınlığı ve depremler gibi dinamik etkiler önemli bir rol oynamaktadır. Bu hareketler göller, kıyıya yakın alanlar, fiyortlar, aktif ve pasif kıta kenarları olmak üzere dünya çapında çok çeşitli ortamlarda meydana gelmektedir (Waneste vd., 2011). Denizaltı kütle hareketleri harekete ön hazırlık (pre-conditioning), hareketin tetiklenmesi (triggering) ve hareketin ilerlemesi veya bitişi (run-out) olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Locat, 2001; Canals vd., 2004). Hareketin bitiş aşaması genellikle, deniz tabanı altyapısına ve kayan malzemenin özelliğine bağlı olarak daha da alt bölümlere de ayrılabilir (Bryn vd., 2005) (Şekil 5a). Bu konuda yapılan çalışmalarda (Middleton ve Hampton, 1973; Nardin vd., 1979; Hampton vd., 1996; Shanmugam, 2000; Mulder ve Alexander, 2001; Förster, 2011), su altında gelişen kütle hareketleri genel olarak blok ve moloz kaymaları, slumplar, moloz akmaları ve türbidit akıntıları şeklinde sınıflandırmıştır (Şekil 5b).



Şekil 5. (a) Denizaltı kütle hareketi gelişiminin şematik gösterimi (Bryn vd., 2005), (b) Denize taşınan sedimanların kütle hareketi türleri ve mekanik davranışları (Förster, 2011)

Kaymalar (slide); kütlelerin ve blokların düzlemsel bir kayma yüzeyi boyunca aşağı doğru hareket ettiği kayma tipidir. Kayan kütlede deformasyon

gözlenmemekle birlikte kayma yüzeyinde küçük deformasyonlar gözlenebilmektedir. Kayan kütlelerin özelliğine bağlı olarak blok kayması veya

moloz kayması olarak adlandırılırlar. Bu hareketlerin oluşmasında biriken sedimanın kalınlığı ve türü önemli derecede rol oynarken, dinamik etkenler (deprem gibi) de hareketin oluşmasında etkili olabilmektedir. Dairesel yüzeyli kaymalar (slump); blok ve kütlelerin plastik deformasyon ile yamaç aşağı doğru kaydığı ve kaymanın konkav bir yüzey üzerinde gerçekleştiği hareket tipidir. Akmalar ise moloz akması ve türbiditik akmalar şeklinde oluşan hareket tipidir. Yamaç veya şelflerde biriken malzeme kendi ağırlığının etkisiyle yamaç aşağı doğru şelf yüzeyi boyunca hızlı bir şekilde hareket eder. Akan malzemeye ve akış tipine bağlı olarak moloz akması veya türbiditik akmalar olarak isimlendirilmektedirler (Maltman, 1994).

Denizaltı kütle hareketleri, tüm kıta kenarlarında ve tüm su derinliklerinde meydana gelen, Dünya üzerindeki en büyük doğa olayları arasındadır (Masson vd., 2006; Urlaub vd., 2013; Moscardelli ve Wood, 2016). Düşük eğimli yamaçlarda ($<2^\circ$) ve büyük mesafelerde (>1000 km) meydana gelebildikleri gibi, hacim açısından, karadaki emsallerinden üç kat ve daha büyük olabilmektedirler (Hampton vd., 1996; Huhnerbach ve Masson, 2004; Korup, 2012). Kıyı toplulukları için önemli bir risk oluşturarak zarar veren tsunamileri oluşturabilmekte (Bondevik vd., 2005; Tappin vd., 2014) ve aynı zamanda, petrol ve doğal gaz üretimi için kullanılan deniz tabanı altyapısına veya küresel internet trafiğinin %95'inden fazlasını taşıyan deniz tabanı telekomünikasyon kablolarına da zarar verebilmektedirler (Carter vd., 2012; Talling vd., 2014). Denizaltında meydana gelen bu kütle hareketlerinin nasıl tetiklendiğini açıklamak için çok çeşitli faktörler önerilmiştir (Locat ve Lee, 2002; Canals vd., 2004; Masson vd., 2006). Bunlar, heyelan malzemesinin jeolojik özellikleri, örneğin zayıf bir katmanın varlığı (Bryn vd., 2005; Locat vd., 2014), hızlı çökelti birikimi, aşırı basınç gelişimi (Dugan ve Flemings, 2000) ve aşırı dikleşme gibi geçici dış etkenleri içerir (Assier-Rzadkiewicz vd., 2000). Bu dış etkenlerden başka sismik yükleme (Piper vd., 1999), gaz hidrat ayrışması (Kennett vd., 2003; Maslin vd., 2004), fırtına dalgası ve gelgit yüklemesi (Bea vd., 1983), buzul yüklemesi (Mulder ve Moran, 1995), sızıntı (Orange ve Breen, 1992), volkanik etkenler (Masson, 1996), tektonik hareketler ve insan faaliyetleri (Dan vd., 2007) de etkili olmaktadır.

Bu konuda yapılan çalışmalarda en önemli gelişme, sismik yöntemler kullanılarak hareketin görüntülenmesi oluşturur ve en eski tam görüntüleme çalışmasında (Prior vd., 1982a) kıyıya yakın kütle hareketlerini görüntülemek için sığ suda

yüzey taramalı sonar kullanılmıştır. Daha derin alanlarda ise yandan taramalı sonar sistemleri kullanılmış ve geniş alanlarda 50-100 m'lik yatay çözünürlükler elde edilerek, binlerce km^2 'lik alana sahip çok büyük kütle hareketlerinin birinci dereceden özelliklerinin haritalanması sağlanmıştır (Lipman vd., 1988; McAdoo vd., 2000; Collot vd., 2001). Ayrıca, denizaltı kütle hareketlerinin iç yapısına ait ayrıntıları ortaya çıkarmak ve sınırlı olmasına rağmen kalınlıklarını tahmin etmek için yüksek çözünürlüklü 2D sismik yansıma çalışmaları da yapılmıştır (Bugge vd., 1987; Locat ve Lee, 2002).

Sualtı kütle hareketi ile ilgili çalışmalarda esas amaç, bir veya birden fazla hareket tipinin özelliklerini tanımlamak ve bunlarla ilişkili süreçler ile bu süreci kontrol eden ve hareketi tetikleyen faktörler hakkında çıkarımlar yapmaktır. Bu amaca yönelik olarak ayrıntılı yüzey ve yeraltı çalışmaları yapılır. Morfolojik analizler bu çalışmaların en önemli aşamasını temsil ederler ve petrol endüstrisinde kullanılan 3 boyutlu sismik yansıma tekniğinin morfolojik analizlere de uygulanmasıyla bu konuda çok ciddi bir gelişme sağlanmıştır (Frey-Martínez vd., 2006; Gee vd., 2007).

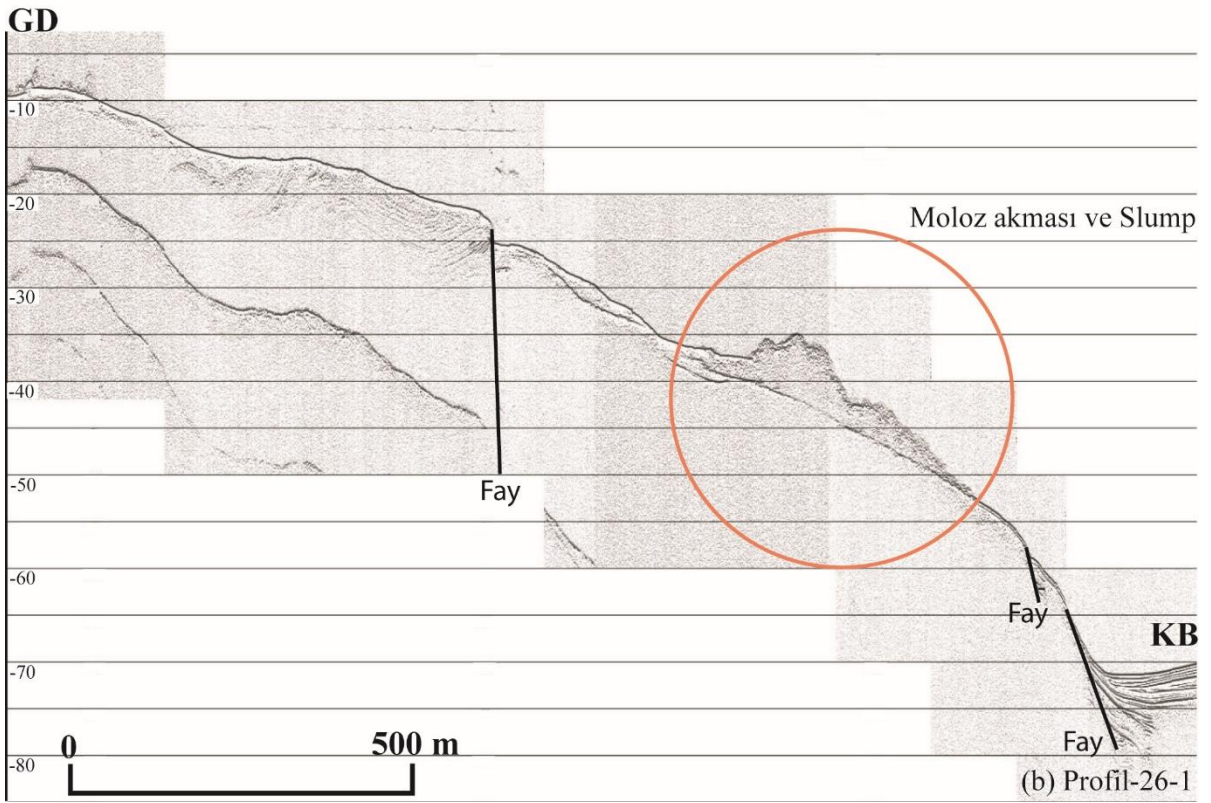
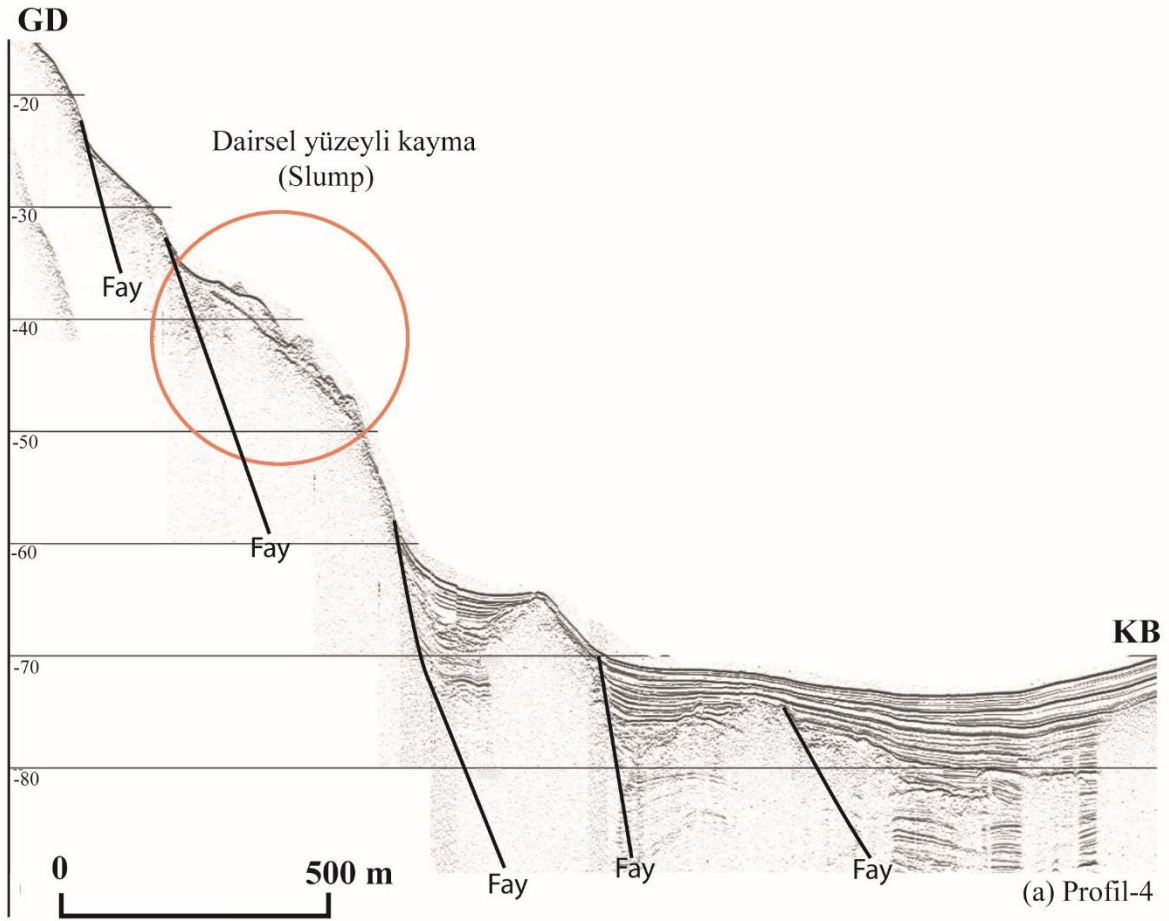
P-Cable gibi daha küçük ölçekli 3D sismik sistemler, deniz tabanında veya yakınındaki kütle hareketlerinin analizi için en uygun sistemlerdir ve 500 m den daha yukarıda çok yüksek çözünürlüğe (5-10 m) sahiptir (Berndt vd., 2012). 3D verilerin en büyük avantajı, hareket eden kütlelerin özelliklerini yorumlayarak derinlemesine yüzeyler elde etme ve bu tür yüzeylerle ilişkili sismik özellikleri analiz etme yeteneğidir (Dalla Valle vd., 2013). 3D verilerden türetilen sismik özellikler, sıvı akış özelliklerini, kırılma ağlarını ve bunların heyelan deformasyonu ile ilişkisini analiz etmek için idealdir (Bünz vd., 2005). Denizaltında oluşan kütle hareketlerinin erozyonel bazal yüzeyinin 3 boyutlu sismik jeomorfolojisi, yerleşim sırasında hareketin yönünü tanımlayan çizgileri ortaya çıkarabilmektedir. Hareket etmiş eski ve gömülü bir kütlelerin jeomorfolojisini hala deniz tabanındaymış gibi ortaya çıkarmak için 3D sismik verilerinin kullanılması, kütle hareketlerinin süreçleri hakkındaki anlayışımızı önemli ölçüde artırmaya devam etmektedir (Mountjoy ve Micallef, 2018).

Sualtı kütle hareketleri konusunda yapılan tüm çalışmalar ve bu çalışmalara ait veriler incelendiğinde, oldukça zor gerçekleştirilen bu çalışmaların sualtında meydana gelen kütle hareketlerinin özellikleri ve bu hareketi tetikleyen faktörler konusunda yoğunlaştığını görmek mümkündür. Bu veriler, hem bu kütle hareketlerini

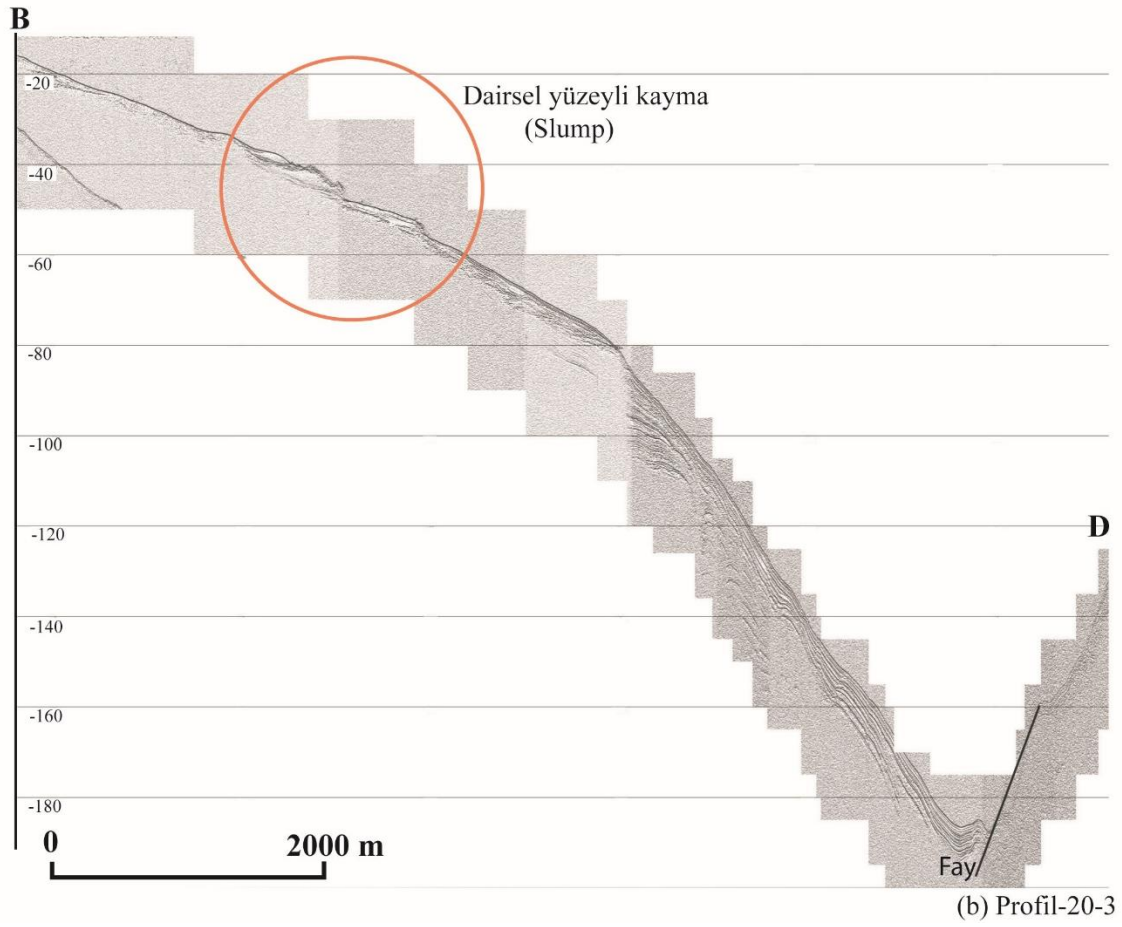
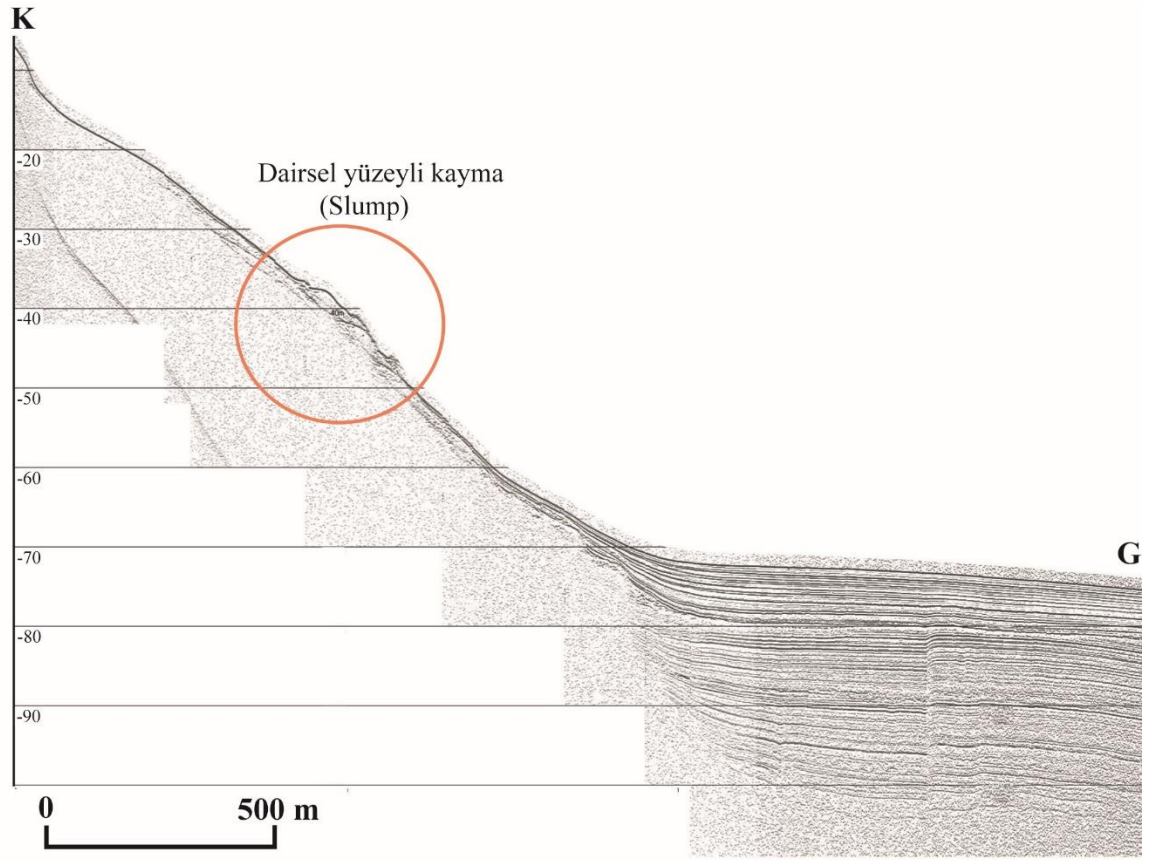
tanımlanması hem de bölgede geçmişte etkin olan deprem, volkanik aktivite gibi jeolojik etkenlerin ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın esas amacı Hazar Gölü çökellerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi olmakla birlikte, Hazar Gölü'ne ait sığ-sismik profillerde göl yamaçlarında sualtında meydana gelmiş olan kütle hareketlerinin varlığı, bu hareketlerin de araştırılmasını, hareket tipleri, oluşum süreci ile hareketlerin oluşumunda etkin olan faktörlerin ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır. Ancak, bu tür çalışmalarda daha detaylı incelemelere ve verilere gereksinim vardır. Şu an için bu kütle hareketlerinin oluşum mekanizması ve nedenlerini net olarak ortaya koyabilecek yeterli veri mevcut değildir. Ancak, eldeki veriler yardımıyla belirlenen kütle hareketlerinin tipi, hangi tür zeminler içerisinde geliştiği ve gelişiminde hangi faktörlerin etkili olduğu konusunda yorum yapmak mümkündür. Bu kütle hareketlerini tanımlamak ve sonraki yıllar için bir veri tabanı oluşturmak amacıyla kütle hareketlerinin gözlemlendiği 4, 26-1, 6, 20-3 ve 19-4 nolu sismik profillere ait kesitler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kesitler incelendiğinde, yüksek eğime sahip yamaçlarda çökel kalınlığı çok az (<3 m) iken, daha az eğimli yamaçlarda çökel kalınlığı 10 m'ye kadar ulaşabildiği görülmektedir. Göl yamaçlarının morfolojisinin oluşumunda ve buna bağlı olarak yamaçların eğimini belirleyen en önemli faktör, Hazar Gölü'nünden geçen DAFZ'ye ait düşey bileşeni de olan doğrultu atımlı faylardır. Bu faylar özellikle gölün güney yamaçlarının dikleşmesinde ana rolü oynamaktadırlar. Nitekim bölgeye ait

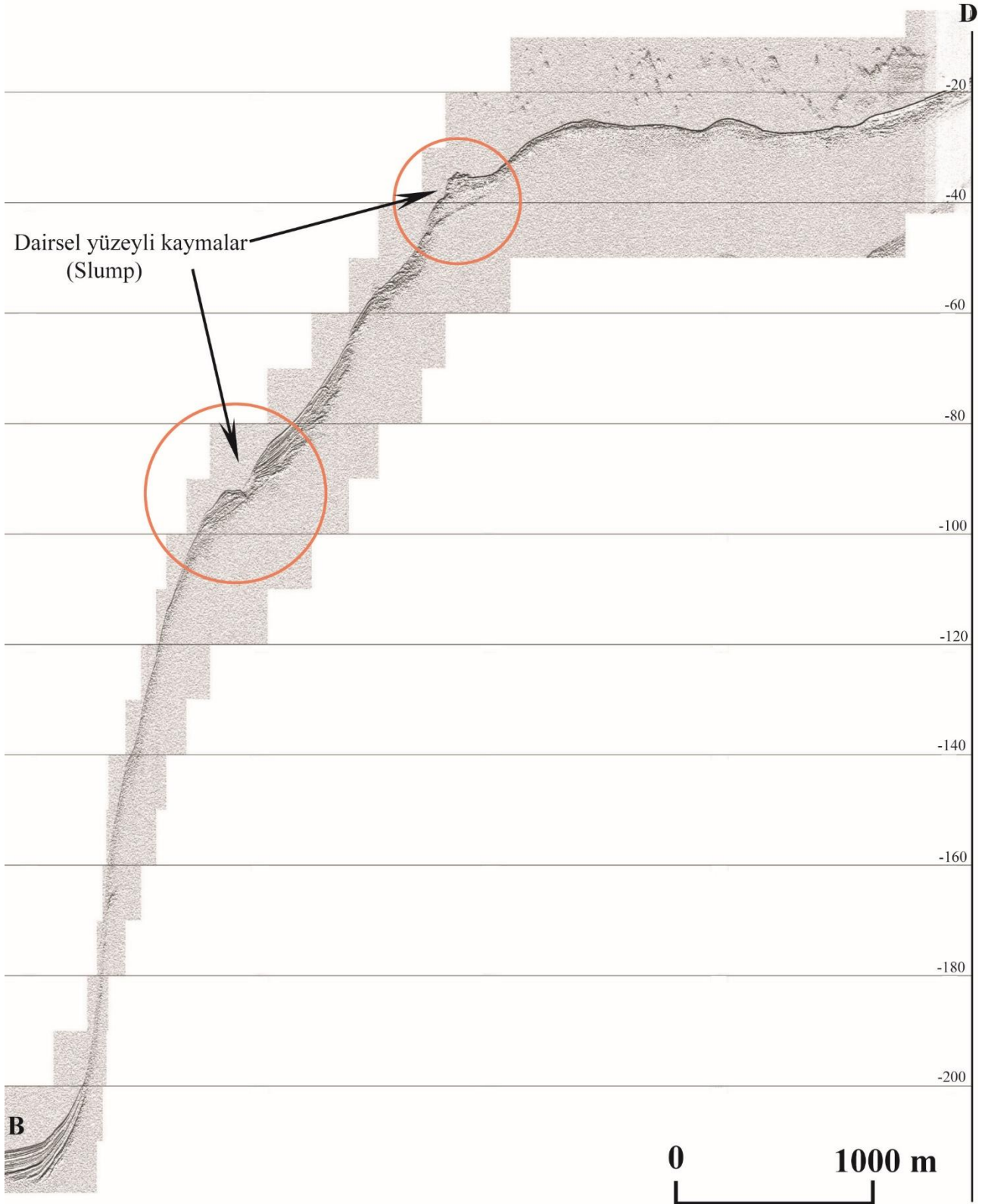
jeoloji haritası (Şekil 2) ve güney yamaçlara ait sismik profiller (Şekil 6) incelendiğinde, bu yamacın düşey veya düşey bileşeni olan doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Böylece, eğimin yüksek olduğu güney yamaçlarda zeminin dayanımı çok düşük olduğundan birikme olmamakta ve biriken zeminler de kendi ağırlığı ile göl tabanına doğru akmaktadır. Hazar Gölü'nün hem kuzey hem de güney yamaçlarında oluşmuş sualtı kütle hareketleri de çökel kalınlığının fazla, eğimin ise nispeten daha düşük olduğu yamaçlarda daha belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 6, 7 ve 8). Bu kütle hareketleri Holosen yaşlı sıkışmamış, boşluk oranı oldukça yüksek ve yüksek plastisiteli siltlerde (Tablo 3 ve 4) meydana gelmiştir ve genel olarak plastik deformasyonunda eşlik ettiği dairesel yüzeyli kayma (slup) tipi kütle hareketleridir. Sadece 26-1 nolu profile ait kesitte az da olsa plastik deformasyonun da gözlemlendiği moloz akması şeklindedir (Şekil 6b). Slump tipi plastik deformasyonun gözlemlendiği hareketler, kütlelerin daha çok kendi ağırlığı ile yamaç aşağı kaydığı, plastik deformasyonların ve konkav şekilli kayma yüzeylerinin görülebildiği kütle hareketleridir ve Hazar Gölü kuzey ve güney yamaçlarında gözlenen kütle hareketleri bu tanımlara tamamen uymaktadır. Hazar Gölü yamaçlarında biriken ve kütle hareketlerinin gözlemlendiği malzemenin dayanım değerlerine bakıldığında (Tablo 5), oldukça düşük dayanıma sahip bu malzemenin kayabilmesi için kendi ağırlığı yeterli olacaktır. Genel olarak malzemenin kendi ağırlığının etkisiyle oluşan bu kaymaları DAFZ'de meydana gelen depremler de kolaylaştırmaktadır.



Şekil 6. Hazar Gölü güney yamaçlarında gözlenen sualtı kütle hareketleri (a) 4 nolu profile ait kesit, (b) 26-1 nolu profile ait kesit (TÜBİTAK, 2014)



Şekil 7. Hazar Gölü kuzey yamaçlarında gözlenen sualtı kütle hareketleri (a) 6 nolu profile ait kesit, (b) 20-3 nolu profile ait kesit (TÜBİTAK, 2014)



Şekil 8. Hazar Gölü kuzey yamaçlarında 19-4 nolu profile ait kesitte gözlenen sualtı kütle hareketleri (TÜBİTAK, 2014)

6. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Hazar Gölü yamaçlarında birikmiş olan zeminden derlenen örneklerde yapılan zemin sınıflamalarına göre gölün orta kesimlerinden alınan 1, 2, 3, 6, 7 ve 8 nolu örneklerin MH sınıfında; 4 ve 5 nolu örneklerin ise MLN sınıfında olduğu belirlenmiştir. 9 nolu örneğin

ise alt ve üst seviyeleri MH sınıfında iken, ara seviyeler MLN sınıfındadır. Çökellerin zemin sınıfı ile örnekleme noktaları arasında bir ilişkinin varlığı dikkat çekmektedir. Hazar Gölü'nün batısındaki Kürk Çayı'nın göle giriş yaptığı alandan alınan örnekler MLN sınıfında iken, kıyıdan uzakta ve gölün orta kesiminden alınan örneklerin zemin sınıfı MH olarak belirlenmiştir. Kürk Çayı'nın taşıdığı çökellerden iri daneli olanlar, çayın göle giriş yaptığı alanlarda hemen çökelmekte, böylece bu alandan alınan örneklerdeki kum oranı daha fazla ve zemin sınıfı ise MLN olmaktadır. Daha ince daneler ise gölün orta kesimlerine kadar süspansiyon halinde ulaşarak çökelmektedir ve bu nedenle bu alanlardan alınan örneklerin zemin sınıfı MH'dır.

2. MH sınıfı zeminlerin doymuş birim hacim ağırlığı $12.65-15.79 \text{ kN/m}^3$, su içeriği % 62.70-170.24, boşluk oranı % 173.89-425.53, porozitesi % 63.29-80.95, özgül ağırlığı ise 2.23-2.70 arasında değişmektedir. Zemin örneklerinin oldukça düşük kohezyon ve içsel sürtünme açısına sahiptir. Kohezyon değeri en fazla 25.50 kPa iken, ϕ değerleri $0^\circ-11^\circ$ arasındadır.
3. MLN sınıfındaki zeminin doymuş birim hacim ağırlığı $12.45-18.73 \text{ kN/m}^3$, su içeriği % 27.71-141.38, boşluk oranı % 81.85-349.15, porozitesi % 45.01-77.73 ve özgül ağırlığı ise 2.36-2.78 değerleri arasındadır. MLN sınıfındaki zeminlerin maksimum c değeri 15.69 kPa, ϕ değeri ise 35° 'dir ve MH sınıfı zemine göre daha düşük c, daha yüksek ϕ değerlerine sahiptir. Zemin içerisindeki kum ve silt oranının artışına bağlı olarak ϕ değeri artarken, c değerlerinde ise azalma görülmektedir.
4. Zeminlerin doymuş birim hacim ağırlık değerleri derinlik arttıkça artmakta, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. Bu değişim, zemin kalınlığının ve üstteki suyun yaptığı hidrostatik basıncın etkisiyle meydana gelen sıkışmadan kaynaklanmaktadır. Ancak, c ve ϕ değerleri ile derinlik arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Bu değerler zeminin içerdiği danelerin boyutuna bağlı olarak artmakta veya azalabilmektedir. MH sınıfı zeminlerin ortalama ϕ değeri 3.96° iken bu değer MLN sınıfındaki zeminlerde 11.61° 'ye kadar ulaşabilmektedir.
5. MH sınıfı zeminlerin özgül ağırlık değerleri MLN sınıfındaki zeminlere göre daha azdır ve

aynı örneğin farklı seviyelerinde özgül ağırlık değerlerinde gözlenen ani azalmalar meydana gelmektedir. Bu azalmaların artan organik malzemeden kaynaklandığını söylemek mümkündür.

6. Hazar Gölü'ne ait sığ-sismik kesitlere göre, gölün yüksek eğime sahip özellikle güney ve doğu yamaçlarındaki çökel kalınlığı maksimum 3 m iken, daha az eğimli kuzey ve batı yamaçlardaki çökellerin 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Bunun nedeni, zeminin dayanımının çok düşük olması nedeniyle eğimin yüksek olduğu yamaçlarda zeminin kendi ağırlığı ile göl tabanına doğru akması ve nispeten yüksek eğimli bu yamaçlarda zeminin birikmesinin sınırlı olmasıdır. Hazar Gölü'nün kuzey ve güney yamaçlarındaki sualtı kütle hareketleri çökel kalınlığının fazla, eğimin ise nispeten daha düşük olduğu yamaçlarda gözlenmektedir.
7. Holosen yaşlı sıkışmamış, boşluk oranı oldukça yüksek ve MH sınıfı bu çökellerde gelişmiş olan sualtı kütle hareketleri genel olarak plastik deformasyonunda eşlik ettiği dairesel yüzeyli kayma (slup) tipi hareketlerdir. Bu hareket tipinde kütleler kendi ağırlığı ile yamaç aşağı kaymakta, plastik deformasyonların ve konkav şekilli kayma yüzeyleri görülebilmektedir. Hazar Gölü yamaçlarında biriken çökellerin çok düşük dayanıma sahip olması nedeniyle bu malzemenin kendi ağırlığının etkisiyle rahatlıkla aşağı doğru kayabilecektir. Bu kütle hareketlerinin oluşumunda DAFZ'de meydana gelen depremlerin de etkisi kaçınılmazdır. DAFZ'de meydana gelen depremlerin, göl yamaçlarındaki kütle hareketlerine olan etkilerinin belirlenebilmesi, sismik yüklerin dikkate alındığı geriye dönük duraylılık analizlerinin yapılması ve bölgede oluşan depremler sonrasında yapılacak sismik çalışmalar ile oluşan kütle hareketleri görüntülenerek elde edilen sonuçların denetlenmesi ile mümkün olabilecektir.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.12.24 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ai, F., Förster, A., Stegmann, S. ve Kopf, A. (2014). Geotechnical characteristics and slope stability analysis of the deeper slope of the Ligurian Margin, Southern France. *The Beijing Landslide Forum* (pp.549-555). Beijing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04996-0_84.
- Aksoy, E., İnceöz, M. ve Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: a negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 319-338.
- Alpar, B. (1999). Underwater signatures of the Kocaeli earthquake of 17 August 1999 in Turkey. *Turkish Journal of Marine Sciences*, 5, 111-130.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50, Ankara.
- Aslan Y. (2013). *Hazar Gölü (Elazığ) çökellerinin mühendislik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Assier-Rzadkiewicz, S., Heinrich, P., Sabatier, P.C., Savoye, B. ve Bourillet, J.F. (2000). Numerical modelling of a landslide-generated tsunami: the 1979 Nice event. *Pure Applied Geophysics*, 157, 1717-1727, <https://doi.org/10.1007/PL00001057>.
- ASTM D 422-63 (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4531-86 (2010). *Standard test methods for bulk density of peat and peat products*, in Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D3080/D3080M (2011). *Standart Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, in: Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, 347-352.
- ASTM D854-02 (2014). *Standard Test Method for Specific Gravity of Soils*, in: Annual Book of ASTM Standards, 04.08, West Conshohocken, 93-9.
- ASTM 2487 (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)* in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken.
- ASTM D4318 (2017). *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*, in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken, 582-595.
- ASTM D2216 (2019). *Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass obsolete*, in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken.
- Auffret, G.A., Auzende, J.M., Gennesseaux, M., Monti, S., Pastouret, L., Pautot, G. ve Vanney, J. (1982). Recent mass wasting processes on the Provencal Margin (Western Mediterranean). Saxov, S. and Nieuwenhuis, J.K. (Ed.), *Marine Slides and Other Mass Movements*, (pp. 53-58). New York: Springer.
- Bardet, J.P. (1997). *Experimental Soil Mechanics (1st ed.)*, New Jersey: Pearson Education.
- Başaran, S. (2002). *Marmara Denizi'nde kütle hareketi kökenli depoların sedimentolojik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Bea, R.G., Wright, S.G., Sircar, P. ve Niedoroda, A. (1983). Wave-induced slides in south pass block 70, Mississippi Delta. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109, 619-644, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:4\(619\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:4(619)).
- Berndt, C., Costa, S., Canals, M., Camerlenghi, A., De Mol, B. ve Saunders, M. (2012). Repeated slope failure linked to fluid migration: the ANA submarine landslide complex, Eivissa channel, Western Mediterranean Sea. *Earth Planetary Science Letters*, 319-320, 65-74, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.11.045>.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G. ve Froyen, L. (1998). Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena*, 32, 193-208.
- Bondevik, S., Løvholt, F., Harbitz, C.B., Mangerud, J., Dawson, A. ve Svendsen, J.I. (2005). The Storegga Slide tsunami-comparing field observations with numerical simulations. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1-2), 195-208, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.10.003>.
- Bryn, P., Berg, K., Forsberg, C.F., Solheim, A. ve Kvalstad, T.J. (2005). Explaining the Storegga Slide. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1-2), 11-19, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.12.003>.
- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R.H., Eidvin, T., Jansen, E., Kenyon, N., Holtedahl, H. ve Sejrup, H.P. (1987). A giant three-stage submarine slide off Norway. *Geo-Marine Letters*, 7(4), 191-198, <https://doi.org/10.1007/BF02242771>.
- Bünz, S., Mienert, J., Bryn, P. ve Berg, K. (2005). Fluid flow impact on slope failure from 3D seismic data: a case study in the Storegga Slide. *Basin Research*, 17(1):109-122, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2005.00256.x>.

- Canals, M., Lastras, G., Urgeles, R., Casamor, J.L., Mienert, J., Catdaneo, A., De Batist, M., Haflidason, H., Imbo, Y., Laberg, J.S., Locat, J., Long, D., Longva, O., Masson, D.G., Sultan, N., Trincardi, F. ve Bryn, P. (2004). Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA Project. *Marine Geology*, 213(1-4), 9-72, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.10.001>.
- Canpolat, Ö., Eriş, K.K. ve Akkoyun, E.Ö. (2020). Determining the concentration level of some elements caused by geological period in the sediments of Lake Hazar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(4), 1001-1011, <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i4.1001-1011.3319>.
- Carter, L., Milliman, J.D., Talling, P.J., Gavey, R. ve Wynn, R.B. (2012). Near-synchronous and delayed initiation of long run-out submarine sediment flows from a record-breaking river flood, offshore Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 39, L12603, <https://doi.org/10.1029/2012GL051172>.
- Cochonat, P., Bourillet, J.F., Savoye, B. ve Dodd, L. (1993). Geotechnical characteristics and instability of submarine slope sediments, the Nice slope (N-W Mediterranean Sea). *Marine Georesources & Geotechnology*, 11(2), 131-151, <https://doi.org/10.1080/10641199309379912>.
- Collot, J-Y., Lewis, K., Lamarche, G. ve Lallemand, S. (2001). The giant Ruatoria debris avalanche on the northern Hikurangi margin, New Zealand: result of oblique seamount subduction, *Journal Geophysical Research*, 106(B9), 19271-19297, <https://doi.org/10.1029/2001JB900004>.
- Çağatay, M.N., Algan, O., Sakinc, M., Eastoe, C., Tolun, L., Balkis, N., Ongan, D. ve Caner, H. (1999). A Mid-Late Holocene sapropelik sediment unit from the southern Marmara shelf and its palaeoceanographic significance. *Quaternary Geology Reviews*, 18, 531-540, [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(98\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(98)00094-8).
- Çetin, H., Güneçli, H. ve Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.08.003>.
- Dalla Valle, G., Gamberi, F., Rocchini, P., Minisini, D., Errera, A., Baglioni, L. ve Trincardi, F. (2013). 3D seismic geomorphology of mass transport complexes in a foredeep basin: examples from the Pleistocene of the central adriatic basin (Mediterranean Sea). *Sedimentary Geology* 294, 127-141, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.05.012>.
- Dan-Unterseh, G., Sultan, N. ve Savoye, B. (2007). The 1979 Nice harbour catastrophe revisited: trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modelling. *Marine Geology*, 245(1-4), 40-64, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.011>.
- Dugan, B. ve Flemings, P.B. (2000). Overpressure and fluid flow in the New Jersey continental slope: implications for slope failure and cold seeps. *Science* 289(5477), 288-291, <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.288>.
- Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics. *Geological Society, London, Special Publications published online*, 372,495-529, <https://doi.org/10.1144/SP372.14>.
- Dunne, L.A. ve Hempton, M.R., (1984). Deltaic sedimentation in the Lake Hazar pull-apart basin, south-eastern Turkey. *Sedimentology*, 31(3), 401-412, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00868.x>.
- Elverhøi, A., Norem, H., Anderson, E.S., Dowdeswell, J.A., Fossen, I., Haflidason, H., Kenyon, N.H., Laberg, J.S., King, E.L., Sejrup, H.P., Solheim, A. ve Vorren, T., (1997). On the origin and flow behavior of submarine slides on deep-sea fans along the orwegian-Barents Sea continental margin. *Geo-Marine Letters*, 17, 119-125, <https://doi.org/10.1007/s003670050016>.
- Eriş, K.K. (2013). Late Pleistocene-Holocene sedimentary records of climate and lake-level changes in Lake Hazar, eastern Anatolia, Turkey, *Quaternary International*, 302, 123-134, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.12.024>.
- Eriş, K.K., Ryan, W.B.F., Çağatay, M.N., Sancar, U., Lericolais, G., Ménot, G. ve Bard, E. (2007). The timing and evolution of the post-glacial transgression across the Sea of Marmara shelf south of Istanbul. *Marine Geology*, 243(1-4), 57-76, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.04.010>.
- Eriş, K.K., Akçer Ön, S., Çağatay, M.N., Ülgen, U.B., Ön, Z.B., Gürocak, Z., Arslan, T.N., Bal Akkoca, D., Damcı, E., İnceöz, M. ve Öztekin Okan, Ö. (2018a). Late Pleistocene to Holocene paleoenvironmental evolution of Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 436, 4-16, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.027>.
- Eriş, K.K., Arslan, T.N. ve Sabuncu, A. (2018b). Influences of climate and tectonic on the middle to late Holocene deltaic sedimentation in Lake Hazar, Eastern Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 3685-3697, <https://doi.org/10.1007/s13369-017-3021-1>.

- Förster, A. (2011). *Geotechnical measurements to characterise slope sediments and to identify landslide mechanisms and their impact on ecosystems*, Doctoral Thesis, Faculty of Geosciences of Bremen University.
- Förster, A., Stegmann, S., Meyer, M., Strozyk, F., Krastel, S. ve Kopf, A. (2007). Geotechnical investigations to characterise landslide-prone slope sediments in the Cretan Sea (Northern Crete). *International Conference and 97th Annual Meeting of the Geologische Vereinigung* (pp.149). Bremen.
- Förster, A., Strasser, M., Strozyk, F., Spagnoli, G., Stegmann, S. ve Kopf, A. (2008). Characterization of landslide-prone slope sediments in the Cretan sea (eastern Mediterranean), *33rd International Geological Congress* (pp.151), Oslo.
- Förster, A., Spieß, V., Kopf, A.J. ve Dennielou, B., (2010a). Mass wasting dynamics at the deeper slope of the Ligurian Margin (Southern France). Mosher, DC., Shipp, C., Moscardelli, L., Chaytor, J., Baxter, C., Lee, H., and Urgeles, R. (Ed.), *Submarine Mass movements and Their Consequences* (pp. 67-77). New York; London: Springer.
- Förster, A., Ellis, R.G., Henrich, R., Krastel, S. ve Kopf, A.J. (2010b). Geotechnical characterization and strain analyses of sediment in the Mauritania Slide Complex, NW-Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 27(6), 1175-1189, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.02.013>.
- Frey-Martínez, J., Cartwright, J. ve James, D. (2006). Frontally confined versus frontally emergent submarine landslides: a 3D seismic characterisation. *Marine and Petroleum Geology*, 23(5), 585-604, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2006.04.002>.
- Gazioglu, C., Yucel, Z.Y. ve Dogan, E., (2005). Morphological features of major submarine landslides of Marmara Sea using multibeam data. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 664-673, <https://doi.org/10.2112/03-0060.1>.
- Gee, M., Uy H.S., Warren, J.K., Morley, C.K. ve Lambiase, J.J. (2007). The Brunei slide: a giant submarine landslide on the North West borneo margin revealed by 3D seismic data. *Marine Geology*, 246(1), 9-23, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.07.009>
- Gokceoglu, C., Tunusluoglu, M.C., Gorum, T., Tur, H., Gokasan, E., Tekkeli, A.B., Batuk, F. ve Alp, H. (2009). Description of dynamics of the Tuzla Landslide and its implications for further landslides in the northern slope and shelf of the Cinarcik Basin (Marmara Sea, Turkey). *Engineering Geology*, 106(3-4), 133-153, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.02.007>.
- Gurur, N., Ozeren, M.S., Cagatay, M.N. ve Sengor, A.M.C. (2008). Northern margin of the Cinarcik Basin: An unstable submarine fault scarp prone to mass movements. *61th Geological Congress of Türkiye* (pp. 219-220). Ankara.
- Gürocak, Z. (1993). *Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hampton, M.A., Lee, H.J. ve Locat, J. (1996). Submarine landslides. *Reviews of Geophysics*, 34(1), 33-59, <https://doi.org/10.1029/95RG03287>.
- Hempton, M.R. (1984). Results of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains). *Geology of Taurus Belts*, 229-235.
- Hempton, M.R. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis Suture Zone near Lake Hazar southeastern Turkey. *The Geological Society of America Bulletin*, 96(2), 233-243, [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96<233:SADHOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96<233:SADHOT>2.0.CO;2).
- Hempton, M.R., Dunne, L.A. ve Dewey, J.F. (1983). Sedimentation in an active strike-slip basin, South-eastern Turkey, *Journal of Geology*, 91(4), 401-412, <https://doi.org/10.1086/628786>.
- Herece, E. ve Akay, E. (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. *Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildirileri*, 361-372.
- Huntington, E. (1902). The valley of the upper Euphrates River and its people. *Geological Society of America Bulletin*, 34, 301-318.
- Hühnerbach, V. ve Masson, D.G. (2004). Landslides in the North Atlantic and its adjacent seas: an analysis of their morphology, setting and behaviour. *Marine Geology*, 213(1-4), 343-362, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.10.013>.
- Imran, J., Harff, P. ve Parker, G. (2001a). A numerical model of submarine debris flow with graphical user interface. *Computers & Geosciences*, 27(6), 717-729, [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(00\)00124-2](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00124-2).
- Imran, J., Parker, G., Locat, J. ve Lee, H. (2001b). 1D Numerical model of muddy subaqueous and subaerial debris flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(11), 959-968, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2001\)127:11\(959\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:11(959)).
- Ioualalen, M., Migeon, S. ve Sardoux, O. (2010). Landslide tsunami vulnerability in the Ligurian Sea: case study of the 1979 October 16 Nice international airport submarine landslide and of

- identified geological mass failures. *Geophysical Journal International*, 181(2), 724-740, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04572.x>.
- Jackson, J.A. ve McKenzie, D. (1984). Active tectonic of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kaya, A. (1993). *Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kaya, A. (2004). Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 41-50.
- Kaymakci, N., Inceöz, M. ve Ertepinar, P. (2006). 3D architecture and neogene evolution of the Malatya basin: inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacik fault zones. *Turkish Journal of Earth Sciences* 15, 123-154.
- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P. ve Koc, A. (2010). Late cretaceous to recent kinematics of SE Anatolia (Turkey), In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R., Starostenko, V., Bergerat, F. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications*, 340, 409-435, <http://dx.doi.org/10.1144/SP340.18>.
- Kennett, J.P., Cannariato, K.G., Hendy, I.L. ve Behl, R.J. (2003). Methane hydrates in quaternary climate change: the Clathrate Gun Hypothesis. *Washington DC: American Geophysical Union Special Publication*, 54, 216, <http://dx.doi.org/10.1029/054SP>.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66, 20-34.
- Kim, G.Y. ve Kim, D.C. (2001). Comparison and correlation of physical properties from the plain and slope sediments in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(5), 669-681, [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00062-6).
- Koçyiğit, A., Aksoy, E. ve Inceöz, M. (2003). Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey, *Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeoseismology*, METU (Ankara, Turkey).
- Kokum, M., ve Inceoz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.06.016>.
- Kopf, A.J., Stegmann S., Garziglia, S., Henry, P., Dennielou, B., Haas, S. and Weber, K.C. (2016). Soft sediment deformation in the shallow submarine slope off Nice (France) as a result of a variably charged Pliocene aquifer and mass wasting processes. *Sedimentary Geology*, 344, 290-309, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.05.014>.
- Korup, O. (2012). Earth's portfolio of extreme sediment transport events. *Earth Sciences Review*, 112(3-4), 115-125, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.006>.
- Kuscu, I., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y. ve Özalp, S. (2009). Recognition of active faults and stepover geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260(1-4), 90-101, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.02.003>.
- Lee, C., Yun, T.S., Lee, J.S., Bahk, J.J. ve Santamarina, J.C. (2011). Geotechnical characterization of marine sediments in the Ulleung Basin, East Sea. *Engineering Geology*, 117(1-2), 151-158, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.10.014>.
- Lee, H.J. (2009). Timing of occurrence of large submarine landslides on the Atlantic Ocean margin. *Marine Geology*, 264(1-2), 53-64, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.09.009>.
- Lee, H.J., Chun, S.S., Yoon, S.H. ve Kim, S.R. (1993). Slope stability and geotechnical properties of sediment of the southern margin of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Marine Geology*, 110(1-2), 31-45, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90103-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90103-3).
- Lipman, P.W., Normark, W.R., Moore, J.G., Wilson, J.B. ve Guatmacher, C.E. (1988). The giant submarine Alike debris slide, Mauna Loa, Hawaii. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 93(B5), 4279-4299, <https://doi.org/10.1029/JB093iB05p04279>.
- Locat, J. (2001). Instabilities along ocean margins: a geomorphological and geotechnical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 18(4), 503-512, [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(00\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(00)00076-3).
- Locat, J. ve Lee, H.J. (2002). Submarine landslides: advances and challenges. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, 191-212, <https://doi.org/10.1139/t01-089>.
- Locat, J., Leroueil, S., Locat, A. ve Lee, H. (2014). *Weak layers: their definition and classification from a geotechnical perspective*, In: Krastel S, Berhmann JH, Volker D, Stipp M, Berndt C, Urgeles R, Chaytor JD, Huhn K, Strasser M, Harbitz CB (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, Switzerland: Springer International Publishing.

- Lu, N., Ristow, G.H. ve Likos, W.J. (2000). The accuracy of hydrometer analysis for fine-grained clay particles. *Geotechnical Testing Journal*, 23(4), 487-495, <https://doi.org/10.1520/GTJ11069J>.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. ve Gündoğdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204(1-2), 1-15, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90265-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90265-8)
- Ma, Z., Merkus, H.G., de Smet, J.G.A.E., Heffels, C. ve Scarlett, B. (2000). New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape. *Powder Technology*, 111(1-2), 66-78, [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(00\)00242-4](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(00)00242-4).
- Maltman, A. (Ed.) (1994). *The geological deformation of sediments*. Dordrecht: Springer.
- Maslin, M., Owen, M., Day, S. ve Long, D. (2004). Linking continental slope failures and climate change: testing the clathrate gun hypothesis. *Geology*, 32(1), 53-56, <https://doi.org/10.1130/G20114.1>.
- Masson, D.G. (1996). Catastrophic collapse of the volcanic island of Hierro 15 ka ago and the history of landslides in the Canary Islands. *Geology*, 24(3), 231-234, [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0231:CCOTVI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0231:CCOTVI>2.3.CO;2).
- Masson, D.G., Harbitz, C.B., Wynn, R.B., Pedersen, G. ve Løvholt, F. (2006). Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364(1845), 2009-2039, <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1810>.
- McAdoo, B.G., Pratson, L.F. ve Orange, D.L. (2000). Submarine landslide geomorphology, US continental slope. *Marine Geology*, 169(1-2), 103-136, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00050-5).
- Middleton, G.V. ve Hampton, M.A. (1973). Sediment gravity flows: Mechanics of flow and deposition. Middleton, G.V. and Bouma, A.H. (Ed.), *Turbidites and Deep Water Sedimentation* (pp. 1-38). California: SEPM Short Course Notes.
- Moreno, D.G., Ferrari, A.H., Moernaut, J., Fraser, J.G., Boes, X., Van Daele, M., Avsar, U., Çagatay, N. ve De Batist, M. (2011). Structure and recent evolution of the Hazar basin: a strike-slip basin on the east Anatolian Fault, Eastern Turkey. *Basin Research*, 23, 191-207, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00476.x>.
- Moscardelli, L. ve Wood, L. (2016). Morphometry of mass-transport deposits as a predictive tool. *GSA Bulletin*, 128(1-2), 47-80, <https://doi.org/10.1130/B31221.1>.
- Mountjoy, J. ve Micallef, A. (2018). *Submarine Geomorphology*, Chapter: Landslides, Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57852-1_13.
- MTA, (2008). *DAF boyu jeoloji haritası, Palu ve Şiro Bölütü*. Ankara: Maden Tetkik Arama.
- MTA, (2012). *1/250000 Ölçekli Türkiye diri fay harita serisi, Elazığ Paftası, Seri No: 45*. Ankara: Maden Tetkik Arama.
- Mulder, T., Tisot, J.-P., Cochonat, P. ve Bourillet, J.-F. (1994). Regional assessment of mass failure events in the Baie des Anges, Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 122(1-2), 29-45, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90203-8).
- Mulder, T. ve Moran, K. (1995). Relationship among submarine instabilities, sea level variations and the presence of an ice shett on the continental shelf: an example from the Verrill Canyon area, Scotian Shelf. *Palaeogeography and Paleoclimatology*, 10(1), 137-154, <https://doi.org/10.1029/94PA02352>.
- Mulder, T. ve Alexander, J. (2001). The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, 48(2), 269-299, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2001.00360.x>.
- Nalbant, S.S., McClosky, J., Steacy, S. ve Barka, A.A., (2002). Stres accumulation and increased seismic risk in Eastern Turkey. *Earth Planetary Science Letters*, 195, 291-298.
- Nardin, T.R., Hein, F.J., Gorsline, D.S. ve Edwards, B.D. (1979). A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. Doyle, L.J., Pilkey, O. H. (Eds.), *Geology of continental slopes* (pp.61-73). California: SEPM Special Publication.
- Orange, D.L. ve Breen, N.A. (1992). The effects of fluid escape on accretionary wedges 2. Seepage force, slope failure, headless submarine canyons and vents. *Journal of Geophysical Research*, 97(B6), 9277-9295, <https://doi.org/10.1029/92JB00460>.
- Prakash, K. ve Sridharan, A. (2012). Classification of Non-Plastic Soils. *Indian Geotechnical Journal*, 42(2), 118-123, <https://doi.org/10.1007/s40098-012-0007-5>.
- Perinçek, D. (1979a). *Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları*: TPAO arşiv no:1361.
- Perinçek, D. (1979b). *The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya*

- Region. Ankara: Geological Society of Turkey, Special Publication.
- Piper, D.J.W., Cochonat, P. ve Morrison, M.L. (1999). The sequence of events around the epicentre of the 1929 Grand Banks earthquake: initiation of debris flows and turbidity currents inferred from sidescan sonar. *Sedimentology*, 46(1), 79-97, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00204.x>.
- Prior, D.B., Bornhold, B.D., Coleman, J.M. ve Bryant, W.R. (1982a). Morphology of a submarine slide, Kitimat Arm. British Columbia. *Geology*, 10(11), 588-592. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10<588:MOASSK>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10<588:MOASSK>2.0.CO;2)
- Rajasekaran, G. (2006). Influence of microfossils and pyrites on the behaviour of oceanbed sediments. *Ocean Engineering*, 33(3-4), 517-529, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.02.015>.
- Sarı, E. ve Çağatay, M.N. (2001). Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, 26(3), 169-173, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(00\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(00)00097-0).
- Sarı, E. ve Çağatay, M.N. (2006). Turbidites and their association with past earthquakes in the deep Çınarcık Basin of the Marmara Sea. *GeoMarine Letters*, 26, 69-76, <https://doi.org/10.1007/s00367-006-0017-3>.
- Shanmugam, G. (2000). 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models - a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17(2), 285-342, [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(99)00011-2).
- Stegmann, S. (2007). *Design of a free-fall penetrometer for geotechnical characterisation of saturated sediments and its geological application*, Doctoral Thesis, Faculty of Geosciences of Bremen University, Germany.
- Stegmann, S. ve Kopf, A.J. (2017). Marine deep-water free-fall Cpt measurements for landslide characterisation off crete, Greece (Eastern Mediterranean Sea) Part 1: A New 4000M Cone Penetrometer. *Submarine Mass Movements and Their Consequences, Publishing Springer*, 171-177, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6512-5_18.
- Stegmann, S., Mörz, T. ve Kopf, A.J. (2006). Initial results of a new Free Fall-Cone Penetrometer (FF-CPT) for geotechnical in situ characterisation of soft marine sediments. *Norwegian Journal of Geology* 86(3), 199-208.
- Strozky, F., Strasser, M., Förster, A., Kopf, A. ve Huhn, K., (2010). Slope failure repetition in active magrin environments-constraints from submarine landslides in the Hellenic forearc, eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 115(B8), 103, <https://doi.org/10.1029/2009JB006841>.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H. (1985). Elazığ-Palu Alanının Jeolojisi. *T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83-190.
- Şaroğlu, F., Emre, O. ve Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian fault zone of Turkey. *Annalae Tectonicae*, 6, 99-125.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. K.T. Biddle ve N. Christie-Blick (Ed.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation* (pp. 227-267). Tulsa: SEPM Special Publication.
- Talling, P.J., Clare, M., Urlaub, M., Pope, E., Hunt, J.E. ve Watt, S.F.L. (2014). Large submarine landslides on continental slopes: geohazards, methane release, and climate change. *Oceanography*, 27(2), 32-45, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2014.38>.
- Tappin, D.R., Grilli, S.T., Harris, J.C., Geller, R.J., Masterlark, T., Kirby, J.T. Shi, F., Ma, G., Thingbaijam, K.K.S. ve Mai, P.M. (2014). Did a submarine landslide contribute to the 2011 Tohoku tsunami? *Marine Geology*, 357, 344-361, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.09.043>.
- Tolun, L., Çağatay, N. ve Carrigan, W.J. (2002). Organic geochemistry and origin of Late Glacial-Holocene sapropelic layers and associated sediments in Marmara Sea. *Marine Geology*, 190(1-2), 47-60, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00342-0](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00342-0).
- TUBİTAK, (2014). *Hazar Gölü'nde (Elazığ) Pleyistosen-Holosen dönemi yüksek çözünürlüklü iklim ve su seviyesi değişimleri*. Proje No: 111Y045.
- Urlaub, M., Talling, P.J. ve Masson, D.G. (2013). Timing and frequency of large submarine landslides: implications for understanding triggers and future geohazard. *Quaternary Science Reviews*, 72, 63-82, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.04.020>.
- Vanneste, M., Forsberg, C.H., Glimsdal, S., Harbitz, C.B., Issler, D., Kvalstad, T.J., Løvholt, F. ve Nadim, F. (2006). Submarine landslides and their consequences: What do we know, what can we do? *The Second World Landslide Forum, Proceedings* (pp.1-11). Rome.
- Vitton, S.J ve Sadler, L.Y. (1997). Particle size analysis of soils using laser light scattering and X-Ray absorption technology. *Geotechnical Testing*

- Journal*, 20(1), 63-73, <https://doi.org/10.1520/GTJ11421J>.
C. Göncüoğlu (Ed.), *Geology of the Taurus Belt International Symposium* (pp. 199-208). Ankara.
- Wen, B., Aydın, A. ve Aydın-Duzgoren, N.S. (2002). A comparative study of particle size analysis by sieve-hydrometer and laser diffraction methods. *Geotechnical Testing Journal*, 25(4), 434-442, <https://doi.org/10.1520/GTJ11289J>.
- Westaway, R. (2003). Kinematics of the Middle East and eastern mediterranean updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12(1), 5-46.
- Winters, W.J., Dugan, B. ve Collett, T.S. (2008). Physical properties of sediments from Keathley Canyon and Atwater Valley, JIP Gulf of Mexico gas hydrate drilling program. *Marine and Petroleum Geology*, 25, 896-905, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.01.018>.
- Yazgan, E. (1984). Geodynamics Evolution of the Southern Taurides in the Regio. O. Tekeli and M. Yılmaz, H., Över, S. ve Özden, S. (2006). Kinematics of the East Anatolian Fault zone between Turkoglu (Kahramanmaraş) and Celikhan (Adiyaman). Eastern Turkey. *Earth Planets Space*, 58, 1463–1473, <https://doi.org/10.1186/BF03352645>.
- Yun, T.S., Narsilio, G.A. ve Santamarina, J.C. (2006). Physical characterization of core samples recovered from Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 23(9-10), 893-900, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2006.08.002>.
- Zhang, Z. ve Tumay, M.T. (1995). Granulometric evaluation of particle size using suspension pressure during sedimentation. *Geotechnical Testing Journal*, 18 (1), 121-129, <https://doi.org/10.1520/GTJ10129J>.

Van bindirme fayı tampon zonunun il afet risk azaltma planı (İRAP) çerçevesinde değerlendirilmesi

Evaluation of the Van thrust fault buffer zone within the framework of the provincial level disaster risk reduction plan (IRAP)

Elif E. ÖZVAN^{1,a}, Hasan ÇETİN^{2,b}, Ali ÖZVAN^{*3,c}, İsmail AKKAYA^{4,d}

¹ Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Adana

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van

⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van

• Geliş tarihi / Received: 06.05.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 17.06.2021

Öz

Deprem ihtimali taşıyan illerde, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yürütülen İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında, şehirlerin risk haritası hazırlanmaya başlamıştır. Risk çalışmalarının öncelikli konularından biri de faya bağlı tampon bölgelerin belirlenmesidir. Fayın zeminlerde oluşturduğu deformasyon ve risk, yerleşim alanlarında alan kaybına ve değer kaybına neden olmaktadır. Olası deprem sırasında ortaya çıkacak can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi için tampon bölgenin doğru belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Van Gölü doğusunda yer alan eski göl ve akarsu sedimanlarından oluşan Van/Bardakçı bölgesindeki Pleistosen-Holosen yaşlı kil çökellerinin mühendislik özellikleri ve bu zemini kesen bindirme fayının zemin özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. 23 Ekim 2011 (Mw=7.1) Van depremine neden olan ve bindirme karakterli Van Fayı'nın tavan ve taban blokları üzerinde yapılan sondajlar ile her iki blok içerisinde alınan zemin numuneleri üzerinde zeminin özellikleri belirlenmiştir. Arazide Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Menard Presiyometre Testi (MPT) yapılmıştır. Aynı zamanda, kil çökellerden örselenmiş ve örselenmemiş (UD) zemin numuneleri alınmış ve laboratuvarında bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bindirme fayına yakın kesimlerde tavan bloğunda zemin özelliklerinin taban bloğa nazaran daha düşük dayanım özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bindirme türü fay kuşaklarında zemine bağlı afet riski değerlendirildiğinde, tampon bölgenin fayın taban bloğuna göre, tavan bloğunda daha geniş tutulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bindirme fayı, İRAP, Kil zemin, Taban blok, Tampon bölge, Tavan blok, Van

Abstract

Within the scope of the Provincial Level Disaster Risk Reduction Plan (IRAP) carried out by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) in provinces with earthquake probability, the risk map of the cities has been started to be prepared. One of the priority titles of risk studies is determining the buffer zones of faults. The deformation and risk caused by the fault in the settlement area cause loss of area and value on the surface. In order to prevent loss of life and property during a possible earthquake, great importance to determine the buffer zone correctly. In this study, the engineering properties of the Pleistocene-Holocene clay deposits in the Van / Bardakçı region, which consists of old lake and stream sediments located in the east of Lake Van, and how the thrust fault cutting these sediments affects the soils properties was investigated. The characteristics of the soils were determined on the clay samples taken from both the hanging and foot walls by drillings along the Van Fault which caused the 23 October 2011 (Mw = 7.1) Van earthquake. In the field, Standard Penetration Test (SPT) and Menard Pressiometer Test (MPT) were performed. At the same time, disturbed and undisturbed (UD) soil samples were taken from the clay deposits and their physical and mechanical properties were determined in the laboratory. When the results were evaluated, it has been determined that the soil properties of the hanging wall show lower strength properties than the footwall in the zone near to the fault. In disaster risk evaluations, it was concluded that the buffer zone on the hanging wall should be wider than on the foot wall in thrust fault zones.

Keywords: Thrust fault, IRAP, Clay soil, Foot wall, Buffer zone, Hanging wall, Van

*c Ali ÖZVAN; aozvan@yyu.edu.tr, Tel: (0533) 4517973, orcid.org/0000-0001-5459-3989

^a orcid.org/0000-0002-3355-3432

^b orcid.org/0000-0002-8301-5405

^d orcid.org/0000-0002-7682-962X

1. Giriş

Nüfus artışı ve göçler, hızla büyümekte olan şehir merkezlerinde sürdürülebilir planlama ve uygun arazi kullanım planlarının acil bir şekilde yapılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu hızlı gelişim ile birlikte, mühendislik hizmetlerinden yoksun yer seçimleri ve niteliksiz yapılaşma risk dinamiğini giderek arttırmaktadır. Bu nedenlerle sürdürülebilir kentsel gelişmeye sahip olabilmek için stratejiler ve politikalar geliştirilmelidir. Son yıllarda deprem, sel, çığ, taşkın, heyelan gibi doğa olayları sonrasında yaşanan can ve mal kayıplarının azaltılmasına yönelik ülkemizde afet risklerinin belirlenmesi ve azaltılması kapsamında AFAD başkanlığı tarafından İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) hazırlık çalışmalarına başlanılmıştır. İRAP bir ilin sahip olduğu afet risklerinin olası etkilerini ortaya koyan bir koordinasyon çalışmasıdır.

Afet denildiğinde de ülkemize akla gelen ilk konu deprem olmaktadır. Depreme bağlı oluşan yapısal hasarlarda bina özelliklerinin önemi kadar yapıların üzerinde yer aldıkları zemin özelliklerinin ve bu zeminlerin deprem esnasındaki tepkilerinin ne denli önemli olduğu son yıllarda meydana gelen depremlerle bir kez daha öne çıkmıştır (Akkaya vd., 2015).

Gerek afet yönetimi gerekse depreme bağlı oluşan hasarların en aza indirgenebilmesi için zemin özelliklerinin ve bu zeminleri etkileyen veya etkileyebilecek unsurların ortaya konması büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, deprem gibi dinamik kuvvetlere bağlı oluşabilecek zemin yapısındaki değişimlerin belirlenmesi son derece önem arz etmektedir.

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde yerleşime esas çalışmalar yapılırken farklı bakış açısı ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak olası risk dağılımı ortaya çıkarılmaktadır. Özellikle kohezyonlu zeminlerde birim deformasyon ve zaman arasındaki ilişki lineer olmadığından bu birimler üzerinde inşa edilecek yapılarda bina yüküne bağlı olarak oturmalar gerçekleşebilmekte ve yapıya ciddi ölçüde zarar verebilmektedir. Bu nedenle yer-yapı ilişkisinin doğru bir şekilde kurulması gerekmektedir. Yapıların oturtulacağı zeminlere ait taşıma gücü ve oturma gibi özelliklerin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başında da Menard Presiyometre Testi (MPT), Standart Penetrasyon Testi (SPT), Konik Penetrasyon Testi (CPT), plaka yükleme gibi arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri gelmektedir. Özellikle MPT ve SPT zeminlerin yerinde dayanımlarının

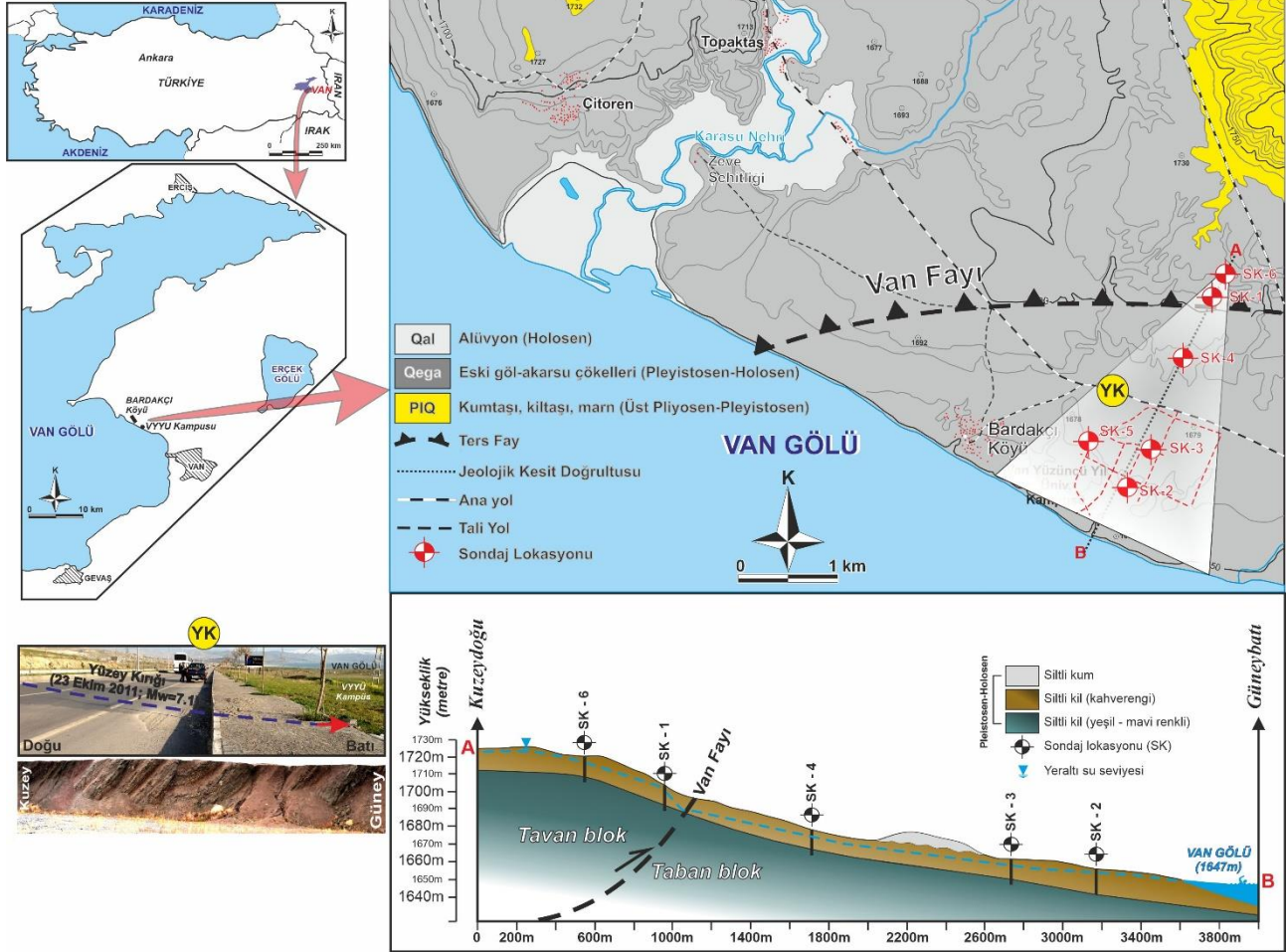
belirlenmesinde sıkça kullanılmaktadır (Özvan vd., 2018; Özvan, 2019). Genelde laboratuvar verilerine bağlı deneyler için alınan numunelerde oluşabilen örselenme ve numunenin inceleme alanını tam olarak yansıtamaması gibi etkenler, laboratuvar elde edilen ve hesaplamalarda kullanılan parametrelerin doğruluğunu azaltabilmektedir. Ayrıca zemin tabakalarının tamamından örnek almak hem çok pahalı hem de çok zaman aldığından, genelde pek tercih edilmemektedir. Yerinde yapılan deneylerin en büyük avantajı zemini örselemeksizin daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edebilmeleridir. Ayrıca yerinde deney yöntem ile istenilen derinlik seviyesinde parametre üretilebilmesi de önemli bir avantajdır.

Bu çalışmada, Van/Bardakçı bölgesindeki bindirme fayı civarında Van Gölü'nün geçmiş dönemlerdeki su seviye değişimleri sonucu çökelmiş eski göl ve akarsu sedimanlarından oluşan Pleistosen-Holosen yaşlı kil çökellerinin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 23 Ekim 2011 Van depremine ($M_w=7.1$) neden olan ve bindirme karakterli Van Fayı'nın tavan ve taban blokları üzerinde yapılan sondajlar ile her iki blok içerisindeki zeminlerin özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Van Fayından uzaklaştıkça, göl çökellerinin killi seviyelerindeki zemin parametrelerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Buna göre benzer fay karakteristiklerinin hakim olduğunda ne gibi zemin özellikleriyle karşılaşılacağı ve bu özelliklerin nasıl etkilenebileceği hakkında bulgular elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, bölgedeki killerin mevcut mühendislik özelliklerini etkileyen faktörler dikkate alınarak, afet yönetimi açısından önemli olan risk zonunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda, seçilen inceleme alanında Van Gölü'nden kuzeye doğru yaklaşık 4 km'lik bir hat boyunca eski göl çökelleri içerisindeki kil seviyeleri incelenmiştir (Şekil 1). İlk aşamada inceleme alanı ile ilgili önceki çalışmalar gözden geçirilmiş ve kil seviyesinin yoğun olabileceği 6 farklı sondaj noktası belirlenmiştir (Akin vd., 2015; Akkaya vd., 2019; Özvan vd., 2019). Zeminler içerisinde yaklaşık 15'er metrelik zemin sondajları planlanmış ve bu sondajlarda her 1.5 metrede bir MPT ve yaklaşık olarak aynı seviyelerde olacak şekilde SPT deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, açılan sondaj kuyularında arazi şartları elverdiğince örselenmiş ve örselenmemiş (UD) zemin numuneleri alınarak, zeminin fiziksel özellikleri (su içeriği, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, elek analizi ve kıvam

limit deneyleri) ve mekanik özellikleri (konsolidasyon ve üç eksenli sıkışma deneyleri) belirlenmiştir. SPT ve MPT parametrelerinin karşılaştırılması için 50 darbeden sonra da SPT deneyine devam edilmiştir. Böylece SPT deneyinde şahmerdanın geri sıçramadığı ve tijlerde eğilmenin olmadığı durumlara kadar 45cm'lik ilerleme sağlanmaya çalışılmıştır.

İnceleme alanında toplam 80 adet UD numunesi alınmıştır. Bu numuneler laboratuvar ortamında konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneylerine tabi tutulmadan önce uygun boyutlarda tüplerden çıkarılmaya çalışılmıştır. Düşük ve yüksek plastisiteli kil (CL ve CH) sınıfında olduğu belirlenen killerin konsolidasyon deneyi sonrasında aşırı konsolide oldukları belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının jeolojisi ve KD-GB doğrultulu jeolojik kesiti.

2. Çalışma alanının jeolojisi

Van Gölü havzası, Arap ile Avrasya levhalarının çarpışması sonucu, Doğu Anadolu Yüksek Platosu (Şengör vd., 1979; Dewey vd., 1986; Şaroğlu vd., 1986) içerisinde Geç Pliyosen'de oluşmaya başlamış ve Kuvaterner başından itibaren etkili olan volkanizmayla birlikte bölge son şeklini almıştır (Degens vd., 1978; Acarlar vd., 1991). Van Gölü çevresindeki temel kaya Paleozoik-Mezozoyik yaşlı Bitlis Metamorfik Masifidir. Van Gölü'nün doğusunda, Jura kireçtaşları, Geç Kretase ofiyolitleri, Paleosen-Eosen kireçtaşları, Oligosen-Miyosen yaşlı türbidit çökelleri ve eski göl çökelleri yer almaktadır (Bowles, 1988).

İnceleme alanı farklı dönemlerdeki Van Gölü su hareketlerine bağlı olarak çökelen Kuvaterner (Pleyistosen) yaşlı eski göl ve akarsu sedimanlarından oluşmaktadır (Şekil 1). Farklı kalınlıklara ve farklı mühendislik özelliklerine sahip olan bu sedimanlar özellikle Van Gölü'nün doğusunda geniş alanlarda görülmektedir. Van Gölü Havzası, Paleozoyik'ten günümüze kadar farklı yaşlardan kayaç türlerinin yüzeylendiği ve tektonizmanın da etkisiyle oldukça karmaşık stratigrafiye sahip bir alandır. Eski göl çökellerinin toplam kalınlığı yaklaşık 150 metredir (Acarlar vd., 1991). Alanda eski göl çökellerinin yanında eski akarsu çökelleri ile güncel akarsu çökelleri de yer almaktadır (Acarlar vd., 1991; Selçuk, 2003; Koçyiğit, 2013; Akkaya vd., 2015; Akkaya vd., 2019).

Bu birimler, 23 Ekim 2011 Van depreminde ($M_w=7.1$) hareket eden Van Fayı tarafından, inceleme alanının kuzeyinde kesilmekte ve inceleme alanının kuzeybatısından Van Gölü'ne kadar uzanmaktadır. Bu birimleri kesen Van Fayı kuzeye eğimli bindirme fayı karakteristiğindedir (Şekil 1).

3. Arazi çalışmaları

Çalışma alanında yapılmış önceki sondaj verilerinin yanı sıra bindirme fayının etki alanını incelemek için fayın tavan ve taban bloğunda 6 adet sondaj yapılmış (Şekil 1) ve bölgedeki killi zeminler hem arazi hem de laboratuvar verileriyle birlikte incelenmiştir.

3.1. Arazi deneyleri

Yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinin başında SPT ve MPT gelmektedir. SPT, zeminin penetrasyon direncini ölçmeyi amaçlayan ve uygulamalarda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. SPT yönteminde otomatik şahmerdan ile deney tüpünün, zemine penetrasyonu sağlanarak SPT-N darbe sayıları elde edilmiş, ardından SPT- N_{60} değerleri hesaplanmıştır (Bowles,1988; ASTM D1586/D1586M-18, 2018). SPT testi (Şekil 2a), ASTM standartlarına uygun olarak yapılmıştır (ASTM D1586/D1586M-18, 2018).

MPT ise zemin içerisinde yerleştirilen bir ekipmanla zeminin yanal deformasyon karakteristiklerinin ölçülmesini amaçlar. Bu ekipmanın kullanımı aşamasında karşılaşılan zorluklar, ekipmanın daha fazla geliştirilmesini sağlamış ve böylece “Menard Presiyometresi” adıyla günümüze ulaşmıştır (Menard, 1957).

MPT, özellikle laboratuvar deney numunesi alınamayacak kadar zayıf, bozunmuş zeminlerde ve çok çatlaklı kaya kütlelerinde uygulanmaktadır. MPT ekipmanı okuma ünitesi, sonda, basınçlı hava tüpü ve hortum olmak üzere 4 ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2b). Sondaj deliğinden içeri gönderilen sonda 44 mm veya 66 mm çaplarında olup ana gövde, basınçlı hava hücresi ve basınçlı su hücresi olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Kuyu içerisindeki test seviyesinde sonda, basınçlı hava yardımıyla şişirilir ve sondaj kuyusu çeperlerine 60 saniyede bir basınç uygulanır ve zemin deforme edilmeye çalışılır. Uygulanan basınç zemini yenerse, kuyu çeperleri deforme olmaya başlar ve basınçlı su hücresine ilave su

gönderilmeye başlanır. Sondaya gönderilen su miktarı her 15, 30 ve 60 saniyede bir kaydedilir. İşte uygulanan bu basınç düzeyi, zeminin yenilmeye uğradığı basıncı, gönderilen su miktarı ise bu basınç karşısında zeminde elde edilen deformasyon miktarını temsil etmektedir.

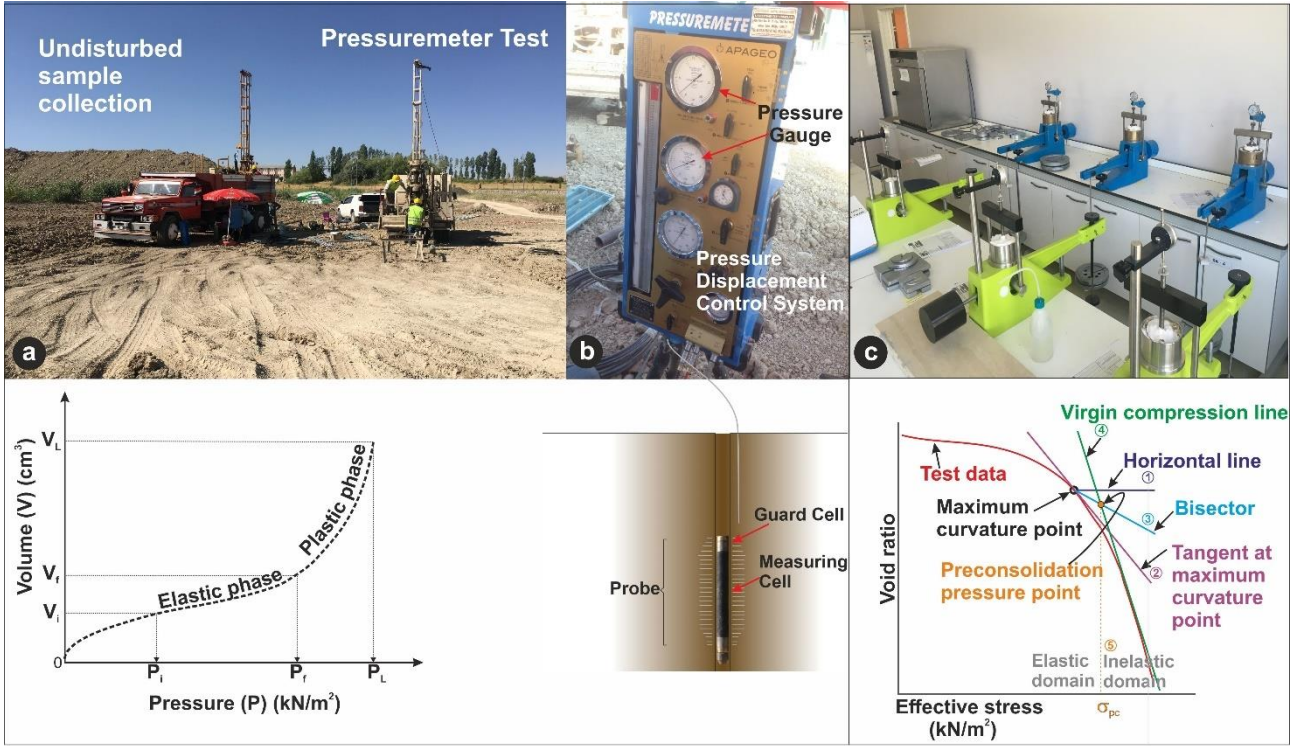
Bu deney sonucunda basınç ve hacim değişimini gösteren presiyometre eğrisi çizilmekte ve bu eğri üzerinden Net Limit Basınç (P_L) ve Menard Deformasyon Modülü (E_M) değerleri test yapılan her seviye için hesaplanmaktadır (Baquelin vd., 1978; Mair ve Wood, 1987). P_L , sondanın hacminin, orijinal zemin boşluğu hacminin iki katına ulaşıldığı basınçtır. E_M ise, düzeltilmiş basınç-hacim eğrisinin pseudo-elastik kısmının eğiminden hesaplanmaktadır. Bu deney esnasında, ASTM, AFNOR ve APAGEO standartları kullanılmıştır.

Arazi deneylerinden elde edilen veriler yaklaşık 15'er metrelik 6 adet zemin sondajlarından elde edilmiş olup ilk kuyuda her 1.5 metrede bir MPT yapılırken, aynı seviyelere denk gelecek şekilde eş zamanlı olarak ve yaklaşık 5 metrelik uzaklıkta konumlanmış ikinci kuyuda ise SPT yapılmıştır (Şekil 2). Ayrıca, açılan sondaj kuyularında arazi şartları elverdiğince örselenmiş ve örselenmemiş (UD) zemin numuneleri alınmıştır. Numunelerin hava ile temasını önlemek amacıyla parafin ile kaplanmış ve streç filme sarılmıştır. Laboratuvar ortamında, zeminin fiziksel özellikleri (su muhtevası, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, elek analizi ve kıvam limit deneyleri) ve mekanik özellikleri (konsolidasyon ve üç eksenli sıkışma deneyleri) belirlenmiştir.

3.2. Laboratuvar deneyleri

İnce daneli birimlerin fiziksel özelliklerini belirlemek için çalışma alanında farklı noktalarda yapılan 6 adet sondaj çalışmasından alınan örselenmiş numuneler üzerinde ASTM standardına uygun olarak Atterberg limit deneyleri yapılmıştır (ASTM D-4318, 2009).

İnceleme alanındaki ince daneli birimlerin mekanik özelliklerini belirlemek için ASTM standardına göre konsolidasyon deneyleri yapılmıştır (ASTM D-2435, 2009). Deneyde, sabit yük artım süresi 24 saat ve katları ile gerçekleştirilmiştir. Her bir stres artışı, gözeneplerdeki aşırı su basınçları tamamen tükenene kadar sürdürülmüştür.



Şekil 2. SPT, PMT ve konsolidasyon ölçümlerine ilişkin görüntüler.

Bu çalışmaya ait deneylerde minimum numune çapı 50 mm ve yüksekliği 20 mm olan numuneler kullanılmıştır. Deney sırasında boy değişimleri okunabilirliği 0.01 mm olan komparatörden okunmuştur. Şayet deney, doymuş veya su tablasının altından alınan bir numune üzerinde gerçekleştirilmiş ise, oturma yüklenmesinden kısa bir süre sonra konsolidasyon hücresine su eklenmiştir. Numune, oturma yükünün uygulanmasından kısa bir süre sonra su altında kalmaması halinde ise, buharlaşma nedeniyle numune hacmindeki değişimi önlemek için konsolidasyon cihazı nemli bir pamuk ile kaplanmış ve buharlaşma önlenmiştir. Numune, sabit toplam gerilme artışlarına maruz bırakılmıştır. Deney sonunda bakir bir sıkıştırma eğrisinin eğiminin veya ön konsolidasyon basıncının elde edilmesi için, nihai basınç, ön konsolidasyon basıncının dört katına eşit veya ondan büyük değerlere ulaşacak yüklerden seçilmiştir. Yüklemeler genelde minimum 2.5 kPa gerilme oluşturacak şekilde başlatılmıştır. Boşaltma sırasında deney sonunda kabarmayı en aza indirmek için, numune oturma yüküne (2.5 kPa) geri döndürülmüştür.

Ön konsolidasyon basıncı (σ_{pc}) belirlenmesine yönelik farklı araştırmacılar tarafından yöntemler geliştirilmiştir (Casagrande, 1936; Tchalenko, 1967; Esu ve Calabresi, 1969). Bu yöntemlerden en çok kullanılanı Casagrande tarafından önerilen yöntem olup (Casagrande, 1936), σ_{pc} 'nin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu yöntemde,

herhangi bir zeminin etkisi altında kaldığı ve ona dokusunun son şeklini veren en büyük efektif gerilme (σ') değeri, ön konsolidasyon basıncı olarak tanımlanmaktadır. Ön konsolidasyon basıncının belirlenmesinde, Casagrande (Casagrande, 1936) 'nin geliştirdiği grafik yönteminden elde edilen verilerin kullanılmasıyla çizilen boşluk oranı (e)-efektif gerilme (σ') grafiği üzerinden ön konsolidasyon basıncı (σ_{pc}) belirlenmiştir.

Ayrıca UD numunelerinden alınan kil zemin üzerinde laboratuvarında konsolidasyonsuz ve drenajsız (UU) üç eksenli sıkıştırma deneyi yapılmıştır. Düşey yük etkisiyle oluşan kırılma anına denk gelen asal gerilmelerden (σ_1, σ_3) Mohr daireleri çizilerek, Coulomb'un kayma formülüne ait c ve ϕ değerleri elde edilmiştir. Deney ASTM standardına göre yapılmıştır (ASTM D2850, 2015).

3.3. İnce daneli birimlerin indeks özellikleri

Çalışmada yapılan sondajlardan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) zemin numuneleri alınarak, numunelerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir (Tablo 1). Alınan numunelerin dane boyu oranlarına bakıldığında, ince dane boyuna sahip silt ve kil miktarının, toplam dane boyuna oranı % 80'den fazla olarak belirlenmiştir. Doğal su içerikleri incelendiğinde, ince dane boyuna sahip zemin numunelerinin genel olarak suya doymun olmadıkları gözlenmektedir. Aynı numunelerin su

içeriklerine bakıldığında, en yüksek su içeriğinin % 32.0, en düşük su içeriğinin ise % 11.6 olduğu belirlenmiştir. İncelenen numunelerin büyük bir kısmının su içeriklerinin % 20-24 arasında, ortalama su içeriğinin de % 21.9 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Özgül ağırlıkları ve yoğunluk değerine bakıldığında sırasıyla en yüksek özgül ağırlık değeri 2.87, en düşük özgül ağırlık değeri 2.60, en yüksek yoğunluk 2.14 gr/cm³, en düşük yoğunluk değeri de 1.82 gr/cm³ olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Kıvam indisi değerleri incelendiğinde, bu birimlerin Likit Limit (LL) değerleri en büyük % 88, en küçük % 25 olarak belirlenirken, Plastik Limit (PL) değerleri en büyük % 32, en küçük % 15 olarak belirlenmiştir. Bu değerler plastisite abağına yerleştirildiğinde incelenen killi seviyelerin düşük (CL) ve yüksek (CH) plastisiteli kil zemin sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Arazi deneylerinde SPT darbe sayılarının N₃₀ değerlerinin özellikle faya yakın kesimlerde refü verdiği (>50 darbe/30cm) belirlenmiştir (Tablo 1). Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, otomatik şahmerdan kullanılarak alınan SPT değerlerinde 50 darbeden sonra SPT verilerinin MPT verileri ile karşılaştırılması için penetrasyona devam edilmeye çalışılmıştır.

İnceleme alanında SPT testleri ile aynı seviyeye karşılık gelecek şekilde her 1.5 m’de bir MPT testi yapılmaya çalışılmıştır. Arazide yapılan bu test kuyu içi göçme, yeraltı suyu gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir. Bu gibi durumlardan dolayı testler sonrasında elde edilen değerler yorumlandığında bazı seviyelerde Menard presiyometre (elastik) modülü (E_M) ve net limit basınç (P_L) değerleri hesaplanamamıştır. İnceleme alanında toplamda 33 ayrı seviyede E_M ve P_L değerleri hesaplanabilmiştir (Tablo 1). Hesaplanan değerlere bakıldığında E_M değerlerinin 58.7 ile 658.9 kgf/cm² arasında, P_L değerlerinin ise 8.7 ile 67.1 kgf/cm² arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler Menard tarafından verilen (Menard, 1975) tipik E_M ve P_L değer aralıkları ile karşılaştırıldığında zeminin çok katı–sert kil olduğu görülmektedir. Bu değerler incelenen

zeminlerin fiziksel özellikleri ve SPT-N₆₀ değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçlar arasında bir uyumun olduğu da ayrıca belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama E_M değerlerine bakıldığında, en yüksek E_M değerlerinin Van Fayı’na yakın alanlarda, en düşük E_M değerlerinin ise göle yakın alandaki (güneybatı) (SK-2) kuyudan elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 1). Bu deneyde de SPT testindeki gibi derinlik arttıkça E_M değerlerinin de arttığı görülmektedir.

4. Verilerin değerlendirilmesi

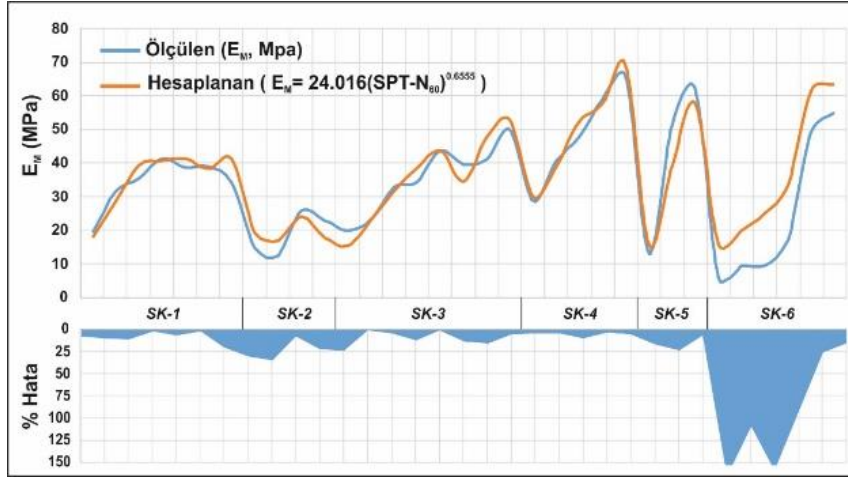
Çalışma alanındaki ince daneli birimlerde yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçlarının karşılaştırılması ve aralarındaki ilişkilerin ortaya konması için değerlendirmeler yapılmıştır. σ_{pc} ve E_M değerlerinin derinlik ile değişimlerine bakıldığında genelde derinlik arttıkça σ_{pc} ve E_M değerlerinin arttığı görülmektedir. Kohezyon (c) değerleri zemin içerisindeki dane boyu, su içeriği gibi özelliklerden etkilendiği için arazi ve laboratuvar verileri arasındaki ilişkiyi elde etmek güç olmaktadır. c değerlerinin derinlik ile değişimlerine bakıldığında genelde derinlik arttıkça c değerlerinin de arttığı görülmektedir. Presiyometre testlerinden elde edilen Net Limit Basınç (P_L) ile SPT-N₆₀ değerleri de genelde derinlik arttıkça artmaktadır.

Van Fayı’nın tavan bloğunda faya yakın noktadaki (SK-1 ve SK-6) zemin verilerine bakıldığında, zemindeki deformasyon yapılarından dolayı bu noktadaki zemin verilerinin etkilendiği belirlenmiştir (Şekil 3).

SK-6 hariç ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki hata payları da oldukça düşük hesaplanmıştır (Şekil 3). Çalışma alanındaki arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerle hesaplanan regresyon ilişkilerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir (Özvan Erdeve, 2019). SK-6 noktasında faya bağlı deformasyonların yüksek olması bu değerlerdeki hata oranlarının da artmasına neden olmuştur.

Tablo 1. İncelenen killi seviyelere ait bazı fiziksel özellikler ve zemin sınıfları.

SK	Derinlik (m)	SPT		MPT (kgf/cm ²)		Atterberg (%)			ω%	Yoğunluk (gr/cm ³)	c (kg/cm ²)	Φ (°)	σ _{pc} (kN/m ²)	Zemin Sınıfı
		N	N ₆₀	E _M	P _L	LL	PL	PI						
1	1.00	38	21	193.1	8.7	66	27	39	16.4	2.11	0.19	4	125.6	CH
1	2.00	73	44	315.8	32.5	66	27	39	24.4	2.03	0.33	12	127.5	CH
1	2.75	100	64			45	20	24	16.0					CL
1	4.50	100	71	354.3	25.4	44	20	24	20.2	2.13	0.26	8	147.2	CL
1	5.50	105	75	414.9	38.4	44	18	26	12.7	2.10	0.32	4	138.3	CL
1	6.50	108	77	387.7	38.3				23.5	1.98	0.35	5	137.3	CL
1	7.25	102	73			88	28	60	22.3					CH
1	8.75	91	68	390.6	31.3	56	26	30	16.3	2.03	0.37	9	196.2	CH
1	9.75	102	77	342.8	21.2	60	25	35	21.2	2.03	0.40	11	119.7	CH
1	10.50	235	176			36	17	19	12.4					CL
1	11.25	220	165			25	19	6	20.7					CL-ML
1	12.50	190	143			46	19	28	20.0					CL
2	1.00	43	24	149.5	15.8	46	18	29	17.1	1.93	0.10	4	147.2	CL
2	3.50	31	20	126.4	16.6	58	20	39	31.2	1.97	0.07	6	167.8	CH
2	4.50	47	33	259.0	35.3	72	22	49	29.3	1.82	0.12	4	177.6	CH
2	5.50	31	22			72	22	49	30.7					CH
2	6.50	30	21	231.0	26.8	63	22	41	31.1	1.92	0.10	6	186.4	CH
2	9.00	42	32			54	21	33	30.2					CH
2	14.00	46	35			76	22	54	28.9					CH
3	1.00	30	17	202.0	21.4	76	26	50	23.3	1.85	0.13	6	135.4	CH
3	2.50	49	31	231.8	20.5	80	28	52	23.9	1.92	0.10	8	137.3	CH
3	4.25	80	51	328.5	42.2	52	21	31	21.6	2.07	0.17	4	206.0	CH
3	5.50	97	69	345.6	31.9	50	20	30	22.3	2.01	0.24	7	233.5	CH
3	6.75	117	83	423.6	38.5	51	23	28	22.8	2.02	0.24	7	197.2	CL-CH
3	7.25	42	30			51	23	28	21.4	2.09	0.26	5	196.2	CL-CH
3	8.25	82	58	397.3	52.6	51	23	28	27.5	2.00	0.22	4	206.0	CL-CH
3	9.00	37	28			81	29	52	25.6	2.03			215.8	CH
3	9.75	44	33			64	32	32	27.6	1.97	0.17	1	226.6	CH
3	10.75	127	95	410.8	36.8	65	20	44	32.0	1.97				CH
3	12.25	189	142	499.7	38.9	49	19	30	21.1	2.10	0.32	5	230.5	CH
3	13.75	20	11			41	18	23	24.0	2.02	0.42	3	279.6	CL
4	2.50	54	34			65	23	42	22.0					CH
4	3.50	65	47	287.8	31.0	65	23	42	17.4	2.14	0.32	5	225.6	CH
4	4.50	103	73			62	22	39	22.2					CH
4	5.75	99	71	406.6	34.5	62	22	40	20.9	2.10	0.40	3	230.5	CH
4	7.00	155	110	479.1	40.7	56	21	34	20.9	2.09	0.43	4	269.8	CH
4	8.25	179	128	590.7	31.4	74	26	48	19.8	2.08			294.3	CH
4	9.50	224	168	658.9	38.6	49	18	31	19.4	2.08			312.0	CL
4	11.75	165	124			36	16	20	12.1					CL
5	2.50	27	17	132.7	16.7	26	15	11	19.0					CL
5	5.50	154	110			34	20	14	15.9					CL
5	6.25	100	71	514.9	55.3	34	18	16	11.6	2.06			124.6	CL
5	7.25	180	128	620.0	51.5	34	21	13	18.0					CL
6	2.25	29	17	58.7	9.9	48	18	30	26.1	2.06	0.08	4	88.3	CL
6	3.25	39	25	94.3	10.7	48	18	30		1.99	0.09	3	112.8	CL
6	5.50	50	36	96.7	10.2	46	20	26	23.6	2.01	0.10	4	145.2	CL
6	6.50	78	56	173.7	23.6	53	24	29	27.2	1.96	0.12	4	196.2	CH
6	8.00	164	117			54	23	31	18.7					CH
6	9.00	189	142	493.0	67.1	45	20	25	22.6	2.04			233.5	CL
6	10.25	197	148	552.1	54.2	61	21	39	20.6	2.09			235.4	CH



Şekil 3. Ölçülen ve bu çalışmada elde edilen eşitlikten hesaplanan E_M değerleri arasındaki grafik ve hata payı dağılımı (Özvan Erdeve, 2019).

5. Tartışma ve sonuçlar

Tüm veri grupları değerlendirildiğinde, Van Fayı'nın tavan bloğunda faya yakın noktadaki (SK-1 ve SK-6) verilerinin zemindeki deformasyon yapılarından dolayı değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bu durum özellikle Afet Risk değerlendirmelerindeki tampon bölgenin belirlenmesinde, bindirme türü deformasyon alanlarında veri setlerinin seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

İnceleme alanındaki tüm sondajlardan elde edilen mekanik değerlere bakıldığında, aynı göl çökellerinde farklı noktalarda farklı değerlerin elde edildiği ve derinlik arttıkça mekanik değerlerin de arttığı tespit edilmiştir. Mekanik değerlerin derinlik ile artmasını mevcut düşey yükler de etkilemektedir. Bu durum, örtü yükü gerilmelerinden dolayı beklenen bir sonuçtur. Çalışma alanında gerek sedimanların düşey yükleri gerekse Van Gölü'nün geçmişte yükselmiş olduğu seviye sonrasında oluşan su yükleri, düşeyde rastlanılan zemin gerilme değişimlerine neden olmuştur. Sedimentasyon ile birlikte gelişen karbonat çökeli, katyon değişimi, silikat bozunumu gibi biyo-jeokimyasal olaylarla kil tanelerinin suda çözülmüş halde bulunan karbonat, soda ve tuz ile bağlanması ihtimali de bölgedeki farklı mekanik sonuçların nedenlerinden birisi olabilir. Fakat aynı göl çökelleri içerisinde kuzeyden güneye doğru gidildikçe yatayda gözlenen değişimler için literatürde rastlanılan bir açıklama bulunmamaktadır. 2011 Van depremi sonrasındaki bazı çalışmalarda (Akinci ve Antonioli, 2013), Van fayından uzaklaştıkça stres dağılımının azaldığı belirtilmiştir. Bu gerilmelerin de doğal olarak zemin hafızasına kaydedildiği, gerilmelere neden olan yüzey faylanmaları

sırasında faydan uzaklaştıkça ön konsolidasyon basıncının azaldığı da bilinmektedir (Çetin, 1997; Çetin, 2000). Literatürdeki bu çalışmalar inceleme alanındaki veri dağılımı ile karşılaştırıldığında fay düzleminde uzaklaşıldığında zeminde elde edilen gerilme değerlerinin azalmasının doğal olduğunu ve çalışma alanındaki zeminlerin yatay yöndeki değişimlerinin bu etkenler ile açıklanabileceğini göstermektedir. Bu farklılıklar Van Bindirme Fayı'nın oluşturduğu gerilmelerin, zeminin mekanik özellikleri üzerinde daha etkili olduğu tezini güçlendirmiştir.

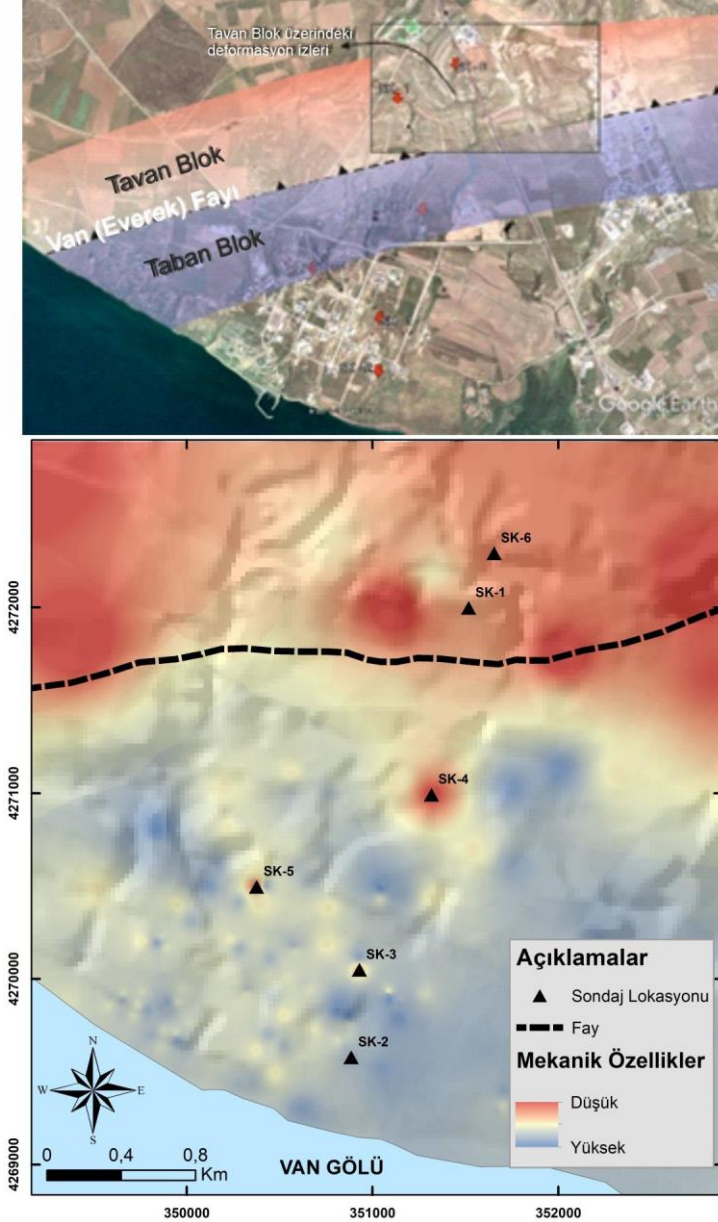
Fay düzlemi bindirme karakterli olduğundan taban bloğa yakın noktalarda (SK-4 ve SK-5) sıkışmaya bağlı olarak daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ortalama SPT- N_{60} darbe sayılarına ve E_M değerlerine bakıldığında, en yüksek değerler taban blokta Van Fayına yakın alanlarda, en düşük değerler ise göle yakın alandaki (SK-2) noktasından elde edilmiştir. Özellikle tavan ve taban blokta fay düzleminde yakın noktalardaki deney sonuçlarının mevcut düşey örtü yükü gerilmeleri dışında tektonik gerilmelerden etkilendiği bu çalışmada ilk defa ortaya konmuştur.

Bindirme faylarında tavan blokta zemin özelliklerinin taban bloktan daha düşük değerlere sahip olduğu ve bu zonun tavan blok üzerinde yaklaşık fay çizgisinden 500m'lik bir uzaklığa kadar zemini etkilediği belirlenmiştir (Şekil 4). Taban blokta ise fayın oluşturduğu gerilmelerin zeminin mekanik özelliklerini daha da arttırdığı belirlenmiştir. Bu durum, bindirme türü faya bağlı yer hareketinin zemini deforme etme derecelerinin tavan bloğu üzerinde daha fazla olacağını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Afet risk değerlendirmelerinde bindirme türü faylar için tampon bölge belirlenirken “Yerleşime Uygun Olmayan Alan”ın belirlenmesinde çizilen tampon bölge için tavan ve taban blokta farklı genişliklerin uygulanmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Özellikle tavan blokta fay düzlemi gerisinde oluşan deformasyon yapıları yüzeye yakın noktalarda daha fazla zemin özelliklerini etkilemekte ve zeminin mekanik parametrelerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu zonun doğru belirlenmesi hem arazi kayıplarına

bağlı olarak ortaya çıkacak olan maddi kaybın önüne geçecek hem de Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) çalışmalarında doğru bir yönlendirme sağlayacaktır.

Bindirme/Ters fay etki alanındaki arazi ve laboratuvar deneylerinde gözlenen farklı fiziksel ve mekanik özelliklerin diğer fay türleri için de incelenmesi, bu tür çalışmaların sonuçlarının geliştirilmesi İRAP açısından son derece önemlidir.



Şekil 4. Van Fayında zeminin mekanik özelliklerinin düşük (kırmızı) ve yüksek (mavi) olduğu bölgeler.

Kaynaklar

- Acarlar, M., Bilgin, Z. A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y. ve Uğuz, M.F. (1991). Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi. MTA Raporu, Ankara, No: 9469, 94s.
- AFNOR. (2000). NFP 94-110-1: Sols, Reconnaissances et essais-Essai pressiometrique Menard. French Standard, Edited by afnor, Paris-La defense, Publisher Location.
- Akın, K. M., Akın, M., Akkaya, İ., Özvan, A., Üner, S., Selçuk, L. ve Tapan, M. (2015). Mikrobölgeleme çalışmasına altlık oluşturmak üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(1), 1-26. <https://doi.org/10.24232/jeoloji-muhendisligi-dergisi.295346>
- Akinci, A. and Antonioli, A. (2013). Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23Mw 7.1 Van, Turkey. *Earthquake. Geophys. J. Int.*, 192(3), 1217-1239. <https://doi.org/10.1093/gji/ggs075>
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., and Şengül, M. A. (2015). Determining the site effects of 23 October 2011 earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSR microtremor method. *Journal of Earth System Science*, 124(7), 1429–1443.
- Akkaya, İ., Özvan, A., and Özvan Erdeve, E. (2019) A new empirical correlation between pressuremeter modules (Em) and shear wave velocity (Vs) for clay soils. *Journal of Applied Geophysics*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103865>
- Akkaya, İ. and Özvan, A. (2019). Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and HVSR microtremor methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.11.009>
- APAGEO. (2006). Menard Pressuremeter (G Type) operating instructions, 2006 edition.
- ASTM. (2010). Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. ASTM D4318-10e1, West Conshohocken, PA.
- ASTM. (2020). Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils, ASTM D2435 / D2435M-11, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 2850. (2015). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. ASTM D2850 - 15, West Conshohocken, PA.
- ASTM D1586/D1586M-18. (2018). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, ASTM D1586/D1586M-18, West Conshohocken, PA.
- Baquelin, F., Jezequel, J. F., and Shields, D. H. (1978). The pressuremeter and foundation engineering. *Clausthal-Zellerfeld: Trans Tech Publications, Germany*, 617 p.
- Bowles, J. E. (1988). *Foundation Analysis and Design*. 4th Edition. McGraw Hill, 1023 p.
- Casagrande, A. (1936). The Determination of the Pre-Consolidation Load and its Partial Significance. Discussion D-34, *Proceeding of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3, (pp. 60-64). Cambridge: Massachusetts.
- Cetin, H. (1997). How did the Meers fault scarp form? paleoearthquake or aseismic creep? a soil mechanical perspective. *Engineering Geology*, Elsevier, 47, 289-310. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(97)00028-8)
- Cetin, H. (2000). An experimental study of soil memory and preconsolidation adjacent to an active tectonic structure: the Meers fault, Oklahoma, USA. *Engineering Geology*, Elsevier, 57, 169-178. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00026-0)
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kurtman, F. and Finckh, P. (1978). Geological development of Lake Van: summary. in: *the geology of Lake Van*, (editors: Degens, e.t., Kurtman F.). The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), Publication No:169, 134-146.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., and Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia a young collision zone. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 19, 1-36. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01>
- Esu, F. and Calabresi, G. (1969) Slope stability in an overconsolidated clay. In: *Proceedings of 7th international conference on soil mechanics and foundation engineering*, Mexico City, Mexico, 2, 555–563.
- Koçyiğit, A. (2013). New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586–605. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.11.008>
- Mair, R. J. ve Wood, D. M. (1987). *Pressuremeter testing methods and interpretation*. CIRIA, ISSN:0-408-02434-8.

- Menard, L. (1957). An apparatus for measuring the strength of soils in place. Thesis, University of Illinois.
- Menard, L. (1975). The Menard Pressuremeter: Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design, D.60.AN. Sols Soils, (26), 5-43.
- Özvan, A., Akkaya, İ., and Tapan, M. (2018). An approach for determining the relationship between the parameters of pressuremeter and SPT in different consistency clays in Eastern Turkey. Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 77, 1145-1154. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1020-9>
- Özvan Erdeve, E. (2019). Van/Bardakçı bölgesi zeminlerinde arazi ve laboratuvar deneyleri arasındaki ilişkilerin jeoteknik ve istatistiksel açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özvan, A., Özvan Erdeve, E., Akkaya İ., Akın M., and Akın M. (2019). A study of the relationship between The Pressuremeter Modulus and The Preconsolidation Pressure around a thrust fault. Environmental Earth Sciences, 78, 596. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8597-1>
- Şengör, A. M. C. and Kidd, W. S. F. (1979). Post-collisional tectonics of The Turkish–Iranian plateau and a comparison with Tibet. Tectonophys. 55, 361–376. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90184-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90184-7)
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu’da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. MTA Dergisi, 107, 73-94.
- Selçuk, L. (2003). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü yerleşim alanının mühendislik jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Tchalenko, J.S. (1967) The influence of shear and consolidation on the microscopic structure of some clays. Ph D Thesis, University of London, London, UK.

YAZAR REHBERİ

1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir). Dergi bilimsel ve hakemli bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir.

3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili tüm yazışmalarda DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "Gönderi Kontrol Listesi"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" doldurularak 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. Dergi ana sayfasında yer alan "Etik İlkeler ve Yayın Politikası" yazarlar tarafından önemle dikkate alınmalıdır.

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 alan editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit

yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %5 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Öninceleme aşamasını geçen yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili alan editörüne yönlendirilir.

Alan editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

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 alan editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletir.

Değerlendirme sonucu kabul kararı verilecek makaleler yazım ve dil editörüne yönlendirilerek ilgili makalenin yazım ve dil yönünden incelemesi ile dergi yazım kuralları açısından uygunluğu sağlanır. 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 formun imzalanması ile yazarlar, makalenin “Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim 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. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.

5.3 Editöre Mektup: Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.

6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

Dergiye değerlendirilmek üzere yayın gönderecek yazarların GUFBED_makale_sablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.



- DUMAN A, ÇELİK KIZILKAN G;** k. mertebeden periyodik katsayılı $x(n+k)=A(n)x(n)$ sistemi için yeni Schur kararlılık parametresi ve Schur kararlılık parametreleri arasındaki ilişkiler / *New Schur stability parameter for k-th order system with periodic coefficients $x(n+k)=A(n)x(n)$ and relations between Schur stability parameters*..... 637-642
- YALÇIN B, GÜNEŞ M, CİĞERCİ İ H, KAYA B;** Demir (III) oksit (Fe_2O_3) nanopartiküllerinin genotoksitesinin Drosophila hemositlerinde KOMET yöntemi ile araştırılması / *Investigation of genotoxicity of iron (III) oxide (Fe_2O_3) nanoparticles in Drosophila hemocytes by COMET method*..... 643-652
- ÖZASLAN M A;** 5G aday frekans bandında 4-Portlu MIMO antenin geliştirilmesi / *Development of 4-Port MIMO antenna in the 5G candidate frequency band*..... 653-662
- BEKAR K, ÇİFCİ U, ÖZKAN A;** Çok boyutlu yazıcılardan baskısı farklı parametrelerle alınan numunelerin malzeme seçiminin deneysel analizi / *Experimental analysis of material selection of samples printed with different parameters from multidimensional printers*..... 663-674
- ÖZTEKİN E;** Fuzzy inverse logic: part-1. introduction and bases / *Bulanık ters mantık: kısım-1. giriş ve temeller*..... 675-691
- BAYRAKTAR O Y, KAPLAN G;** Farklı çimentolardan üretilen köpük betonlarda atık lastiklerin hafif agrega olarak kullanımı / *Use of waste tires as lightweight aggregate in foam concrete produced from different cement*..... 692-703
- EKER H, DEMİR ŞAHİN D;** Çörtlerin betonun alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisi / *The effect of cherts on alkali silica reaction of concrete*..... 704-712
- AKSOY H S, TAHER N R, AWLLA H A;** Shear strength parameters of sand-tire chips mixtures / *Kum-öğütülmüş araç lastiği karışımlarının kayma mukavemeti parametreleri*..... 713-720
- DÖNER F;** Yayla alanlarındaki yapılaşma değişiminin incelenmesi: Gümüşhane örneği / *Examination of change in summer pasture areas: Gümüşhane case*..... 721-728
- ÖZTÜRK S, YALÇIN C, KUMRAL M;** Microthermometric characteristics of vein type U-Th enrichment observed in the Fault Zones in Northwest of Arıklı (Çanakkale-Turkey) / *Arıklı (Çanakkale-Türkiye) kuzeybatısında fay zonlarında gözlenen damar tipi U-Th zenginleşmesinin mikrottermometrik özellikleri*..... 729-743
- KAYA N;** Evaluation of cytotoxic effect of ferrous gluconate on Allium cepa root tip / *Ferro glukonatın sitotoksik etkisinin Allium cepa kök ucunda değerlendirilmesi*..... 744-750
- KÖKÜM M;** Landslides and lateral spreading triggered by the 24 January 2020 Sivrice earthquake (East Anatolian Fault) / *24 Ocak 2020 Sivrice depreminin (Doğu Anadolu Fayı) tetiklediği heyelan ve yanal yayılmalar*..... 751-760
- YILMAZ N;** The generating matrices of the bivariate Balancing and Lucas-Balancing polynomials / *İki değişkenli Balans ve Lucas-Balans polinomlarının üreteç matrisleri*..... 761-767
- ÖZTEKİN E;** Fuzzy inverse logic: part-2. validation and evaluation of the method / *Bulanık ters mantık: kısım-2. yöntemin doğrulanması ve değerlendirilmesi*..... 768-791
- YALILI KILIÇ M, KILIÇ İ, ADALI S;** Kentsel yerleşim alanlarında çevresel gürültünün belirlenmesi: Bursa Dikkaldırım Mahallesi örneği / *Determination of environmental noise in urban settlements: Bursa Dikkaldırım Neighborhood example*..... 792-804
- ÇİLOĞLU D;** Düşük Reynolds sayılı alveolar akışta partikül boyutunun aerosol dinamikleri üzerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi / *Numerical analysis of the particle size effect on aerosol dynamics in low Reynolds number alveolar flow*..... 805-814
- KELEŞ GÜNER E, İÇER F, ÖZDEMİR A O, ÇAĞLAR B;** Farklı ışık kaynakları altında kristal viyole boyar maddesinin kaolin-BiFeO₃ nanokompozit üzerinde fotobozunması / *Photodegradation of crystal violet dyestuff on kaolinite-BiFeO₃ nanocomposite under different light irradiations*..... 815-827
- KATİPOĞLU O M, ACAR R;** Standartlaştırılmış yağış indeksi hesabında kullanılan dağılım fonksiyonu etkisinin ve kuraklık karakteristiklerinin araştırılması / *Investigation of the effect of the distribution function used in the calculation of the standardized precipitation index and the drought characteristics*..... 828-844

- KUMANDAŞ A, ÇAVDAR E, PANCAR E B, ORUÇ Ş**; Reaktif etilen terpolimerlerin bitümün modifikasyonunda kullanımı: Bir literatür araştırması / *The use of reactive ethylene terpolymers in the modification of bitumen: A literature review*..... 845-862
- KÖKSAL O K**; Determination of the homogeneity of the Ag-Au bimetallic alloy thin films by means of a micro beam X-Ray fluorescence setup with using elemental composition / *Ag-Au bimetalik alaşımın ince filmlerin mikro-X ışını flüoresans sistemi ile homojenliğinin belirlenmesi*..... 863-869
- SOYDAN OKSAL N G**; Dairesel başlıklı savak akımının sayısal analizi / *Numerical analysis of cylindrical weir flow*..... 870-881
- AYDINÇAKIR E, GÜNGÖR H, YÜCEL C, BİLİCİ Ö, ABDİOĞLU YAZAR E**; Eosen yaşlı Kışlaköy volkanitlerinin petrografisi, mineral kimyası ve kristallenme koşulları, Erzurum, KD Türkiye / *Petrography, mineral chemistry and cristallization conditions of eocene aged Kışlaköy volcanics, Erzurum, NE Turkey*..... 882-918
- ŞEVİK M A, CANSIZ N**; The impact of turnip mosaic virus on physiological and morphological parameters of kale plants / *Turnip mosaic virus'un yaprak lahanası bitkilerinin fizyolojik ve morfolojik parametrelerine etkisi*..... 919-924
- EFE Ş, ÇOLAK M**; Emme manifoldu malzeme seçiminde bilgisayar destekli yazılım kullanılması / *Using computer-aided software for intake manifold material selection*..... 925-933
- KILINÇ H**; Isolation and characterization of secondary metabolites from apolar fraction of *Scabiosa sicula* and evaluation of their antioxidant activities / *Scabiosa sicula'nın apolar fraksiyonundan ikincil metabolitlerin izolasyonu ve karakterizasyonu ve antioksidant aktivitelerinin değerlendirilmesi*..... 934-942
- YALILI KILIÇ M, DÖNMEZ T, ADALI S**; Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği / *Change of carbon footprint due to fuel consumption: Çanakkale case study*..... 943-955
- GÜZEY N**; Türkiye'deki COVID-19 yayılımının SIR temelli modellenmesinde RSS yöntemi ile parametre kestirimi / *Unknown SIR parameters' estimation of COVID-19 spread in Turkey by using RSS method*..... 956-963
- CEYLAN H**; A bioinformatics approach for exploring and identification of potential target genes of miR-130a-3p in doxorubicin-associated cardiotoxicity / *Doksorubisin ile ilişkili kardiyotoksistitede miR-130a-3p'nin potansiyel hedef genlerinin araştırılması ve tanımlanması için biyoinformatik bir yaklaşım*..... 964-974
- YEŞİL M, GÜZEL M**; Ordu ili Asarkaya Kent Ormanı ve Yoroç Kent Ormanı ile Çınarsuyu Tabiat Parkı ve Ulugöl Tabiat Parkı'nın rekreasyonel potansiyel yönünden karşılaştırılması / *Comparison of Asarkaya Urban Forest and Yoroç Urban Forest with Çınarsuyu Nature Park and Ulugöl Nature Park (Ordu province) in terms of recreational potential*..... 975-987
- KARAKAYA H, YILMAZTEKİN M**; Elektrostatik ekstrüzyon tekniği ile kapsüllenmiş bazı aroma maddelerinde sıcaklığın depolama stabilitesi üzerine etkisi / *Effect of temperature on storage stability of some flavor compounds encapsulated by electrostatic extrusion technique*..... 988-998
- GÜRSOY Ş, YILMAZ A**; Investigation comparatively of different external central steel braced frame behaviours with ductility level high and limited / *Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı farklı dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve davranışlarının karşılaştırmalı incelenmesi*..... 999-1014
- ASLAN TOPÇUOĞLU Y, GÜROCAK Z**; Hazar Gölü'ndeki (Elazığ/Doğu Türkiye) çökellerin mühendislik özelliklerine ve sualtı kütle hareketlerine genel bir bakış / *An overview engineering properties of sediments and submarine mass movements in the Hazar Lake (Elazığ/Eastern Turkey)* 1015-1035
- ÖZVAN E E, ÇETİN H, ÖZVAN A, AKKAYA İ**; Van bindirme fayı tampon zonunun il afet risk azaltma planı (İRAP) çerçevesinde değerlendirilmesi / *Evaluation of the Van thrust fault buffer zone within the framework of the provincial level disaster risk reduction plan (İRAP)*..... 1036-1046